МИР мехатроники

Коллектив авторов
под руководством
Д. ШМИДА

Управляющие системы и автоматика

Перевод с немецкого
Л.Н. Казанцевой

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2007

Авторы: *Дитмар Шмид, Альбрехт Бауман, Ханс Кауфман, Бернард Зиппель*
Руководство авторским коллективом: *профессор Дитмар Шмид*
Управляющие системы и автоматика

Москва:
Техносфера, 2007. – 584 с., ISBN 978-5-94836-152-9

Перевод последнего, 10-го, немецкого издания.

В книге рассматривается комплекс аспектов, касающихся элементов механики, пневматики, гидравлики, электротехники, электроники, систем связи, компьютерной техники и составляющих новую актуальную область знаний – мехатронику. Представленный в книге материал максимально приближен к практике и будет полезен всем, кто только приступает к изучению техники управления и регулирования в сочетании с современной техникой связи и обработки информации, либо желает пополнить свои знания в этой области.

Книга адресована преподавателям и студентам технических вузов, а также практикующим инженерам и техникам, призванным решать разнообразные задачи управления и контроля на производстве.

EUROPA LEHRMITTEL Bibliothek des technischen Wissens

Steuern und Regeln
für Maschinenbau und
Mechatronik

10., aktualisierte Auflage

Bearbeitet von Lehrern und Ingenieuren (s. Rückseite)

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Schmid, Aalen

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorfer Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 10821

©2005 (10th edition):
Verlag EUROPA-LEHRMITTEL, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,
42781 Haan-Gruiten (Germany)
©2007, ЗАО "РИЦ "Техносфера", перевод на русский язык,
оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-152-9
ISBN 3-8085-1010-2 (нем.)

Содержание

Предисловие к 10-му изданию 13

ГЛАВА 1
УПРАВЛЕНИЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ, ВЕДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА 15

1.1. Управление и управляющие системы 15
1.1.1. Аналоговое, двоичное и цифровое управление 16
1.1.2. Комбинаторные системы управления и последовательное программное управление 18
1.1.3. Управление с программируемыми связями и система программного управления от ЗУ 20
1.2. Регулирование, регулирующие системы 21
1.3. Ведение производственного процесса 22

ГЛАВА 2
ОСНОВЫ ТЕХНИКИ УПРАВЛЕНИЯ 24

2.1. Механические управляющие системы 24
2.1.1. Общие сведения 24
2.1.2. Регулируемые передаточные механизмы 26
2.1.2.1. Ступенчатые передачи 26
2.1.2.2. Бесступенчатые передачи 27
2.1.3. Передачи неравномерного действия 31
2.1.4. Передача с прерывистым движением 34
2.2. Электрические системы управления 35
2.2.1. Конструкционные элементы электрических систем управления, действующих на основе контактов 36
2.2.2. Графическое представление электрических систем управления на основе контактов 55
2.2.3. Принципиальные схемы коммутации электрических систем управления с помощью контактов 56
2.2.4. Автоматическое программное управление 60
2.2.4.1. Диаграмма пути и диаграмма состояния 61
2.2.4.2. Функциональные схемы для автоматических систем программного управления 63
2.2.5. Электронные конструкционные элементы 68
2.2.6. Электрические исполнительные органы 74
2.2.6.1. Электромагниты и муфты 74
2.2.6.2. Трехфазные двигатели с питанием от сети (двигатели переменного тока) 75
2.2.6.3. Приводы трехфазного тока с электронным переключением 85
2.2.6.4. Приводы постоянного тока 91
2.2.6.5. Приводы с шаговыми электродвигателями 96
2.3. Пневматические системы управления 97
2.3.1. Общие сведения о пневматике 98
2.3.2. Конструктивное исполнение пневматической установки 99
2.3.3. Генерация сжатого воздуха 102
2.3.3.1. Компрессоры 102
2.3.3.2. Распределение сжатого воздуха 106

2.3.3.3. Подготовка сжатого воздуха ... 109
2.3.4. Приводные элементы ... 110
2.3.4.1. Пневматические двигатели ... 111
2.3.4.2. Приводы вращательного и поворотного типа ... 115
2.3.4.3. Пневматические цилиндры ... 115
2.3.4.4. Характеристические показатели цилиндров ... 120
2.3.5. Вентили и основные системы управления ... 124
2.3.5.1. Графическое изображение вентилей ... 124
2.3.5.2. Распределители ... 128
2.3.5.3. Регуляторы расхода ... 131
2.3.5.4. Запорные клапаны ... 133
2.3.5.5. Регуляторы давления и блокирующие вентили ... 136
2.3.6. Топология переключательной схемы ... 137
2.3.7. Функциональные диаграммы ... 140
2.3.7.1. Диаграмма пути перемещений ... 142
2.3.7.2. Диаграмма состояния ... 143
2.3.8. Техника пропорционального регулирования ... 147
2.3.8.1. Пропорциональные регуляторы давления ... 147
2.3.8.2.Пропорциональные распределители ... 148
2.3.9. Примеры пневматических систем управления ... 151
2.3.10. Электропневматические системы управления ... 155
2.3.11. Гидропневматические системы управления ... 161
2.4. Гидравлические системы управления ... 165
2.4.1. Общие сведения ... 165
2.4.2. Физические аспекты ... 165
2.4.2.1. Гидростатика ... 165
2.4.2.2. Гидродинамика ... 168
2.4.3. Гидравлические жидкости ... 169
2.4.4. Структура гидравлических систем управления ... 173
2.4.5. Гидравлические насосы ... 174
2.4.6. Гидроаккумуляторы ... 177
2.4.7. Приводные механизмы ... 180
2.4.8. Гидроаппараты ... 184
2.4.8.1. Регуляторы давления ... 185
2.4.8.2. Распределители ... 190
2.4.8.3. Запорные клапаны ... 192
2.4.8.4. Регуляторы расхода ... 193
2.4.8.5. Конструктивные исполнения аппаратов ... 197
2.4.8.6. Статические вентили ... 199
2.4.8.7. Вентильная техника пропорционального регулирования ... 200
2.4.8.8. Сервоклапаны ... 208
2.4.9. Примеры гидравлических систем управления ... 211
2.5. Двоичные и цифровые системы управления ... 214
2.5.1. Двоичный код ... 214
2.5.2. Двоично-десятичные коды ... 216
2.5.3. Двоичные логические связи ... 217
2.5.4. Алгебра переключательных схем ... 222
2.5.5. Комбинаторные системы управления ... 224
2.5.6. Упражнения по теме «комбинаторные системы управления» ... 227
2.5.7. Автоматизированные системы управления процессом ... 233
2.5.8. Цифровые запоминающие устройства ... 243

2.6. Опасности и меры защиты при работе с электрическими установками 250
2.7. Электромагнитная совместимость 253
2.8. Системы программного управления от ЗУ (SPS) 256
2.8.1. Структура и принцип действия 256
2.8.2. Программирование 261
2.8.2.1. Языки программирования 261
2.8.2.2. Разработка программы 263
2.8.3. Основные функции 269
2.8.3.1. Двоичные логические функции 269
2.8.3.2. Функции памяти SR/RS 273
2.8.3.3. Анализ фронтов 275
2.8.4. Функции времени 277
2.8.5. Функции счета 279
2.8.6. Цифровые операции 280
2.8.7. Системы автоматического программного управления 285
2.8.7.1. Структурирование и представление 285
2.8.7.2. Пример программного управления последовательностью выполнения операций 288
2.8.7.3. Программирование на уровне цепочки шагов 292
2.8.7.4. Сигналы рабочих режимов 295
2.8.7.5. Функциональный модуль для рабочих режимов 297
2.8.7.6. Функциональный модуль последовательности выполнения шаговых операций 298
2.8.7.7. Функциональный модуль для вывода команд 299
2.8.8. Обработка аналоговых данных 300
2.8.9. Программирование со структурированным текстом (ST) 301
2.8.9.1. Цифровое регулирование 301
2.8.9.2. Двухпозиционный регулятор 303
2.8.9.3. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулирующий модуль 306
2.8.10. Контроль и управление производственными процессами 308
2.8.11. Ускоренные процессы счета 310

ГЛАВА 3
ТЕХНИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКОВ 312
3.1. Аналоговые сенсоры 312
3.1.1. Датчики перемещения, угла поворота, расстояния и толщины 312
3.1.2. Датчики скорости 321
3.1.3. Тензометрические датчики, датчики силы, крутящего момента и сжатия 322
3.1.4. Датчики ускорения 326
3.1.5. Термодатчики 326
3.2. Двоичные сенсоры 329
3.3. Цифровые сенсоры 331
3.3.1. Инкрементные путевые датчики 332
3.3.2. Кодовые масштабы и преобразователи угла поворота в код 334

ГЛАВА 4
ТЕХНИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ 338
4.1. Основные понятия 338
4.2. Режимы регулирования 340
4.3. Элементы контура регулирования 342
4.3.1. Пропорциональное звено без запаздывания (П-звено) 342

4.3.2. Пропорциональное звено с запаздыванием 1-го порядка (звено PT_1) 344
4.3.3. Пропорциональное звено с запаздыванием 2-го порядка (звено PT_2) и колебательное звено 346
4.3.4. Интегрирующее звено (И-звено) 349
4.3.5. Дифференцирующее звено (Д-звено) 350
4.3.6. Звено с запаздыванием (T_t-звено) 351
4.3.7. Взаимодействие нескольких элементов контура автоматического регулирования 353
4.4. Регуляторы и контуры регулирования 355
4.4.1. Переключающие регуляторы 355
4.4.2. Аналоговые регуляторы 356
4.4.3. Цифровые (программные) регуляторы 360
4.4.3.1. Аналого-цифровое преобразование и дискретизация сигналов 360
4.4.3.2. Алгоритм регулирования 362
4.4.4. Регулирование пропорциональных объектов 365
4.4.5. Регулирование интегральных объектов 367
4.4.6. Настройка регулятора 369
4.5. Позиционное регулирование в станках с ЧПУ 371
4.5.1. Каскадное регулирование 371
4.5.2. Предварительное задание скорости 373
4.5.3. Аналоговый и цифровой контуры регулирования чисел оборотов 374

ГЛАВА 5
ТЕХНИКА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ (ЧПУ) 376
5.1. Станки и производственные системы с ЧПУ 376
5.1.1. Инструменты и зажимные приспособления 378
5.1.1.1. Револьверные головки 378
5.1.1.2. Инструментальные магазины 379
5.1.1.3. Кодирование инструмента 381
5.1.1.4. Предварительная настройка инструмента 382
5.1.1.5. Зажимные механизмы 383
5.1.2. Гибкие производственные системы 384
5.2. Числовое программное управление 388
5.2.1. Введение и обзор 388
5.2.2. Интерполяция 390
5.2.3. Компенсация погрешностей 392
5.2.4. Управление движениями и проектирование траектории 393
5.2.5. Типовая концепция и преобразование координат 395
5.2.6. Связь 397
5.2.7. Системы координат и направления движений 398
5.2.8. Опорные точки, нулевые точки 400
5.2.8.1. Нулевые точки 401
5.2.8.2. Опорные точки 401
5.2.9. Органы управление и режимы работы 403

ГЛАВА 6
РОБОТОТЕХНИКА 407
6.1. Классификация роботов 408
6.2. Особенности кинематики 409
6.3. Приводы для роботов 413
6.4. Захваты 415
6.5. Программирование роботов 416
6.5.1. Способы программирования 416

6.5.2. Системы координат ... 421
6.6. Управление роботами ... 424
6.6.1. Генерация движений ... 424
6.6.2. Положения осей ... 425
6.6.3. Интерполяция ... 426
6.6.4. Срезание углов и качание ... 427
6.6.5. Сенсоры для робототехнических систем ... 429
6.7. Защитные меры ... 433

ГЛАВА 7
МОНТАЖ И ДЕМОНТАЖ ... 435
7.1. Общие сведения ... 435
7.2. Движение материалов ... 439
7.2.1. Хранение ... 439
7.2.2. Использование промежуточных накопителей ... 441
7.2.3. Бункеровка деталей ... 442
7.2.4. Магазинная загрузка деталей ... 443
7.2.5. Транспортные системы ... 445
7.3. Способы соединения в процессе монтажа ... 449
7.3.1. Крепление винтами ... 449
7.3.2. Стыкование методом пластической деформации ... 450
7.3.3. Склеивание и заделка уплотнением (герметизация) ... 451
7.3.4. Сварка и пайка ... 453
7.3.5. Сборка совмещением ... 455
7.3.6. Запрессовка ... 456
7.4. Монтажные площадки ... 457
7.4.1. Ручной монтаж ... 457
7.4.2. Автоматизированный монтаж ... 458
7.5. Организация процесса монтажа ... 460
7.5.1. Топология ... 460
7.5.2. Последовательное выполнение монтажных операций ... 460

ГЛАВА 8
МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА ... 463
8.1. Качество как объект управления ... 463
8.1.1. Признаки качества ... 464
8.1.2. Дефекты ... 465
8.2. Цели менеджмента качества ... 466
8.3. Всеобщий менеджмент качества (TQM) ... 467
8.4. Круговая и пирамидальная модели управления качеством ... 468
8.5. Структура и элементы системы управления качеством ... 469
8.5.1. Организация структуры системы управления качеством ... 469
8.5.2. Составление планов и графиков ... 470
8.5.3. Стандарты ДИН ИСО 9000:2000 ... 470
8.5.4. Сертификация ... 473
8.6. Статистический контроль качества ... 474
8.6.1. Анализ процесса ... 474
8.6.2. Карточки текущего контроля качества ... 477
8.6.3. Функциональная пригодность машин и процессов ... 478

ГЛАВА 9
СОДЕРЖАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ИСПРАВНОСТИ ... 480
9.1. Определение понятий ... 480
9.2. Уход и техническое обслуживание ... 485

9.3. Инспекционный контроль 492
9.4. Приведение оборудования в исправность 495
9.5. Пробный пуск 496
9.6. Поиск ошибок, сбоев и неисправностей 500
9.7. Ремонтные работы 500

ГЛАВА 10
БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ 503
10.1. Задачи менеджмента 503
10.2. Управление процессом 504
10.3. Управление информацией о продукции 506
10.4. Методы создания технологических цепочек 508
10.5. Проектный менеджмент 511
10.6. Информационный менеджмент 513
10.7. Инструменты планирования 515
10.8. Модерация 523
10.9. Презентация 524
10.9.1. Содержание и визуальное представление 524
10.9.2. Презентационная графика с использованием PowerPoint 526

ГЛАВА 11
ОРГАНИЗАЦИЯ И ОХРАНА ТРУДА 528
11.1. Человек как главная ценность 528
11.2. Организация рабочего места 529
11.3. Рабочие нагрузки 534
11.3.1. Нагрузки в зависимости от вида деятельности 534
11.3.2. Нагрузки в зависимости от организации труда 536
11.4. Европейские нормы эксплуатации машин и оборудования 539
11.4.1. Меры безопасности и охрана здоровья на производстве 541
11.4.2. Маркировка и руководство по эксплуатации 543
11.5. Европейские нормы безопасности 544

ГЛАВА 12
ИНФОРМАТИКА И ТЕХНИКА СВЯЗИ 546
12.1. Компьютерная техника 546
12.1.1. Конструктивное исполнение ПК 546
12.1.2. Объектно-ориентированное программное обеспечение 550
12.1.3. Управление с помощью ПК 554
12.2. Техника связи 560
12.2.1. ISDN — интегральная цифровая сеть связи 561
12.2.2. Локальная связь 565
12.2.3. Интернет и Интранет 567
12.2.4. Локальные вычислительные сети (ЛВС) 571
12.2.4.1. Локальная сеть Ethernet 573
12.2.4.2. Сети ATM 574
12.2.5. Магистральные системы 575
12.2.5.1. Шина CAN 575
12.2.5.2. Шины PROFIBUS, PROFIBUS-DP 577
12.2.5.3. Сопряжение между исполнительными органами и датчиками (AS-I) 578
12.2.5.4. Interbus-S 580
12.2.6. Последовательный интерфейс (V.24) 581

ПАМЯТКА ПО ОХРАНЕ ТРУДА 583

Предисловие к 10-му изданию

Заявленная тема — управление и регулирование в машиностроении — включает в себя весь комплекс аспектов, так или иначе касающихся элементов механики, пневматики, гидравлики, электротехники, электроники, систем связи, компьютерной техники и составляющих новую и весьма актуальную ныне область знаний, именуемую «мехатроникой». Настоящее издание (10-е, дополненное), кроме прочего, приводит в более подробном изложении столь важную для изучения информацию, как содержание оборудования в исправности, принятые правила техники безопасности и действующие нормы охраны труда. Далее соответствующим образом переработаны разделы, посвященные пневматике и гидравлике; более широко представлена тема SPS (системы программного управления от ЗУ); внесены существенные дополнения в главу «Информатика и техника связи». Как и в предыдущем издании, обсуждаются Европейские нормативы и регламентации применительно к эксплуатации машин и оборудования, что в значительной мере обогащает учебный курс по мехатронике, делая его безупречным в своей завершенности.

Представленный в книге материал максимально приближен к практике и будет полезен всем, кто только приступает к изучению техники управления и регулирования в сочетании с современной техникой связи и обработки информации либо желает пополнить свои знания в этой области.

Отметим, что данный труд обращен не только к учащимся и преподавателям специализированных школ, техникумов, прочих профессиональных учебных заведений, но и к студентам технических вузов, активно использующим представленные здесь сведения как ценное практическое дополнение. Пригодятся они также практикующим инженерам и техникам, призванным решать разнообразные задачи управления и контроля на производстве.

Рассматриваемую тему с принятием во внимание соответствующих учебных дисциплин можно условно разделить следующим образом:

- Процессы управления и регулирования (определение понятий);

  Основы техники автоматического управления (механические, электрические, пневматические, электропневматические, гидравлические, двоичные и цифровые системы управления и приводы, системы программного управления от ЗУ)

  Техника использования датчиков,

  Техника автоматического регулирования,

  Техника ЧПУ,

  Робототехника,

  Монтаж и демонтаж оборудования,

Управление качеством,

Содержание оборудования в исправности,

Управление бизнес-процессами,

Организация и охрана труда,

Информатика и техника связи.

Как видим, отдельные главы книги носят вполне законченный характер, что позволяет преподавателю при необходимости изменять их последовательность, дорабатывать, вносить требуемые изменения и проч., то есть дает полную свободу при выборе материала, выделении самых насущных на данный момент проблем.

Авторами настоящей книги являются талантливые инженеры и опытные преподаватели-методисты, обладающие богатым практическим опытом. Издательство с благодарностью примет от заинтересованных читателей возможные критические замечания и предложения по содержанию и оформлению книги.

Зима 2005/2006 г. *Дитмар Шмид*

ГЛАВА 1

УПРАВЛЕНИЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ, ВЕДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Чтобы машины и установки могли работать самостоятельно, то есть автоматически, они оснащаются разного рода управляющими и регулирующими устройствами. К такому оборудованию относятся механические, электрические, пневматические и гидравлические приводы и всевозможные органы управления. Вычислительные машины, например, нередко берут на себя выполнение всех необходимых функций по управлению и регулированию комплексных технологических линий и самих производственных процессов. Сегодня микропроцессоры и микроЭВМ часто являются неотъемлемой составной частью даже совсем небольших управляющих блоков. Важнейшие понятия из области автоматического управления определены в нормах ДИН 19 237 (Промышленный стандарт ФРГ) и МЭК 1131 (Международная электротехническая комиссия), а из области автоматического регулирования — в ДИН 19 226.

1.1. Управление и управляющие системы

Автоматическое управление есть процесс, при котором воздействие на установку или устройство достигается посредством управляющих (командных) сигналов. Характерным признаком процесса управления является открытый путь прохождения соответствующих импульсов.

Посылаемые управляющим устройством сигналы воздействуют на машину или установку без текущей регистрации и корректировки процесса управления (рис. 1). Так, при управлении подачей стол станка перемещается с помощью привода. Устанавливающим (регулирующим, управляющим) сигналом будет в данном случае напряжение $U_м$ для электродвигателя подачи. Последний образует вместе со столом станка так называемый объект управления. Подлежащим управлению параметром здесь является путь по-

дачи s, который должен проходить стол данного станка.

Под «управляющей системой» понимается вся установка, в которой и осуществляется собственно процесс управления. В функциональной схеме с использованием условных обозначений элементов и линий функциональных связей наглядно отображается взаимодействие отдельных блоков управления. При этом направление управляющего воздействия показано стрелками.

Рис. 1. Принцип управления на примере механизма подачи

1.1.1. Аналоговое, двоичное и цифровое управление

По способу представления сигнала различают аналоговые, двоичные и цифровые (числовые) системы управления.

В случае аналогового управления речь идет преимущественно о постоянно действующих сигналах, представляющих собой аналоговое отображение управляемой характеристики.

Пример: Допустим, цикл перемещений стола станка управляется посредством дискового кулачка (рис. 2). Подлежащим управлению параметром является путь s стола станка. Он пересчитывается — с учетом передаточного механизма — на соответствующий радиус дискового кулачка. Этот радиус аналогичен регулируемой величине — пути s. При повороте дискового кулачка стол станка циклично перемещается вперед или назад.

К важнейшим конструкционным элементам аналоговых систем управления относятся, в частности, дисковые кулачки, передаточные механизмы, вентили, двигатели, аналоговые сенсоры и операционные усилители.

В двоичных системах управление достигается за счет двоичных, то есть двухуровневых (или двухпозиционных) сигналов.

Двоичные сигналы представлены двумя разными значениями, или состояниями, то есть отображаются, например, через положения «включено» и «выключено», через состояния «черный» и «белый» либо через свойства «токо-

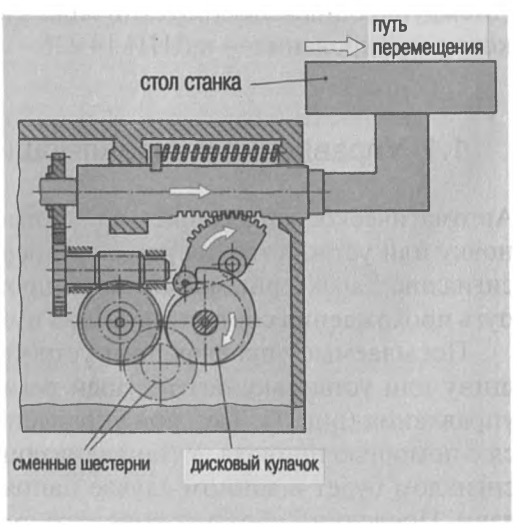


Рис. 2. Аналоговое управление столом станка

проводящий» и «непроводящий», или же просто через значения 0 и 1. Здесь уместно отметить, что большинство систем управления работает именно с переключающими сигналами и относится, следовательно, к двоичным управляющим системам.

Пример: Стол подачи шлифовального станка должен совершать постоянное возвратно-поступательное движение (рис. 3). С помощью переключателя на основе положительного напряжения двигателя стол может передвигаться вправо. Как только укрепленный на столе кулачок 2 достигает переключателя, стол в результате отрицательного напряжения двигателя будет перемещаться влево, пока кулачок 1 вновь не произведет переключение на обратное направление.

Важнейшими конструкционными элементами двоичных систем управления являются реле, переключающие вентили, диоды и двоичные электронные элементы переключательной схемы.

В числовых системах управление осуществляется на основе чисел.

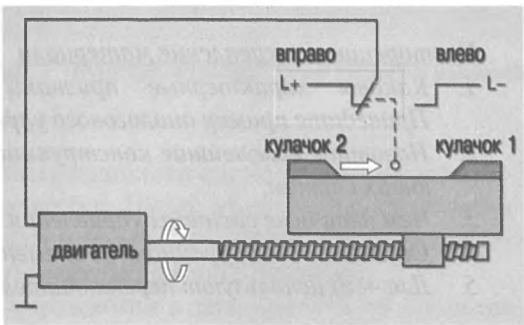


Рис. 3. Двоичное управление приводом подачи (маятниковый цикл)

Управляющие сигналы являются в большинстве случаев двоично-кодированными. Самым простым кодом считается числовой. При этом в соответствии с представленным числом формируются импульсы, подсчитываемые приемным устройством.

Пример: Стол подачи должен циклично перемещаться вперед и назад по пути, определяемому числами. Система числового управления попеременно формирует импульсы для правого и левого хода шагового двигателя (рис. 4). Число импульсов и путь перемещения могут устанавливаться переключателем предварительной установки (рис. 5). С каждым импульсом шаговый двигатель поворачивается точно на один угловой шаг (приращение), перемещая стол станка дальше на один шаг. Один такой шаг пути есть, в принципе, минимально возможное движение и соответствует обладающему минимальным значением цифровому шагу на выключателе предварительной установки. В зависимости от выбора передаточного механизма, шагового двигателя и шага винтовой линии шпинделя длина рассматриваемого шага перемещения составляет, например, 0,1 мм. В отличие от аналогового управления, здесь управляющее и управляемое значения не являются устойчивыми.

Важнейшие конструкционные элементы числовых систем управления: кодирующие устройства, микропроцессоры, микроВМ, цифровые ЗУ, цифровые сенсорные системы и цифровые сети.

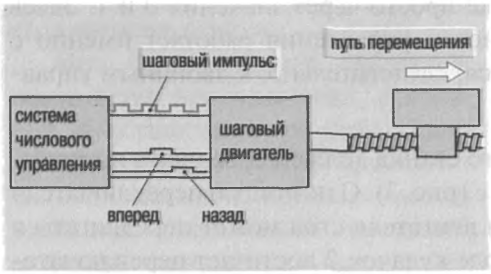


Рис. 4. Числовое управление подачей с помощью шагового двигателя

Рис. 5. Переключатель предварительной установки

Повторение и закрепление материала

1. *Каковы характерные признаки аналоговых систем управления? Приведите пример аналогового управления.*
2. *Назовите важнейшие конструкционные элементы аналоговых управляющих систем.*
3. *Чем двоичные системы управления отличаются от цифровых?*
4. *Опишите конструкционные элементы двоичных управляющих систем.*
5. *Для чего используют переключатели предварительной установки?*

1.1.2. Комбинаторные системы управления и последовательное программное управление

По способу обработки сигналов различают комбинаторные системы управления и последовательные системы программного управления.

В комбинаторных системах управляющее воздействие возникает как результат сочетания нескольких сигналов.

Так, токарный станок может запускаться лишь при закрытой защитной двери и наличии зажатой в патроне заготовки (рис. 6).

Комбинаторные системы управления относятся к категории двоичных, разрабатываемых с применением булевой алгебры (алгебры логики). Представление их осуществляется на основе алгебраических уравнений, релейно-контактных схем, функциональных таблиц и функциональных схем.

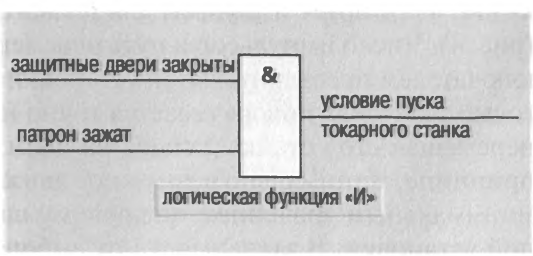


Рис. 6. Пример комбинаторного управления

В случае систем последовательного управления очередной запрограммированный этап работы начинается после завершения предыдущего, то есть происходит пошаговое выполнение процессов управления. Переключение с одного этапа на другой осуществляется либо в зависимости от времени, либо в зависимости от процесса.

При последовательных системах управления по времени ходом процесса управляет датчик тактовых импульсов, выключатель с часовым механизмом или реле времени. В качестве простого примера программного управления по времени можно назвать управление автоматическим включением трехфазных двигателей через пусковую схему с переключением со звезды на треугольник. Сначала двигатель разгоняется в схеме звезды, а по истечении установленного пускового периода плюс определенного резервного времени имеет место реверсивное управление в схеме треугольника. После этого двигатель готов к работе (рис. 7). Для представления систем программного управления последовательностью операций используются функциональные схемы.

Рис. 7. Функциональная схема пуска по времени

При последовательных системах управления в зависимости от процесса переключение с одной рабочей операции на следующую инициируется самим процессом. В случае схемы пуска для трехфазных двигателей требуется датчик рабочего состояния: «достигнуто число оборотов холостого хода». Тогда происходит автоматическое переключение на схему треугольника (рис. 8). Представление систем последовательного программного управления осуществляется на основе функциональных схем или соответственно блок-схем программы (ДИН-МЭК 1131) либо также диаграмм состояния (VDI 3260 — Союз немецких инженеров), если переключение зависит от пути перемещения.

Системы программного управления по процессу в принципе предпочтительнее способа управления по времени, поскольку в случае возможных неисправностей или сбоев в работе ход процесса прерывается либо протекает медленнее в соответствии с установленной функцией.

Например, при неожиданно высокой нагрузке трехфазного двигателя переключение на схему треугольника осуществляется только при достижении достаточно высокого числа оборотов.

Рис. 8. Функциональная схема переключения по процессу

1.1.3. Управление с программируемыми связями и система программного управления от ЗУ

Управляющие системы классифицируются также по способу программирования, причем различают управление с программируемыми связями (VPS) и системы программного управления от ЗУ (SPS) (табл. 1).

Таблица 1. Способы программного управления

Способ программирования		Пример управления
VPS	Жесткое программирование	Релейное управление
	Возможность перепрограммирования	Программное управление со штекерной панелью
SPS	Взаимозаменяемое программирование	SPS с СППЗУ[1]
	Свободное (гибкое) программирование	SPS с ЭСПЗУ[2] или ЗУПВ[3]

[1] СППЗУ (EPROM от Erasable Programmable Read Only Memory) — стираемая программируемая постоянная память.
[2] ЭСПЗУ (EEPROM от Electronically EPROM) — электронно-стираемая программируемая постоянная память.
[3] ЗУПВ (RAM от Random Access Memory) — память с произвольной выборкой.

В системах управления с программируемыми связями (VPS) ход выполнения программы определяют соответствующие соединения проводов, то есть произведенный электромонтаж.

Если изменений программы не предусматривается, такие управляющие системы считаются жестко запрограммированными, в противном случае они обладают способностью к перепрограммированию, которое осуществляется, например, за счет замены программных штекеров (с другим набором программы).

Системы программного управления от ЗУ (SPS) содержат электронное программное запоминающее устройство с гибким программированием.

Сама программа может быть составлена с помощью ВМ и перенесена в систему управления. Это, как правило, заменяемые программы, что облегчает и упрощает их модернизацию. Системы SPS чаще всего используются для управления машинами или станками. Так, в автоматизированных поточных линиях системы программного управления от ЗУ широко применяют для управления поперечной подачей отдельных машин. Системы программного управления от ЗУ конструируются в виде многопроцессорных систем с высокопроизводительными микропроцессорами. Они соединяются и обмениваются информацией через цифровые сети. Интерфейсы связи позволяют дистанционное наблюдать за работой SPS, например через Интернет, с возможностью ввода нового программного обеспечения.

1.2. Регулирование, регулирующие системы

Регулирование есть процесс, при котором непрерывно отслеживаемый регулируемый параметр корректируется с подгонкой к желаемому значению (задающему воздействию).

При этом различают регулирование для стабилизации параметра и так называемое следящее регулирование.

Пример: регулирование для стабилизации параметра.

В закалочной печи необходимо поддержание температуры на постоянном уровне (стабилизация параметра) (рис. 9). Эта величина является задающим воздействием. Температура же считается регулируемым параметром. Для регулирования используется компенсационный стержень, способный укорачиваться или удлиняться в зависимости от высоты температуры в печи. Такой упругий стержень установочным винтом жестко соединен с задвижкой. С помощью указанного винта можно изменять положение задвижки относительно компенсационного стержня. После включения закалочной печи по мере возрастания температуры происходит удлинение упомянутого стержня, а задвижка дросселирует подачу горючего газа. При падении температуры печи стержень укорачивается, а задвижка открывает подачу горючего газа, в результате чего температура в печи вновь поднимается. Температурный режим печи, удерживаемый благодаря такому механизму на постоянном уровне, является регулируемой величиной. Сама же печь именуется объектом регулирования. Золотниковое окно, через которое можно воздействовать на объем горючего газа, называют — как и в случае управляющих систем — **управляющим**, или **регулирующим**, воздействием.

По длине компенсационного стержня можно судить об имеющейся в печи температуре — действительном значении регулируемой величины, в то время как заданное значение регулируемой величины (требуемую температуру) можно устанавливать с помощью специального винта. При отклонении действительного значения от заданного (то есть в случае рассогласования), например при снижении температуры, задвижка открывается, обеспечивая приток горючего газа, и печь вновь нагревается до достижения заданного значения температуры. Печная температура всегда падает во время открытия

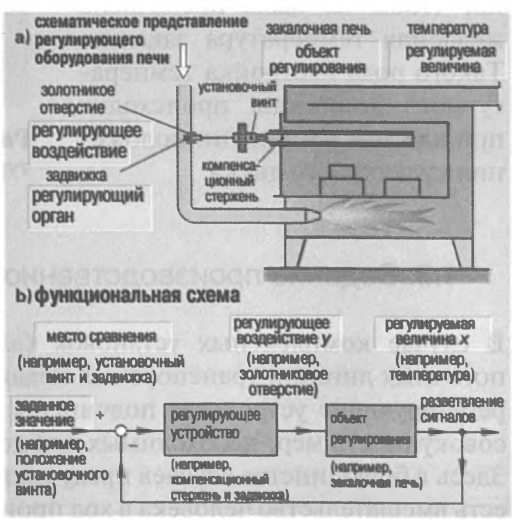


Рис. 9. Регулирование температуры закалочной печи

дверцы печи при новой загрузке заготовок или извлечении готовых изделий. Возникшее при этом охлаждение можно обозначить как «возмущающее воздействие».

Задачей рассмотренного способа регулирования является удержание на постоянном уровне того или иного параметра, например температуры. Таким образом, здесь речь идет о регулировании с целью стабилизации параметра.

Пример: следящее регулирование.

Для закалки стали температуру в закалочной печи требуется медленно повышать примерно до 700°С, а затем быстро довести до точки закалки. Таким образом, температура печи должна следовать за определенным температурным профилем. При этом задающее воздействие для температурного режима создается, например, с помощью равномерно вращающегося дискового кулачка, подвижно размещенного на оси задвижки с компенсационным стержнем (рис. 10). И задвижка, и стержень снабжены роликами, катающимися в пазу кулачкового диска. За счет формы последнего (задающее воздействие) и достигается регулирование значений температуры закалки (регулируемая величина). В показанном положении кулачкового диска (максимальная температура закалки) задвижка (регулирующий элемент) полностью открыта с соответствующим усилением подачи горючего газа. Температура (регулируемая величина) при этом повышается. По мере роста температуры компенсационный стержень растягивается и вновь закрывает задвижку настолько, чтобы не была превышена желаемая температура закалки. Такого рода настройка температурного диапазона происходит при каждом изменении положения кулачкового диска.

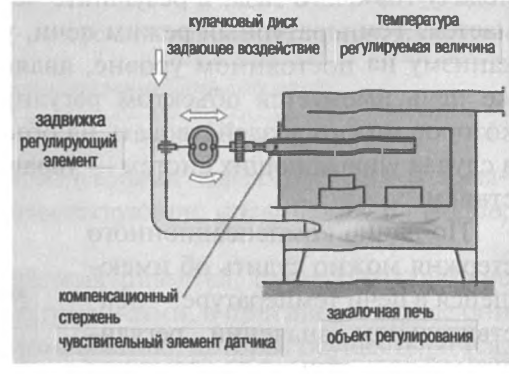


Рис. 10. Следящее регулирование температуры закалки

1.3. Ведение производственного процесса

В случае комплексных установок (электростанций, автоматизированных поточных линий и транспортных механизмов разного рода) управляющие и регулирующие устройства подчинены ведущей системе, реализующей всю совокупность мер, необходимых для достижения требуемого хода процесса. Здесь в большинстве случаев предусматривается и воздействие оператора, то есть вмешательство человека в ход производственного процесса.

Наряду с измерением, управлением и регулированием, важнейшими задачами ведения процесса являются также: контроль текущих технологи-

ческих операций; своевременное обнаружение и предотвращение аварийных ситуаций; анализ, индикация, сигнализация, регистрация процесса с возможностью — при необходимости — вмешательства оператора; сбор и обработка информации; ввод данных; передача данных и вывод данных (ДИН 19 222). Среди ведущих устройств здесь можно назвать вычислительные машины, приборы регистрации рабочих параметров, а также сети передачи данных для соединения главного управляющего устройства с децентрализованными узлами установки — управляющими, регулирующими и контрольно-измерительными блоками.

Повторение и закрепление материала

1. *Почему программное управление в зависимости от процесса предпочтительнее программного управления в зависимости от времени?*
2. *Приведите по одному примеру комбинаторного и последовательного управления.*
3. *По достижении числа оборотов холостого хода управляющая система производит переключение со звезды на треугольник. О какой системе идет речь — ориентированной на процесс или на время?*
4. *Чем управляющие системы с программируемыми связями отличаются от систем программного управления от ЗУ?*
5. *Объясните понятия «управляющее воздействие» и «задающее воздействие».*
6. *Каковы важнейшие задачи ведущего управляющего устройства?*

ГЛАВА 2

ОСНОВЫ ТЕХНИКИ УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Механические управляющие системы

2.1.1. Общие сведения

Механические управляющие устройства способны обеспечивать точное и выполняемое с высокой скоростью перемещение по заранее установленному пути. Посредством распределительных (кулачковых) валов управляются, например, клапаны двигателей. Круглые поворотные столы можно позиционировать с помощью механизмов с мальтийским крестом, а в токарных автоматах управление подачей осуществляется с использованием кулачковых дисков. Механические управляющие элементы отличаются большой точностью, действуют непосредственно, без выдержки времени, и обладают большим сроком службы. Приходится, однако, констатировать, что их изготовление требует больших затрат сил и времени.

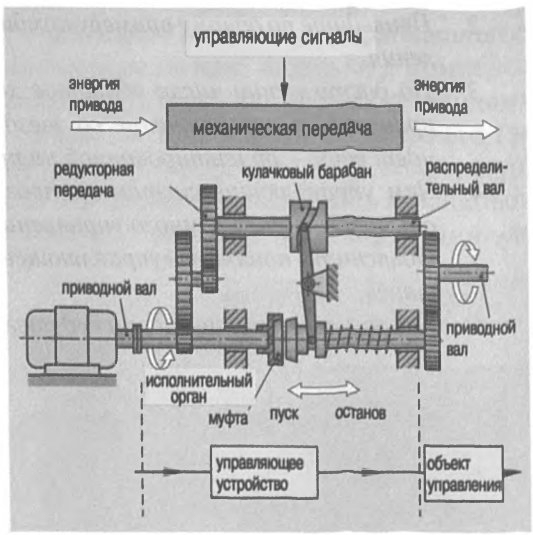


Рис. 11. Пример механической системы управления

Механические управляющие системы состоят из передаточных механизмов, кулачковых дисков, рычагов, сцеплений и прочих механических деталей (рис. 11).

Пример: Допустим, электродвигатель приводит в действие приводной вал, который через муфту может быть соединен с парой зубчатых колес ведомого вала. Данная муфта является исполнительным звеном системы управления и через рычаг получает командные сигналы от кулачкового барабана. Этот барабан сидит на распределительном валу, который через редуктор также приводится в движение электродвигателем. Подача сигнала на срабатывание муфты определяется формой кулачкового барабана.

Если вращающийся пазовый кулачок в крутящемся кулачковом барабане ведет вправо, муфта закрывается под действием рычага, включается ве-

домый вал (происходит пуск). Если же паз ведет влево, муфта открывается, приводной вал стоит на месте (останов). Четкая последовательность сигналов для пуска и останова повторяется после каждого оборота распределительного вала, образуя в данном случае программу управления.

Управляющее устройство в данном случае состоит в целом из распределительного вала, муфты, кулачкового барабана, рычага и пружины, а объектом управления является выходной (ведомый) вал.

Принцип действия механической системы управления (рис. 12) коротко можно сформулировать следующим образом: приводная энергия через электродвигатель попадает в регулируемую коробку передач, посредством которой на основе механических, пневматических, гидравлических или электрических сигналов обеспечивается регулирование числа оборотов, направления вращения и длительности вращения (пуск–останов).

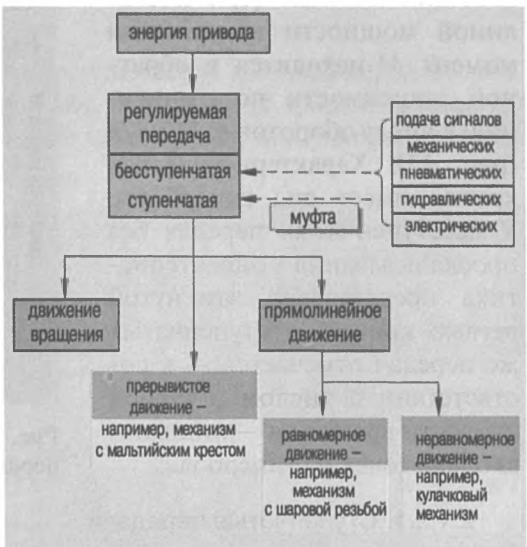


Рис. 12. Структура механических систем управления

У ступенчатых передач подача сигналов осуществляется через муфты, у бесступенчато регулируемых передач — через специальные исполнительные устройства. На выходном валу регулируемой передачи предлагается управляемая энергия вращения. Если же движение вращения требуется преобразовать в прямолинейное движение (как, например, в случае подачи каретки инструментального суппорта токарного станка), то это может достигаться с помощью зубчато-реечной передачи.

У приводов с минимальным трением для генерации равномерного прямолинейного движения используются механизмы с шаровой резьбой. Если, напротив, прямолинейное движение должно осуществляться неравномерно (например с целью разделения ускоренного движения поперечной подачи и медленного движения обработки), то находят применение кулачковые и кривошипно-шатунные механизмы. Кулачковые механизмы используются также для формирования сигналов. Для транспортных устройств часто требуется выполнение движений в шаговом режиме. Круглый поворотный стол пресса должен, например, после каждого рабочего хода прессового штампа поворачиваться на один шаг, а потом снова останавливаться. Это достигается в результате прерывания постоянного движения вращения регулируемой передачи с помощью следящего механизма прерывистого движения.

2.1.2. Регулируемые передаточные механизмы

Регулируемые механические передачи используются для управления направлением вращения, числом оборотов и вращающим моментом.

Входная мощность на приводном валу коробки передач в большинстве случаев остается постоянной, так что с изменением числа оборотов изменяется и вращающий момент. При постоянной мощности вращающий момент M находится в обратной зависимости по отношению к числу оборотов n: $M \sim 1/n$ (рис. 13). Характеристическая кривая имеет вид гиперболы. У бесступенчатых передач без проскальзывания характеристика представлена замкнутой ветвью кривой, у ступенчатых же передач отмечается — в соответствии с числом ступеней скорости вращения — лишь несколько точек на гиперболе.

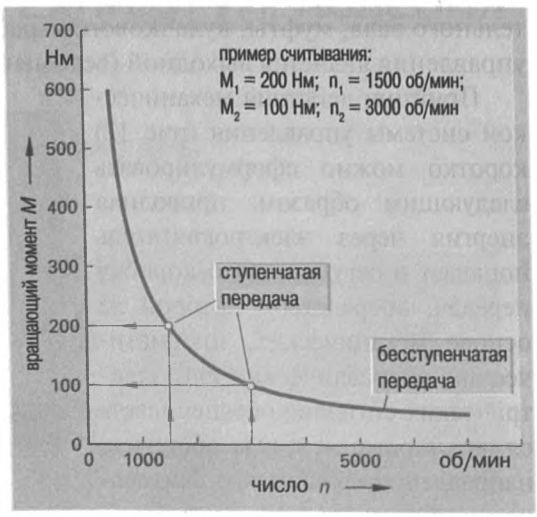


Рис. 13. Характеристика регулируемой передачи

2.1.2.1. Ступенчатые передачи

Ступенчатые передаточные механизмы часто классифицируют как плоскоременные со ступенчатыми шкивами и ступенчатые зубчатые передачи.

Для передачи мощности первые располагают ременными шкивами и ремнями, у вторых передача мощности осуществляется непосредственно через зубчатые колеса. Направление вращения и число оборотов у автоматических ступенчатых передач регулируются посредством муфт и тормозов.

Пример: С помощью клиноременной передачи можно, например, переходить с одной скорости вращения на другую — без какого бы то ни было изменения положения ремня (рис. 14).

Подача сигналов для изменения числа оборотов осуществляется при этом электрическим

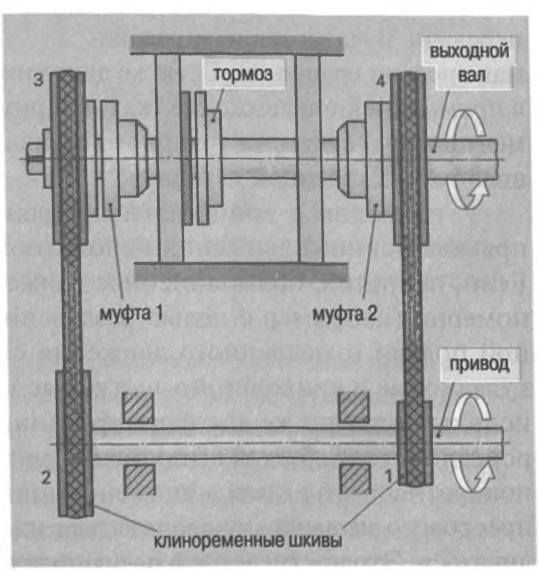


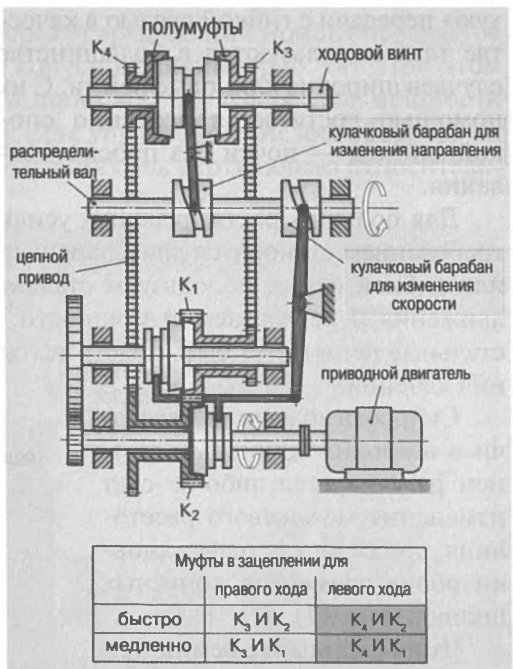
Рис. 14. Передачи со ступенчатыми шкивами для регулирования чисел оборотов

способом, а именно с помощью двух электромагнитных муфт и одного тормоза. При срабатывании электромагнитной муфты 2 отбор мощности происходит через ременный шкив 4, причем передача переключается на режим тихого хода. Одновременно должна быть открыта муфта 1, чтобы ременный шкив 3 мог свободно вращаться на валу.

При переключении на ускоренный ход открывается электромагнитная муфта 2 и срабатывает тормоз ведомого вала. Затем муфта 1 может соединиться с ременным шкивом, вызывая ускорение отбора мощности до достижения режима ускоренного хода.

Пример: С помощью механической ступенчатой зубчатой передачи можно регулировать два числа оборотов и оба направления вращения (рис. 15). Электродвигатель приводит во вращение нижний вал. Для ускоренного хода шпинделя изделия закрывается муфта K_2.

Для режима тихого хода верхний вал, который по причине понижения числа оборотов зубчатых колес имеет меньшую скорость вращения, чем нижний вал, соединяется — посредством муфты K_1 и обоих цепных приводов — с полумуфтами K_4 и K_3. Момент включения механической подачи сигнала на срабатывание обеих муфт K_1 и K_2 определяется скоростью вращения распределительного вала и формой правого кулачкового барабана. Левый кулачковый барабан служит для управления переменой направления. При левом вращении закрывается муфта K_4, при правом — муфта K_3.



Муфты в зацеплении для		
	правого хода	левого хода
быстро	K_3 И K_2	K_4 И K_2
медленно	K_3 И K_1	K_4 И K_1

Рис. 15. Ступенчатая зубчатая передача для регулирования чисел оборотов и направлений вращения

Такие бесступенчатые зубчатые передачи, управляемые через распределительные валы и кулачковые барабаны, находят применение, например, в токарных автоматах для привода шпинделя изделия. Формы кулачковых барабанов выбираются в соответствии с определенной заготовкой, стоимость обработки которой (особенно в случае изготовления большой партии изделий) оказывается весьма умеренной.

2.1.2.2. Бесступенчатые передачи

К передаточным механизмам с бесступенчатым регулированием относятся: передачи с гибкой связью, фрикционные передачи и обкатные передачи.

Передачи с гибкой связью

Передачи с гибкой связью — это передаточные механизмы со ступенчатыми шкивами, у которых хотя бы один шкив состоит из двух конических деталей. Эти конические элементы могут смещаться на своем валу в осевом направлении, за счет чего регулируются радиусы вращения клиновых ремней или стальных цепей. Таким способом удается управлять скоростью вращения выходного вала и вращающим моментом передачи (рис. 16).

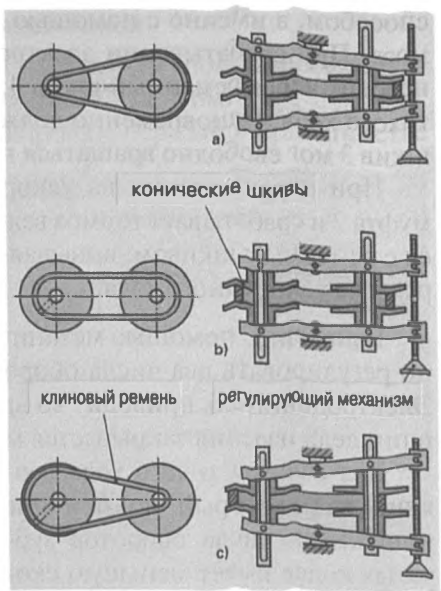


Рис. 16. Передача с гибкой связью

Для рассчитанной на «работу всухую» передачи с гибкой связью в качестве тяги используются в большинстве случаев широкие клиновые ремни. С их помощью достигается особенно спокойный ход — почти без проскальзывания.

Для больших растягивающих усилий и тех случаев, когда обязательным требованием становится длительный срок службы передачи, в качестве тяги, или гибкой связи, используют стальные цепи. В зависимости от скорости движения и передаваемой мощности, перемещающиеся в масляной ванне стальные цепи могут быть пластинчатыми, роликовыми и с шарнирами трения качения.

Скорость вращения передачи с широким клиновым ремнем регулируется либо за счет изменения межосевого расстояния, либо путем перестановки обоих элементов конусных шкивов (рис. 17).

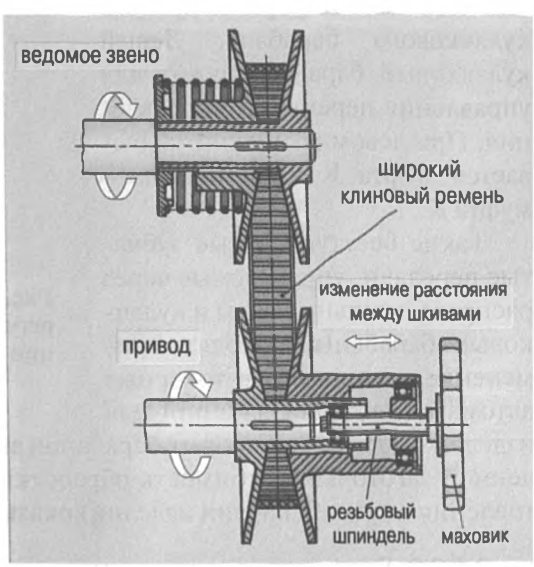


Рис. 17. Регулирование чисел оборотов путем перестановки конусных шкивов

Чтобы клиновые ремни при этом удерживать в натянутом состоянии, обе половины конического зубчатого колеса подвергаются постоянному сжимающему усилию или находятся под действием прижимного устройства, функционирующего в зависимости от вращающего момента. Оба элемента ведущего конического колеса можно, например, придвигать друг к другу или раздвигать с помо-

щью маховика (рис. 17). У ведомого конического колеса натяжная пружина обеспечивает необходимое давление прижима и регулировку радиуса вращения.

Передачи со стальными цепями в качестве тяги регулируются в большинстве случаев посредством установочного ходового винта и рычажной системы (рис. 16).

Пуск передачи с гибкой связью осуществляется на основе ручной перестановки, электрическим способом или посредством пневматического или гидравлического цилиндров. Электрические регулирующие механизмы или гидравлические сервоприводы необходимы, в частности, в тех случаях, когда передачи используются в качестве исполнительных элементов в контурах регулирования.

Фрикционные передачи

У фрикционных бесступенчатых передач вращающий момент передается посредством фрикционного колеса и конусного шкива (рис. 18). При этом сидящий на валу двигателя конусный шкив во время передачи мощности прижимается к фрикционному колесу. Для управления числом оборотов на выходе двигатель и коническое колесо сдвигаются вертикально относительно оси двигателя.

Прижимное усилие фрикционного колеса подгоняется к соответствующей нагрузке со стороны вращающего момента, что позволяет свести к минимуму неизбежный износ. Прижимное устройство состоит преимущественно из прижимной муфты и пружины. Прижимная муфта, смещаемая по оси на шлицевом валу, обладает формой сдвоенного кулачка, который входит в зацепление с имеющим определенную форму сопряженным элементом на фрикционном кольце и передает вращающий момент со стороны привода на сторону, противоположную приводу. Когда выходной вал нагружается, прижимная муфта по наклонным поверхностям кулачков выскальзывает из сопряженного элемента, тем самым натягивая пружину. Возникающее усилие натяжения пружины прижимает фрикционное кольцо к коническому колесу, а именно тем сильнее, чем больше имеющийся вращающий момент.

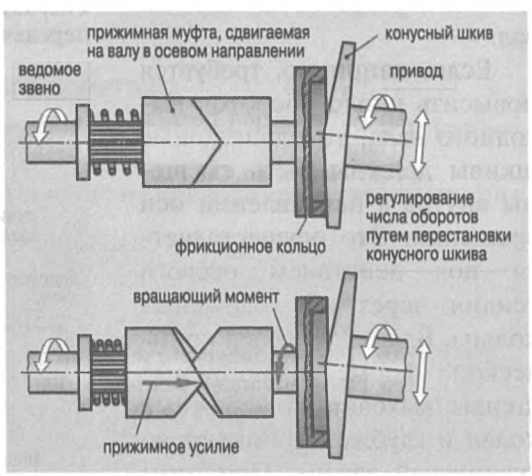


Рис. 18. Фрикционная передача с прижимным механизмом

Характеристика фрикционной передачи проходит почти линейно и — в силу существующего проскальзывания в месте трения — показывает минимальное и максимальное предельные числа оборотов (рис. 19).

Обкатные передачи

У регулируемых обкатных передаточных механизмов вращающий момент передается через шаровые либо конические тела качения.

Телами качения — например, у регулируемой планетарной передачи — могут быть конусные шкивы, вращающиеся вокруг приводного вала (рис. 20). Они фиксируются усилием пружины на стороне фланца приводного вала и попутно вращающегося зажимного кольца и сами приводятся во вращение. Во избежание выпадения из зажимного приспособления шкивы удерживаются с противоположной стороны двумя неподвижными наружными кольцами.

Валы вращающихся планетарных шкивов установлены в опорных башмаках выходного вала и могут смещаться в радиальном направлении. Через планетарные валы вращающий момент передается на ведомый вал.

Рис. 19. Характеристика фрикционной передачи

Если, например, требуется повысить число оборотов выходного вала, то планетарные шкивы должны быть смещены внутрь в направлении оси вращения. Это осуществляется под действием осевого усилия через оба наружных кольца. Благодаря своей конической форме планетарные шкивы выходят из наружных колец и глубже проникают во фланцевый зажим. При этом уменьшаются радиусы обката. Планетарные шкивы быстрее прокатываются на приводном фланце, повышая число оборотов ведомого вала.

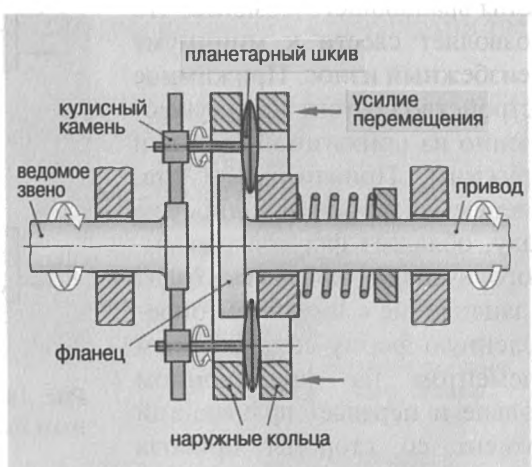


Рис. 20. Регулируемая планетарная передача

Если оказываемое на наружные кольца осевое усилие уменьшается, планетарные шкивы под действием усилия пружины вновь перемещаются наружу и катаются медленнее. Число оборотов на выходе снижается. Нетрудно заметить, что характеристика регулируемой планетарной передачи идентична характеристике фрикционного передаточного механизма (рис. 21).

Генерация прямолинейных движений

Регулируемые передачи обеспечивают механическое управление числом оборотов и направлением вращения.

Для преобразования движения вращения в прямолинейное движение, как это требуется во многих технологических машинах, приходится привлекать дополнительные передаточные механизмы. В металлообрабатывающих станках с автоматическим управлением привод прямолинейного движения должен быть по возможности свободен от трения и зазора. Передача с шаровой резьбой в полной мере отвечает этим требованиям (рис. 22). Между шпинделем и гайкой при наличии заложенных шариков возможно лишь трение качения. За счет затягивания разъемной гайки удается полностью исключить зазор в резьбе.

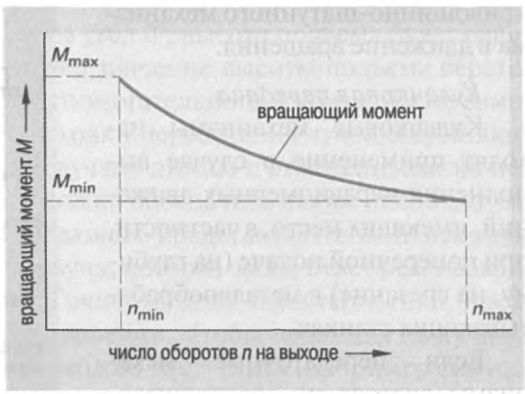


Рис. 21. Характеристика регулируемой планетарной передачи

2.1.3. Передачи неравномерного действия

К передачам неравномерного действия можно отнести кулачковые и кривошипно-шатунные механизмы.

Кривошипно-шатунные передачи состоят из приводимого в действие кривошипа, коромысла и шатуна. Кривошип, укрепленный на столе станка, приводит в движение шатун, а с ним и коромысло. Простейшим примером кривошипно-шатунной передачи является кривошипно-балансирный механизм (рис. 23).

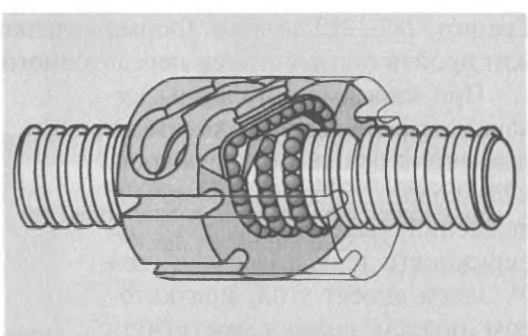


Рис. 22. Передаточный механизм с шаровой резьбой

Прочие кривошипно-шатунные механизмы обладают похожей конструкцией. Если шарнир выполнен в виде кривошипно-шатунного механизма, то речь идет о кривошипе с кулисой, или кривошипно-шатунной передаче. При наличии двух поступательных (кинематических) пар мы имеем дело с крестовым кривошипно-шатунным механизмом. Кривошипно-шатунные передачи используются в большинстве случаев в качестве силового передаточного механизма для преобразования движения вращения в продольное перемещение — как, например, в случае долбежных или поперечно-строгальных станков и штампов. Также и у дви-

гателя внутреннего сгорания прямолинейное движение поршня преобразуется с помощью кривошипно-шатунного механизма в движение вращения.

Кулачковая передача

Кулачковые механизмы находят применение в случае выполнения неравномерных движений, имеющих место, в частности, при поперечной подаче (на глубину, на врезание) в металлообрабатывающих станках.

Если передаточные механизмы состоят из вращающегося кулачка и прямолинейно направленного выходного звена, то можно говорить о кулачковом приводе с поступательной парой. В случае кулачка со следующим далее поворотным рычагом речь идет о кулачково-балансирной передаче.

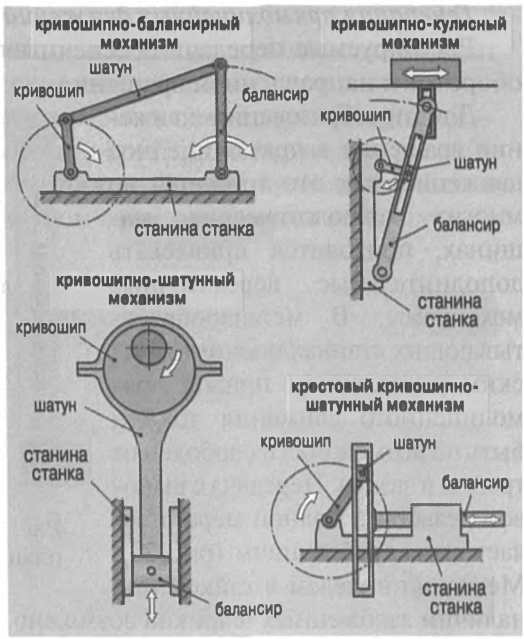


Рис. 23. Кривошипно-шатунная передача

Кулачковые приводы с поступательной парой могут обеспечивать прерывистое равномерное движение, если кулачковый диск имеет форму типа архимедовой спирали (Архимед из Сиракуз, механик и математик древней Греции, 287–212 до н.э.). Форма кулачков зависит от пути, который надлежит пройти под действием передаточного механизма (рис. 24).

При определении формы кулачка для равномерного хода надо развернуть основную окружность кулачкового диска. Для начала движения подъема определяют на окружности и на развертке угол 0° Затем вносят угол, при котором подъем должен достигнуть своей высшей точки, например, 240° Промежуточное пространство между двумя углами, 0° и 240°, делят на любое число равных частей — допустим, на четыре. На кулачковом диске отмечаются с одинаковыми промежутками делительные лучи, начиная от 0°, против направления вращения

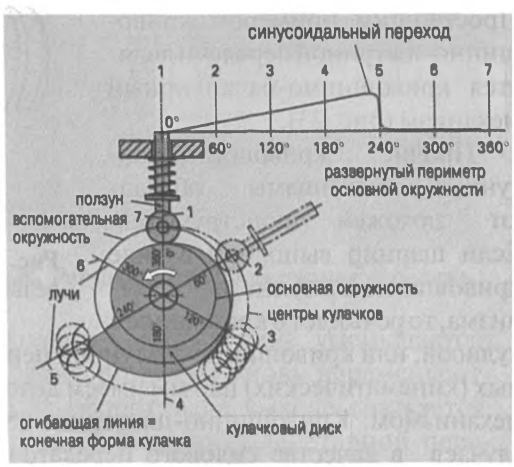


Рис. 24. Кулачковый привод с поступательной парой

кулачкового диска. Если представить себе фиксированное состояние кулачкового диска с перемещаемым вокруг диска ползуном, то можно перенести соответствующую длину хода из развертки на основную окружность кулачкового диска.

Для первого луча, проходящего через угол 0°, высота подъема будет равна нулю. Для второго луча соответствующее значение высоты подъема берется из развертки и наносится со стороны вспомогательного контура. То же самое выполняют с лучами 3 и 4. Найденные точки пересечения лучей соединяются затем с помощью лекала. В итоге получаем линию с отмеченными на ней центрами кулачков. Теперь циркулем можно обозначить любое число окружностей кулачков. Их внутренняя огибающая представляет собой искомую кривую для равномерного подъема ползуна, которая затем будет реализована в виде внешнего кулачкового диска. Точность этой характеристики удается еще улучшить за счет более тонкого деления. Чтобы переходы на кулачке оказались по возможности без стыков, можно закруглить (например синусоидально) углы развернутой линии подъема.

У кулачково-балансирной передачи кривая для получения равномерного подъема строится идентичным образом (рис. 25). Здесь также надо представить рычаг, движущийся вокруг кулачкового диска, причем сам диск находится в неподвижном состоянии. Лучи, на которых может находиться центр качения рычага в любой момент движения, заменяются теперь окружностями с длиной плеча рычага в качестве радиуса. Центр поворота плеча рычага перемещается по вспомогательной окружности вокруг кулачкового диска с принимаемым за радиус расстоянием между центром кулачка и центром поворота рычага.

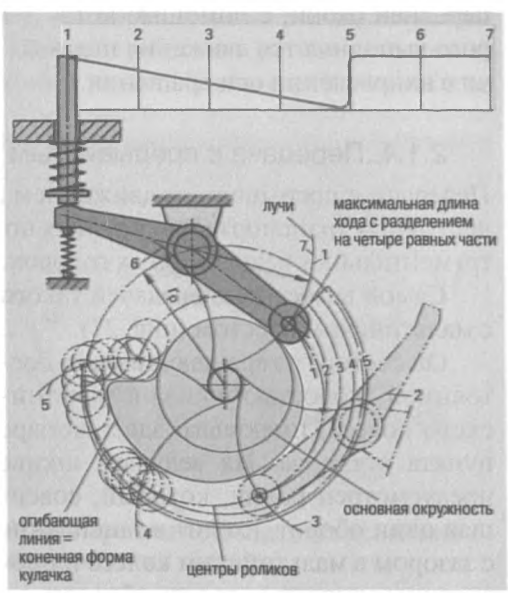


Рис. 25. Кулачково-балансирный механизм

Если всю длину хода и угол, за счет которого должен осуществляться подъем, разделить на равные части, можно к любому лучу отнести соответствующий подъем из развертки (см. нумерацию). Центровые профили кулачков получают, соединив лекалом найденные точки пересечения лучей и отрезков длины хода. Здесь опять можно отметить любое число окружностей роликов и получить кривую в виде огибающей этих окружностей.

Дисковые кулачки в качестве программной памяти

Дисковые кулачки являются механической программной памятью (ЗУ — запоминающим устройством для хранения информации).

На основе выбранной формы кулачка устанавливается программа перемещений ползуна или рычага. При повороте кулачка выполняется затем определенная последовательность отдельных движений (программа). Подобным образом используются кулачковые диски или поворотные делительные барабаны — для приведения в действие механических, пневматических, гидравлических или электрических управляющих элементов.

Токарные автоматы с механическим управлением оснащены дисковыми кулачками с функцией кулачкового программного датчика. При этом дисковые кулачки находятся в большинстве случаев на распределительном валу, который в процессе обработки заготовки один раз поворачивается вокруг своей оси (рис. 26). Важнейшую задачу выполняет при этом кулачок передней бабки, с помощью которого выполняются движения подачи в направлении оси вращения.

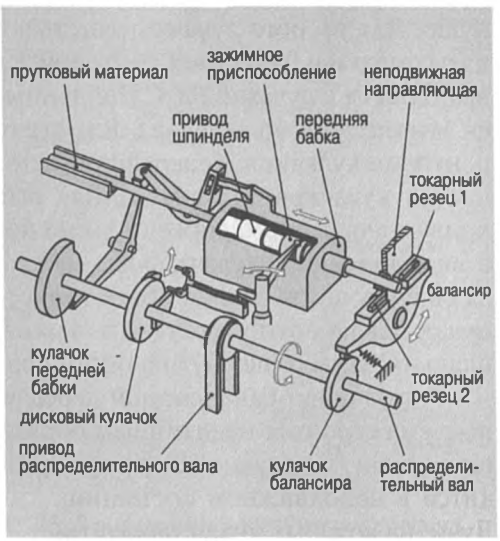


Рис. 26. Механическое управление токарным станком

2.1.4. Передача с прерывистым движением

Передачи с прерывистым движением используются для шаговых двигателей ленточных транспортеров, круглых поворотных (делительных) столов и инструментальных револьверных головок.

Самой известной передачей такого типа является делительный механизм с мальтийским крестом (рис. 27).

Он состоит из вращающегося с постоянной скоростью шкива и мальтийского колеса, имеющего здесь четыре пункта останова. На ведущем шкиве предусмотрен ролик, который, совершая один оборот, входит в зацепление с зазором в мальтийским колесе и проворачивает его на четверть оборота.

Для выполнения полных либо половинных оборотов с последующей остановкой используются механизмы со звездочкой.

В такой передаче колесо большего диаметра движется с равномерной скоростью, в то время как меньшее колесо остается в фиксированном по-

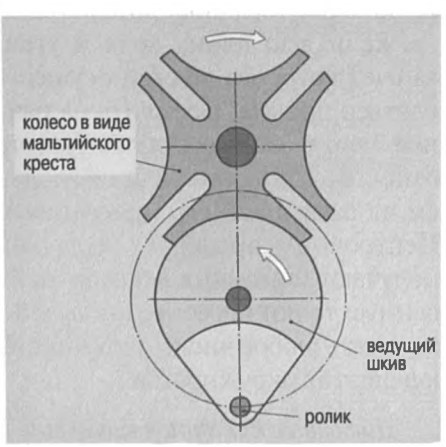


Рис. 27. Мальтийский механизм с четырьмя пунктами останова

ложении (рис. 28). Как только ролики ведущего колеса входят в зацепление с впадинами между зубьями звездочки, последняя совершает вместе с ними полный оборот. В остальное время звездочка стоит на месте. Благодаря разному расположению роликов и зубьев может быть получено множество комбинаций в диапазоне от времени оборота до времени останова.

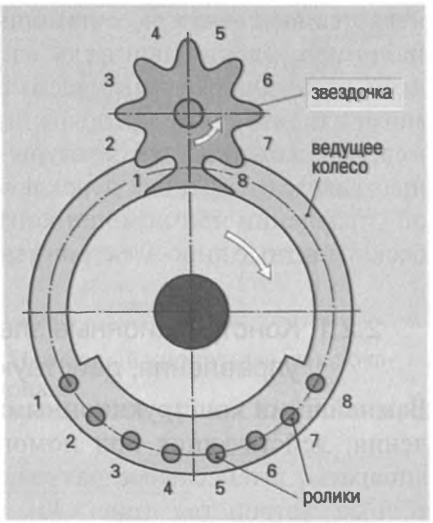


Рис. 28. Передаточный механизм со звездочкой

У передач прерывистого движения с перекрестными валами ведущее колесо представляет собой кулачковый барабан, снабженный по периметру ребром с трапецеидальным поперечным сечением (рис. 29).

Это ребро расположено строго вертикально оси вращения роликового колеса и тем самым препятствует его движению (фиксированное положение). На трети периметра барабана оба ребра расходятся, так что между двумя концами ребер как раз остается столько места, чтобы пропустить ролик ведомого колеса. Тогда роликовое колесо продвигается дальше на расстояние, равное промежутку между роликами.

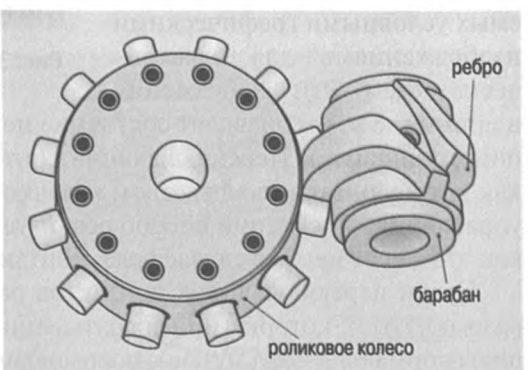


Рис. 29. Передача прерывистого движения с перекрестными валами

Повторение и закрепление материала

1. *Опишите конструктивное исполнение механических систем управления.*
2. *Перечислите виды бесступенчатых передач.*
3. *Как выполняется движение подачи кулачковым приводом с поступательной парой?*
4. *Чем кулачковый привод с поступательной парой отличается от кулачково-балансирного передаточного механизма?*

2.2. Электрические системы управления

Электрические системы управления состоят из электрических управляющих устройств и приводимых в действие электрическим способом исполнительных органов. Простейшим электрическим управляющим устройством

является выключатель, с помощью которого можно включать и выключать, например, электродвигатель как исполнительный орган для привода подачи металлообрабатывающего станка. В состав управляющего устройства могут входить также предохранительные и индикаторные элементы, например, реле контроля температуры и сигнальные лампы. Если управление осуществляется на основе переключения электрических контактов, то говорят об управлении при помощи контактов, в противном случае имеются в виду бесконтактные либо электронные системы управления.

2.2.1. Конструкционные элементы электрических систем управления, действующих на основе контактов

Важнейшими конструкционными элементами электрических систем управления, действующих при помощи контактов, являются коммутационные аппараты, штепсельные разъемы, детали соединения проводов и индикаторные устройства (рис. 30). Электромонтажные схемы служат для наглядного представления электрических систем управления. В них отображается функция конструкционных элементов на основе стандартизованных символов, именуемых условными графическими изображениями для электрических схем. Эти изображения в принципе воспроизводят состояние не задействованного пока коммутационного аппарата. Переключающие контакты могут приводиться в действие как вручную, так и посредством кулачков или же на основе дистанционного управления. Последний способ реализуется за счет электромагнитной силы, как это имеет место в случае реле, контактора и шагового переключателя.

Рис. 30. Выключатели

Среди переключающих контактов различают замыкающие (нормально-разомкнутые), которые при срабатывании замыкают цепь тока, и размыкающие (нормально-замкнутые), прерывающие цепь тока.

Исходя из способа срабатывания коммутационных аппаратов, среди них можно выделить клавиши и кнопки, коммутаторы, действующие от приложенной извне силы (поворотный, нажимный, шнуровой выключатели) и переключатели с механической блокировкой и свободным расцеплением.

Кнопочные нажимные выключатели, называемые для краткости просто клавишами или кнопками (например «нажимная звонковая кнопка»), действуют лишь при условии приложения к ним силы. При этом замыкание контакта либо его прерывание достигается посредством подвижных контактных элементов, приводимых в действие, например, вручную (рис. 31). Кнопочные выключатели часто имеют несколько контактов, например три замыкающих и три размыкающих контакта. Пружина, натягиваемая при срабатывании

такого выключателя, после прекращения функции приводит контактные элементы в их исходное состояние. Такие клавиши и кнопки часто служат одновременно в качестве световых сигнализаторов (сигнальных ламп). Выключатели с большой красной грибовидной головкой на желтом фоне выполняют обычно функцию аварийных коммутационных аппаратов. Они всегда выполняются в виде кнопок или клавиш и именно с размыкающим контактом, поскольку в аварийной ситуации требуется обязательный разрыв цепи тока.

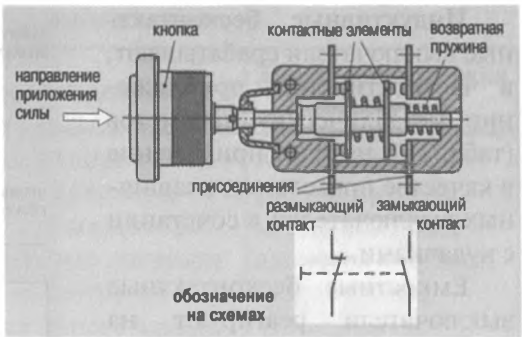


Рис. 31. Нажимный кнопочный выключатель (кнопка)

С помощью концевых (предельных, конечных) выключателей, приводимых в действие посредством кулачков, подается сигнал достижения предельных и конечных положений подвижными деталями машин. Предельные клавиши оснащены мгновенными щелчковыми (микро)выключателями, чем обеспечивается мгновенное замыкание либо размыкание контакта даже при очень медленном нажатии (рис. 32).

Рис. 32. Мгновенный выключатель

Для приведения в действие такого выключателя используется либо плунжер, выполненный из закаленной стали, либо роликовый рычаг (рис. 33). Благодаря рычагу увеличивается путь срабатывания, но зато снижается усилие на приведение выключателя в действие. Разность хода между точкой включения и точкой переключения на прежний режим есть разность между температурами включения и выключения.

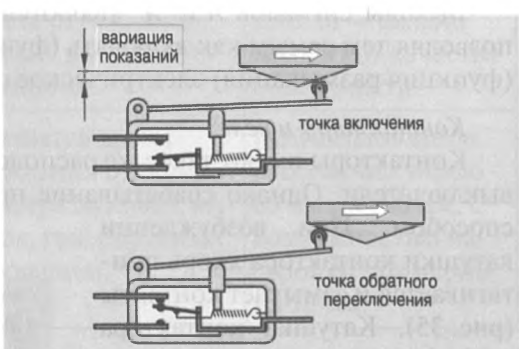


Рис. 33. Процесс срабатывания предельного кнопочного выключателя с роликовым рычагом

Бесконтактные выключатели

Вместо предельных клавишных выключателей нередко используются бесконтактные переключатели типа реле близости (рис. 34).

Индуктивные бесконтактные выключатели срабатывают, в частности, при приближении металлических предметов (табл. 2) и находят применение в качестве предельных клавишных выключателей в сочетании с кулачками.

Емкостные бесконтактные выключатели реагируют на многие вещества, в частности, на жидкости. Поэтому их нередко используют для контроля и регулирования уровня жидкостей.

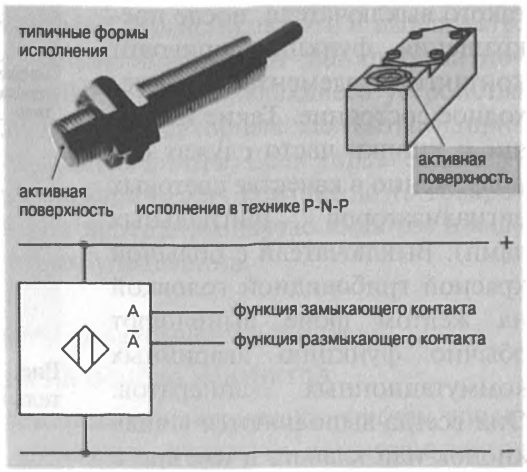


Рис. 34. Бесконтактный переключатель

Оптоэлектронные бесконтактные выключатели чувствительны к отраженному свету. Для подавления вторичного света часто привлекают пульсирующий луч лазера либо включаемое в прерывистом режиме инфракрасное излучение.

Бесконтактные выключатели на ультразвуковой основе по времени прохождения отраженного сигнала звуковых импульсов определяют расстояние до ближайшего предмета и срабатывают при достижении установленной зоны дальности.

Выходы сигналов A и $\overline{A}$ являются одномоментно неравнозначными, позволяя тем самым как включать (функция замыкания), так и выключать (функция размыкания) электрическое оборудование, например реле.

Контакторы и реле

Контакторы имеют такое же расположение контактов, что и клавишные выключатели. Однако срабатывание происходит здесь электромагнитным способом. При возбуждении катушки контактора якорь притягивается и замыкает контакты (рис. 35). Катушка контактора возбуждается — либо под действием переменного тока (контактор переменного тока), либо под действием постоянного тока (контактор постоянного тока). Контакторы обладают разрывной мощностью от 1 кВт до 500 кВт и могут использоваться для включения двигателей, муфт, тормозов и электрических нагревателей.

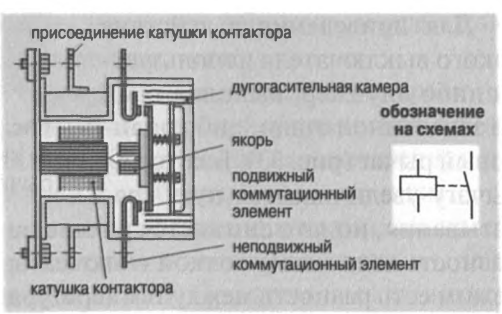


Рис. 35. Контактор

Таблица 2. Бесконтактные выключатели приближения

Исполнение	Графическое изображение	Принцип действия	Характеристические параметры
индуктивного типа		С приближением металлических предметов индуктируются вихревые токи, что приводит к резкому затуханию колебательного контура.	Коммутационное расстояние: примерно половина диаметра катушки, 1мм ... 150 мм.
емкостного типа		В результате приближения жидкостей или предметов из стекла, пластмассы, древесины, металла изменяется емкость колебательного контура и, следовательно, его напряжение.	Коммутационное расстояние: сильно зависит от материала приближающегося предмета, около 20 мм ... 40 мм.
оптоэлектронного типа		Через фотодиод посылаются импульсы инфракрасного излучения. При приближении предмета отражающее излучение инициирует коммутацию.	Коммутационное расстояние: с отражателем — около 2 метров, без отражателя — сильно зависит от качества поверхности.
ультразвукового типа		Оценивается время прохождения отраженных ультразвуковых импульсов, генерируемых пьезокварцем.	Коммутационное расстояние: около 60 мм ...6000 мм, с возможностью настройки примерно на 10 мм.

Контакты делят обычно на главные (например для включения двигателей) и вспомогательные (например для включения управляющих и контрольных устройств) (рис. 36).

Контакторы, располагающие только вспомогательными контактами, также называются «вспомогательными» и обозначаются буквенными символами в сопровождении соответствующего счетного номера (рис. 37).

Реле выполняет в электрических системах управления такие же задачи, что и вспомогательный контактор, и служит в качестве клавишного переключателя с дистанционным управлением. Впрочем, его конструкция, размеры и разрывная мощность отличаются от таковых у контактора.

Рис. 36. Контактор с главными и вспомогательными контактами: обозначение на схемах

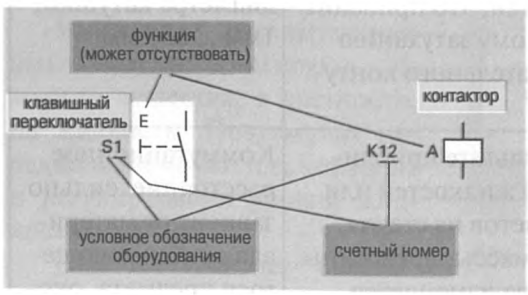


Рис. 37. Обозначение элементов электрооборудования

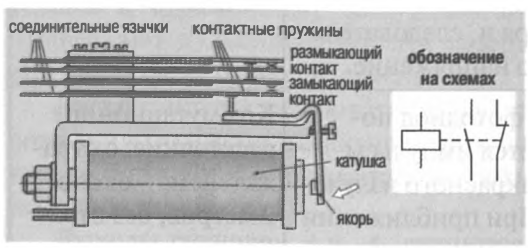


Рис. 38. Реле

Рис. 39. Реле с герметизированным контактом (снимок в натуральную величину)

Замыкание и размыкание контактов всегда происходит посредством плоских (листовых) контактных пружин (рис. 38). У такого реле якорь, расположенный на режущей кромке, притягивается под действием магнитного поля релейной катушки. При этом небольшие штифты приводят в действие контактные пружины. Время срабатывания (то есть период между включением катушки реле и замыканием контакта) составляет от 1 мс до 10 мс. Это значительно короче, чем у контактора. Разрывная мощность — в зависимости от конструктивного размера — может составлять от нескольких мВт до почти 1 кВт.

Так называемые реле с печатным монтажом пригодны для непосредственного монтажа на электронных печатных платах: их нередко используют в сочетании с электронными модулями.

В отличие от электронных выключателей, с помощью реле возможно включение контуров тока без потенциала, то есть контакты могут быть соединены в контурах тока с разным потенциалом.

Реле с герметизированными контактами (герконами) отличаются чрезвычайно высоким сроком службы. Контактные язычки попарно впаяны здесь в стеклянные трубки (в вакууме или в среде инертного газа) (рис. 39). Такая стеклянная трубка вставляется в цилиндрическую электромагнитную катушку. Как только через нее начинает протекать ток, контактные пружины намагничиваются и взаимно притягиваются, замыкая тем самым контакт.

Реле времени

Выдержка времени между срабатыванием реле и включением контактных пружин порой весьма желательна в функционировании управляющих систем, как и период замедления между отключением реле и отпусканием контактных пружин.

Рис. 40. Реле времени

Реле с такими свойствами называют реле с замедленным притяжением (реле, замедленное на притяжение) или соответственно реле с замедленным отпусканием (реле, замедленное на отпускание) (рис. 40).

Период замедления срабатывания реле может регулироваться в диапазоне от нескольких миллисекунд до нескольких секунд. Такой выдержки времени при коммутации достигают на основе электрических схем (в которых, например, конденсатор постепенно заряжается или разряжается) либо с помощью электрического часового механизма. Электронные реле времени работают с датчиком тактовых импульсов и электронным счетчиком, и их удается просто и точно настроить посредством цифрового переключателя предварительной установки с цифровой индикацией.

Переключатели

Переключатели остаются в том коммутационном положении, в какое они были приведены при включении.

Рис. 41. Переключатель с ручным управлением

Переключатели с ручным управлением являются в большинстве случаев перекидными по типу тумблеров с двумя коммутационными положениями (выключено-включено) либо многопозиционными, с несколькими коммутационными положениями (рис. 41 и 42). С помощью таких выключателей можно — как и в случае с клавишными выключателями — включать одновременно несколько контактов (на нескольких путях их перемещения). Тогда одновременно задействуются сразу не-

сколько независимых цепей тока. Приведение в действие коммутационных элементов осуществляется при этом посредством неподвижных контактных кулачков (рис. 42).

Поляризованные реле

Поляризованное реле представляет собой приводимый в действие электромагнитным способом переключатель с двумя коммутационными положениями (рис. 43). Якорь при этом перемещается вправо или влево — в зависимости от возбуждения правой или соответственно левой обмотки — и под действием постоянного магнита замирает в последнем достигнутом положении, даже если соответствующая обмотка затем уже не возбуждается.

Поляризованное реле может действовать только с постоянным током. Полярность следует выбирать с таким расчетом, чтобы проходящий через обмотку электромагнитный поток имел то же направление, что и магнитный поток постоянного магнита. Поляризованные реле служат в качестве электронных ЗУ для запоминания состояний управляющей системы. В случае исчезновения сетевого тока они сохраняют в своей памяти последнее коммутационное положение, так что при возвращении электроэнергии в сеть электрическая система управления оказывается в той позиции управления, какая имела место при внезапном прерывании подачи тока.

Реле последовательного включения есть электромагнитный переключатель с двумя или несколькими (например восемью) коммутационными положениями (рис. 44). С каждым импульсом

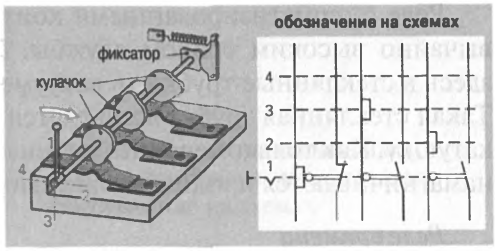


Рис. 42. Кулачковый выключатель с 4 коммутационными положениями в трех плоскостях

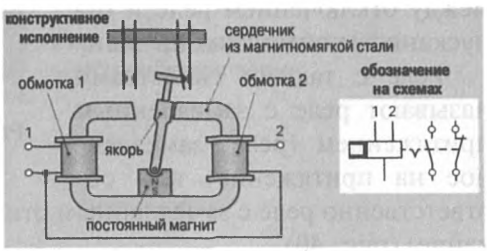


Рис. 43. Поляризованное реле с двумя коммутационными положениями

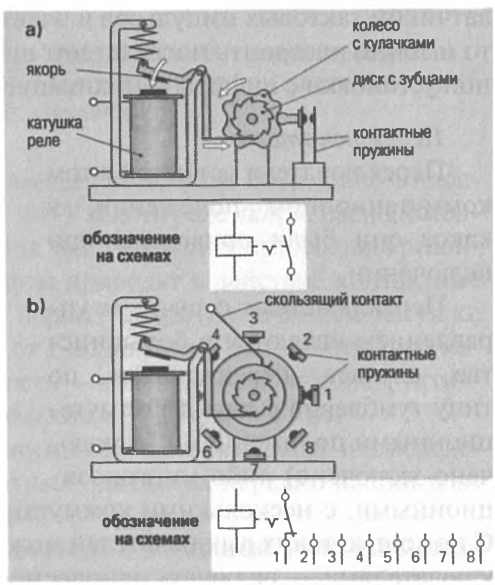


Рис. 44. Реле последовательного включения

тока якорь притягивается, а диск с зубцами поворачивается на одну позицию дальше. Благодаря колесу с кулачками при каждом токовом импульсе происходит изменение коммутационного положения (рис. 44а). Такие реле последовательного включения называют также импульсными выключателями. У реле согласно рис. 44b восемь контактов поочередно включаются с каждым импульсом тока. Используют подобные реле в качестве многопозиционных шаговых переключателей.

Выключатели с механической блокировкой и свободным расцеплением

Эти выключатели с защелкой служат для защиты электрических устройств и установок.

Как и установочные переключатели, они фиксируются в соответствующем коммутационном положении. Для выключения здесь требуется приложить значительно меньше силы, чем для включения, поскольку при включении натягивается пружина возврата, и достигнутое коммутационное положение удерживается с помощью защелки (механическая блокировка) (рис. 45). Расцепление защелки может осуществляться как вручную — легким нажатием клавиши выключения, так и автоматически — посредством расцепляющего механизма.

Самыми распространенными механизмами расцепления являются тепловые реле, электромагнитные реле максимального тока и автоматы отключения цепи при исчезновении напряжения.

У теплового реле в случае прохождения чрезмерного тока нагревается биметаллическая пластина и прогибается настолько, что стопорная собачка выходит из зацепления (рис. 45). В автоматах защиты двигателя тепловые реле защищают двигатель от длительных перегрузок. В случае превышения тока биметалл нагревается и вызывает отключение. Кратковременный максимальный ток, возникающий, например, при включении двигателя, остается без внимания. Тепловые реле настраиваются на номинальный ток двигателя.

Электромагнитные реле максимального тока служат прежде всего для быстрого отключения в случае короткого замыкания (рис. 45).

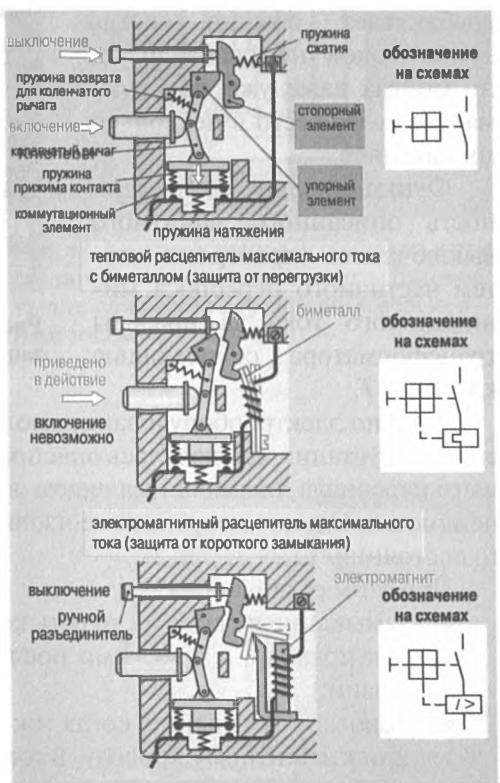


Рис. 45. Выключатель с механической блокировкой и свободным расцеплением

Например, при пятикратном превышении тока освобождение стопорной собачки происходит под действием электромагнитного поля катушки.

Автоматы разрыва цепи при исчезновении напряжения служат для контроля состояния электросетей. Как только сетевое напряжение падает ниже установленного минимального уровня (обычно на 30–50%), такой автомат немедленно срабатывает, отключая сеть, так как при пониженном сетевом напряжении вряд ли может быть обеспечена надежная работа электрических и электронных систем управления.

Автоматический выключатель защиты от токов утечки

Выключатель защиты от тока утечки (рис. 46) выключает установку, если часть тока не проходит обратно через подводящий провод. Это тот случай, когда имеет место соприкосновение с токопроводящими элементами, либо когда по причине дефектной изоляции какая-то часть тока утекает по корпусу и защитному проводу или по земле.

Такой защитный выключатель имеет высокочувствительный трансформатор суммарного тока (рис. 47). Последний срабатывает обычно, когда сумма токов не равна нулю, но иногда даже уже при суммарном токе всего в несколько миллиампер.

Функциональную надежность описанного защитного выключателя проверяют путем частичного переброса минимального тока за пределы трансформатора с помощью клавиши *T*.

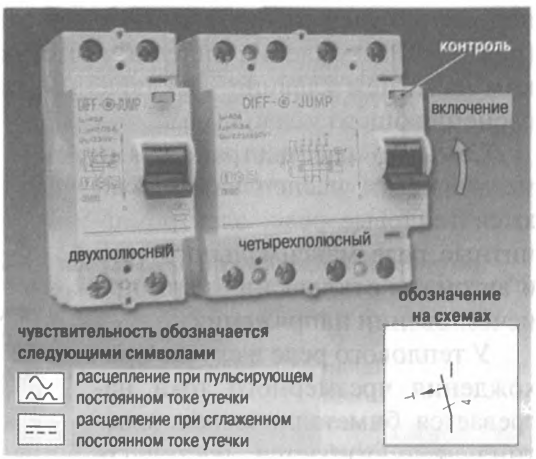


Рис. 46. 2- и 4-полюсный выключатель защиты от тока утечки

Обычно электрооборудование изолировано с таким расчетом, чтобы при его эксплуатации исключалась опасность для жизни и здоровья обслуживающего персонала, оказавшихся рядом животных и сохранности материальных ценностей. Однако повреждение изоляции может стать причиной аварийного состояния.

При этом различают:

- замыкание на корпус, то есть когда ток проходит через тело человека, как правило, с тяжелыми последствиями для его здоровья или даже жизни;

  короткое замыкание, когда ток течет от одного проводника к другому или к защитному проводу, в том числе с образованием электрической дуги; при этом в случае одновременного прикосновения к устройству, присоединенному к защитному проводу, возможно и замыкание на корпус;

замыкание на землю, то есть когда ток течет к земле или к заземленным деталям.

При наличии токов выше 10 мА замыкание на корпус представляется чрезвычайно опасным. Короткое замыкание и замыкание на землю легко могут вызвать возгорание и стать причиной пожара.

При замыкании на корпус, коротком замыкании и замыкании на землю выключатели защиты от токов утечки обесточивают электронные потребители, тем самым защищая их от повреждения или полного разрушения.

Особой осторожности требует эксплуатация электроприборов в ванных комнатах, когда человек рискует получить замыкание на корпус через неизолированную одежду и обувь, например при пользовании феном с поврежденным соединительным проводом (рис. 48).

Замыкания на землю могут появиться не только из-за поврежденной изоляции, но и вследствие перегрузки электрооборудования (например двигателей), при перегорании проводов либо попадании влаги или пыли и прочих токопроводящих отложений в элементы электрооборудования. При этом особенно опасна металлическая пыль и металлическая стружка.

Выключателями защиты от токов утечки обязательно должны оснащаться розетки или электрические устройства в сырых помещениях (ванных комнатах, бассейнах), на строительных площадках, кемпингах, лодочных станциях, в аудиториях с оборудованием для проведения экспериментов, ла-

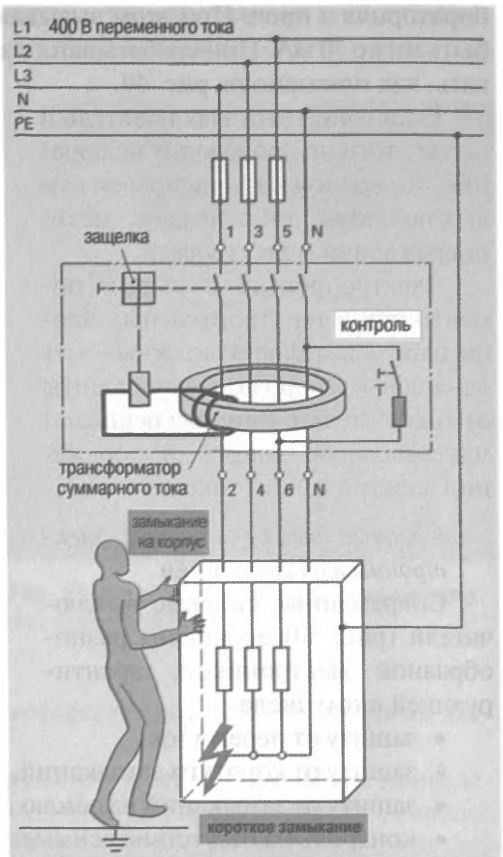


Рис. 47. Конструктивное исполнение и присоединение выключателя защиты от токов утечки при работе с трехфазным переменным током

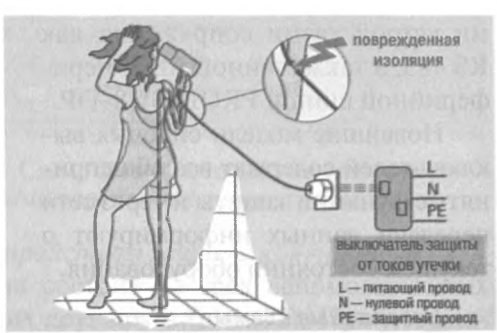


Рис. 48. Повышенная опасность в ванной комнате

бораториях и проч. При этом вызывающий расцепление ток утечки должен быть ниже 30 мА. При срабатывании защитного выключателя надо действовать, как показано на рис. 49.

Если защитный выключатель и после этого не производит включение, то, возможно, неисправен сам выключатель либо имеют место повреждения в электросети.

Электропровода в сырых помещениях и на строительных площадках обязательно должны быть оснащены выключателями защиты от токов утечки: они обеспечивают максимальную защиту от поражений электрическим током.

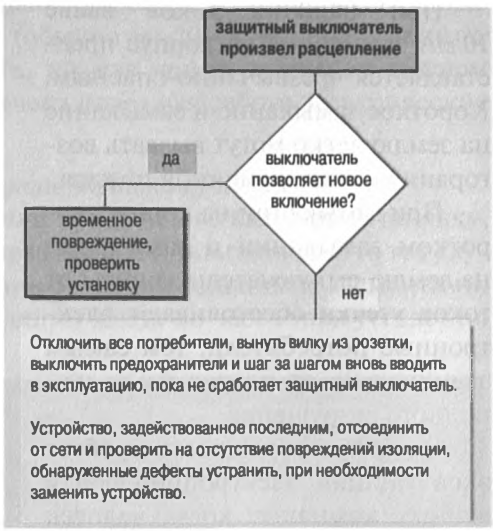


Рис. 49. Порядок действий при срабатывании выключателя защиты от токов утечки

Силовые выключатели с электронным размыканием

Современные силовые выключатели (рис. 50) оснащены разнообразной электроникой, гарантирующей в том числе:

- защиту от перегрузок,
- защиту от коротких замыканий,
- защиту от замыканий на землю с отключением токов утечки,
- контроль на отсутствие асимметричной нагрузки,
- размыкание при исчезновении сетевого напряжения и
- контроль температур, например температуры двигателя.

Помимо этого, существуют силовые выключатели с индикацией токов в проводах, индикацией мощности, значения $cos\phi$ и со всеми функциями размыкания.

Для целей дистанционного контроля современные силовые выключатели располагают и такими устройствами сопряжения как RS 485, а также шиной AS-I, периферийной шиной PROFIBUS-DP.

Новейшие модели силовых выключателей содержат все общепринятые функции защиты и через сети передачи данных информируют о текущем состоянии оборудования.

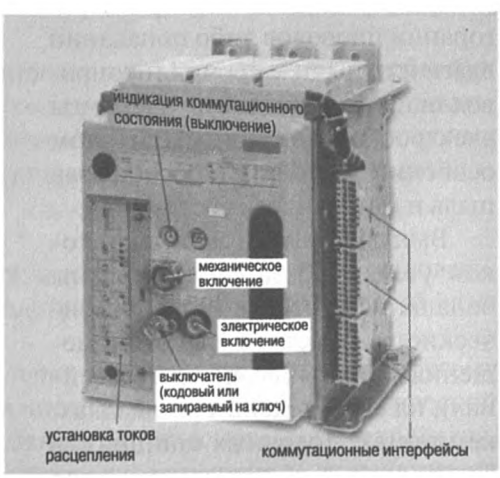


Рис. 50. Силовой выключатель

Безопасные схемы

Машины и установки либо отдельные их элементы в случае

опасности должны отключаться аварийным выключателем либо приводиться в такое состояние, чтобы они не стали источником потенциальной опасности.

Установлены определенные требования к аварийным выключателям. В частности, он должен быть:

- красного цвета,
- на желтом фоне,
- размещен на видном месте и
- легко доступен (рис. 51).

Задачей аварийного выключателя является принудительное разъединение аварийной сети, что означает: коммутационные элементы не могут быть приведены в действие никаким косвенным способом — с применением магнита или посредством упругих деталей (пружин или т. п.).

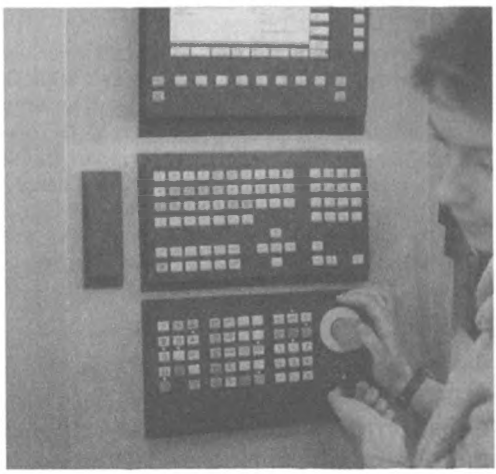


Рис. 51. Кнопка аварийного выключения на станке с ЧПУ

Схема аварийного выключения с перекрестными переключающими элементами

В схеме согласно рис. 52 деблокирующий контур включается приведением в действие контакторов K1 и K2, для которых предусмотрено самоблокирование посредством пересекающихся во времени контактов. Опережающие самоблокирующиеся контакты в цепи тока самоблокировки замыкаются еще до того, как размыкаются размыкающие контакты. В случае отказа одного контактора (например по причине залипания или т. п.) деблокирование надежно прекращается другим контактором: речь идет о схеме с избыточностью (лат. redundantis).

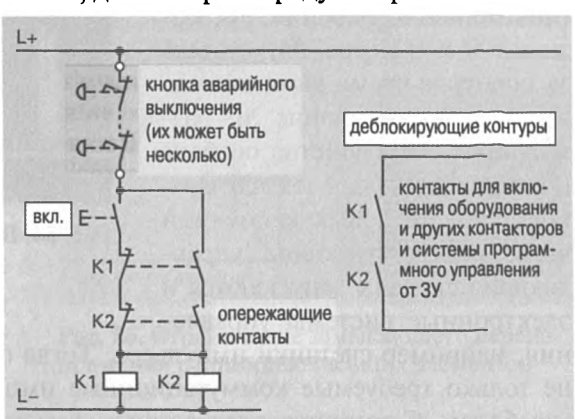


Рис. 52. Схема аварийного выключения с перекрестными переключающимися элементами

Схема аварийного выключения с устройством защиты контактора

Эта схема аварийного выключения состоит из трех вспомогательных контакторов, взаимно контролирующих друг друга (рис. 53). При ненажатой аварийной кнопке притягивается контактор K1, передающий через светодиод сигнал готовности.

При нажатии на «ВКЛ.» притягивается контактор К2, а вслед за ним и К3, которые самоблокируются. Контактор К1 с замедлением отпадает. И только теперь происходит замыкание деблокирующей цепи тока. Вспыхивает светодиод «ВКЛ.», а светодиод «Готовность» гаснет. Эта схема функционирует на основе замедленного отпадания К1. Требуемая выдержка времени достигается посредством деблокирующего светодиода. После срабатывания аварийного выключателя новое включение без предварительного деблокирования невозможно, даже если один из контакторов остается в состоянии «залипания».

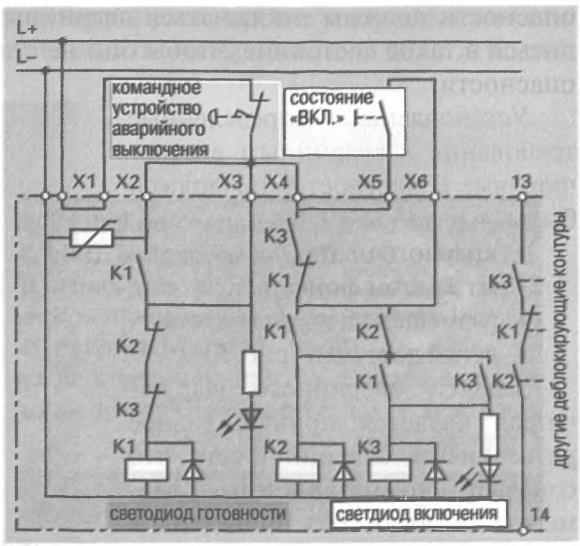


Рис. 53. Схема аварийного выключения с тремя вспомогательными контакторами

Вибрация контактов

При включении с контактами всегда возникает их вибрация (повторные соударения, дребезжание и т. п.) (рис. 54), то есть за короткое время выключатель выполняет замыкание и размыкание. Это свойство особенно нежелательно в тех случаях, когда вместе с выключателями через соответствующие управляющие сигналы запускаются и электронные системы управления, например счетчики импульсов. Тогда счетчик вынужден подсчитывать не только требуемые коммутационные импульсы, но и все нежелательные «дребезги». С помощью электронных схем устранения вибрации удается в таких случаях шунтировать имеющие место кратковременные прерывания сигналов.

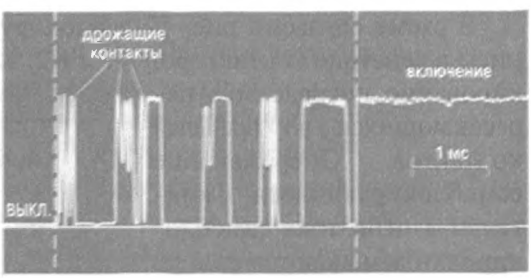


Рис. 54. Вибрация контактов

Итак, следует помнить: в процессе коммутации выключатели способны вызвать вибрацию контактов.

Размыкающие перенапряжения и искрогашение

Гасящие элементы включаются параллельно катушке контактора и прочим индуктивным нагрузкам, что позволяет избежать максимальных напря-

жений в несколько тысяч вольт (рис. 55) и помех в электронных цепях тока. В результате перенапряжений возникают искры, вызывающие в свою очередь электромагнитные помехи и повышенную коррозию на контактах — вплоть до их оплавления.

При отключении индуктивных нагрузок возможно образование высоких перенапряжений с образованием искр.

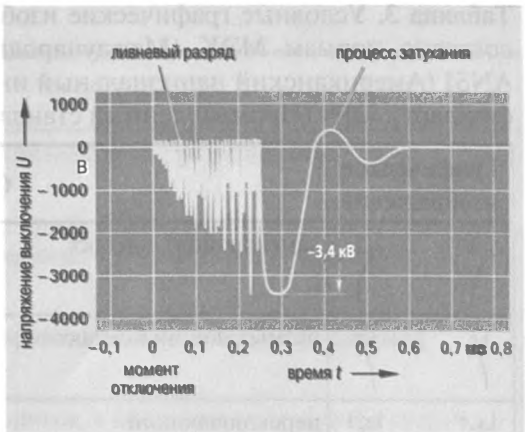


Рис. 55. Размыкающее перенапряжение на катушке контактора без гасящего элемента

Варисторный гасящий элемент (рис. 56a) имеет в предусмотренном диапазоне номинальных напряжений весьма высокое сопротивление, а в диапазоне максимальных напряжений — очень низкое сопротивление и, следовательно, закорачивает недопустимые сверхнапряжения, возникающие, прежде всего, при отключении катушки контактора. Резистивно-емкостный (RC) гасящий элемент (рис. 56b) подходит именно для контакторов, работающих с переменным напряжением. Он гасит высокочастотные сигналы помех, в том числе и остроконечные (игловидные) импульсы, появляющиеся при выключении индуктивностей. Демпфирующий диод (рис. 56c) используется в случае реле постоянного напряжения. При включенной релейной катушке (на A1 — положительное напряжение) диод производит запирание, а при отключении катушки контактора появляется импульс напряжения между A2 и A1 (на A2 — положительное напряжение). Это напряжение накоротко замыкается посредством диода.

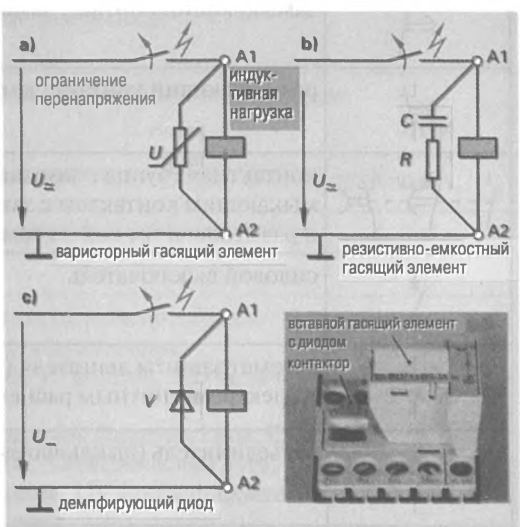


Рис. 56. Ограничение замыкающего перенапряжения с помощью гасящих элементов

Таким образом, гасящие элементы позволяют избежать нежелательных помех.

В таблицах 3 и 4 представлены используемые в электрических схемах условные графические изображения важнейших коммутационных аппаратов.

Таблица 3. Условные графические изображения для электросхем (выборка) согласно нормам МЭК (Международная электротехническая комиссия), ANSI (Американский национальный институт стандартов), BS (Британский стандарт), DIN (Промышленный стандарт ФРГ)

Графическое изображение	Описание	
	замыкающий контакт	опережающий замыкающий контакт
	размыкающий контакт	опережающий размыкающий контакт
	переключающий контакт	переключающий контакт без разрыва
	замыкающий контакт, без автоматического размыкания	
	замыкающий контакт, замыкание с выдержкой времени	
	размыкающий контакт, замыкание с замедлением возврата реле	
	контактная группа с замыкающим контактом без замедления, замыкающим контактом с замедлением возврата реле и размыкающим контактом с замедлением	
	силовой выключатель	
	автомат защиты двигателя (3-полюсный) с тепловым реле и электромагнитным расцепителем	
	разъединитель (выключатель холостого хода)	
	предохранитель (общий)	
DII 10A	винтовые предохранители (3-полюсные) 10 А, типа D II	
	гнездо (розетка)	штекер (вилка)
	муфта расцепленная	муфта сцепленная
Форма 1	электромеханический привод катушка реле, катушка контактора	

Таблица 3. (продолжение)

Графическое изображение	Описание
Форма 1 Форма 2	электромеханический привод с двумя раздельными обмотками
	электромеханический привод, с замедлением возврата реле
	электромеханический привод, с замедлением срабатывания
	электромеханический привод, с замедлением возврата и срабатывания
	электромеханический привод, поляризованное реле
Форма 1 Форма 2	электромеханический привод для реле удержания (остается в последнем коммутационном положении)
	реле последовательного включения, импульсное реле
	реле централизованного тонально-частотного телеуправления
5/мин	мигающее указательное реле, мигание с частотой 5 раз в секунду
	лампа, общая; световой сигнализатор, общий иногда со следующими дополнениями: RD красный, BU голубой, YE желтый, WH белый, GN зеленый или со следующими: Ne неон, Xe ксенон, Na натрий, Hg ртуть, I йод, IN нить накала, EL люминесценция, ARC электрическая дуга, FL флуоресценция, IR инфракрасное излучение, UV ультрафиолетовое излучение, LED светоизлучающий диод
	электромагнитный привод, в возбужденном состоянии
	ручной привод (общий) • ротационное выдавливание • вытяжка • обточка • опрокидывание
	ножной привод съемный привод электропривод роликов рольганга

Таблица 3. (продолжение)

Графическое изображение	Описание
	механический силовой привод (общий) поршневой привод защелка с механическим деблокированием
	привод для аварийного выключателя
	управление посредством ролика посредством электромагнитного реле максимального тока посредством теплового привода
	система принудительного срабатывания
	привод для импульсного реле
	силовой привод, общий
	бесконтактное управление контактное управление
	фиксатор не блокирован
	фиксация в обоих направлениях
	защелка фиксирована
U< 180... 200V 130%	реле минимального или нулевого напряжения: • диапазон срабатывания от 180 В до 200 В • возврат при 130%
N<	измерительное реле для регистрации межвитковых коротких замыканий
I> 5x	максимальное реле тока с двумя выходами, срабатывающее при пятикратной уставке
U	аварийный потенциал относительно корпуса
I	ток утечки относительно земли
$I_{N\text{-}N}$	ток между двумя нулевыми проводами
	разрядник для защиты от перенапряжений
	полупроводниковый (кристаллический) диод, общий

Таблица 3. (окончание)

Графическое изображение	Описание
	диод для работы при пробое изоляции – диод Зенера (полупроводниковый стабилитрон), диод Эзаки (туннельный)
	взаимно включенный диод Зенера
	выпрямитель
	выпрямитель в мостовой схеме
	инвертор
	сирена, гудок
	звонок
	первичная ячейка, первичный элемент, аккумулятор
Форма 1 Форма 2	батарея первичных элементов, аккумуляторов
	передача сигналов, поток импульсов

Таблица 4. Буквенные обозначения электрооборудования и проводов

Буквенное обозначение	Элемент электрооборудования	Примеры/пояснения
A	Узел, блок, модуль	Электрическая следящая копировальная система управления
B	Преобразователь неэлектрических параметров в электрические	Измерительный преобразователь, чувствительный элемент датчика — термодатчик, динамометр, датчик давления
C	Конденсатор	Металлобумажный конденсатор
D	Блок задержки, запоминающее устройство	Триггерная схема с одним устойчивым состоянием, ЗУ на магнитных дисках, операционная память
E	Разное	
F	Защитное устройство	Расцепитель максимального тока, предохранитель
G	Генератор, блок электропитания	Генератор трехфазного тока, импульсный генератор

Таблица 4. (окончание)

Буквенное обозначение	Элемент электрооборудования	Примеры/пояснения
H	Сигнальное устройство	Сирена, сигнальная лампа
K	Реле, контактор	Вспомогательный контактор, силовой контактор, реле времени
L	Индуктивность	Катушка, дроссель
M	Двигатель	Двигатель постоянного тока
P	Измерительное устройство, контрольный прибор	Измерители напряжения (вольтметр и проч.)
O	Сильноточный коммутатор	Автоматический силовой выключатель, автомат защиты двигателя
R	Резистор	Регулировочный (переменный) резистор
S	Переключатель	Клавишные переключатели, кнопки, установочные выключатели
T	Трансформатор	Сетевой трансформатор, трансформатор напряжения
U	Модулятор, преобразователь	Инвертор, частотный преобразователь
V	Полупроводник	Транзистор, диод
X	Зажимы, штекерные разъемы	Клеммная колодка, штекер, вилка
Y	Механическое устройство с электроприводом	Муфта, тормоз, электромагнитный клапан
Z	Нагрузочный резистор, ограничитель	Фильтр, оконечный резистор
L1	Наружный провод 1	Трехфазный переменный ток
L2	Наружный провод 2	
L3	Наружный провод 3	AC — условное обозначение переменного тока
N	Нулевой провод	
L+	Положительный провод	Постоянный ток
L–	Отрицательный провод	DC — условное обозначение постоянного тока
M	Средний провод	
PE	Защитный провод	Защитные провода имеют оболочку желто-зеленого цвета

Повторение и закрепление материала

1. *Чем установочные выключатели отличаются от клавишных переключателей — по функции и условному графическому изображению?*
2. *Каков принцип действия бесконтактных выключателей?*
3. *Как выглядит графический символ контактора?*
4. *Что такое «выключатели с защелкой» (с механической блокировкой и свободным расцеплением) и каково их назначение?*
5. *Какую задачу выполняют реле минимального напряжения в сочетании с главными выключателями?*
6. *Приведите схему исполнения язычкового реле с герметичными контактами.*
7. *Каково назначение контакторов и для чего служат реле?*
8. *Что такое «вспомогательный контакт» (блок-контакт) и для чего он используется?*
9. *Как в электрических схемах обозначается реле времени с замедлением притягивания и с замедлением отпадания?*
10. *Какими особыми свойствами обладает поляризованное реле?*
11. *Для чего служит расцепитель максимального тока?*
12. *Как ограничиваются размыкающие перенапряжения?*
13. *Назовите условные буквенные обозначения проводов трехфазного переменного тока.*
14. *Какого цвета оболочка у защитного провода?*

2.2.2. Графическое представление электрических систем управления на основе контактов

Различают схемы цепей тока, представленные в собранном и разобранном виде, а также принципиальные блок-схемы.

Электрические системы управления с помощью контактов отображаются в электрических схемах в состоянии отключения.

Схемы цепей тока в собранном виде полностью воспроизводят коммутацию во всех деталях (рис. 57).

С помощью установочного выключателя S1 посредством реле K1 через контактор K10 двигатель M1 присоединяется проводами L1, L2, L3 к сети трехфазного тока. Сигнальная лампа H1 установочного выключателя всегда горит при остановленном двигателе и гаснет при его запуске. Такое изменение сигнала достигается за счет размыкающего контакта реле K1.

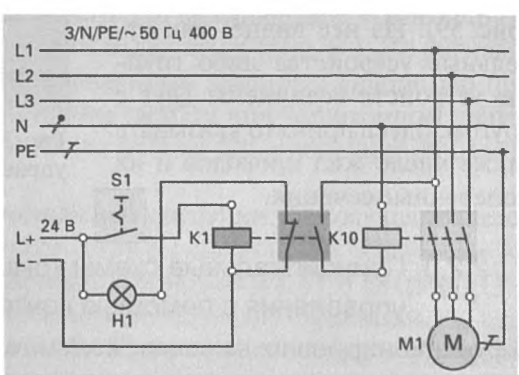


Рис. 57. Схема цепей тока для управления двигателем (в собранном виде)

Схемы цепей тока в сборе в принципе можно составлять лишь для весьма простых систем управления, поскольку в случае более сложных вариантов исполнения им определенно недостает наглядности.

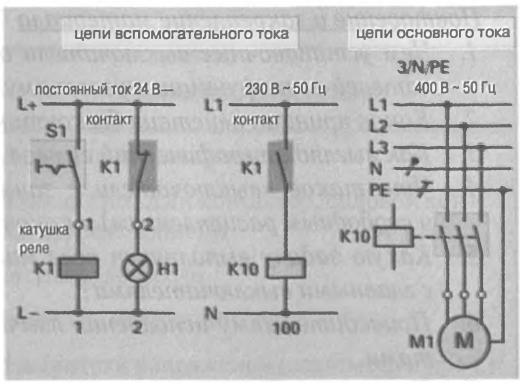


Рис. 58. Схема цепей тока для управления двигателем (не в сборе)

В схемах цепей тока в разобранном виде каждый элемент электрооборудования (прибор) получает вертикально направленный путь тока (рис. 58), причем все пути тока снабжены собственным номером. Контакты контакторов и реле отмечаются в показанных путях тока исключительно в зависимости от их переключательной функции. Таким образом, представленная в разобранном виде коммутационная схема не учитывает, к примеру, принадлежность катушки и контакта реле к тому или иному прибору.

Пути тока обычно отображают в направлении сверху вниз либо рядом друг с другом.

При этом контакты обозначаются теми же буквами, что и относящаяся к ним катушка реле, то есть контакты K1 относятся к катушке реле K1.

Условные буквенные обозначения элементов электрооборудования стандартизованы согласно ДИН 70 719 (см. табл. 4). Рядом с буквой может стоять соответствующий порядковый номер.

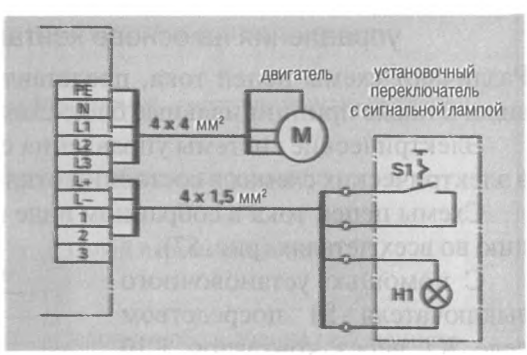


Рис. 59. Принципиальная блок-схема управления двигателем

Принципиальная блок-схема представляет собой монтажную схему соединений в сочетании с функциональной схемой (рис. 59). Из нее видно, как отдельные устройства либо группы устройств соединены друг с другом. Здесь принято указывать также число жил проводов и их поперечные сечения.

2.2.3. Принципиальные схемы коммутации электрических систем управления с помощью контактов

В функционирующих на основе контактов электрических управляющих системах коммутационные сигналы или соответственно коммутационные положения могут — с помощью реле либо контактора — передаваться, усиливаться, умножаться, реверсироваться, логически переключаться или сохраняться.

Передача

С помощью реле или контактора коммутационные сигналы можно передавать от одной цепи тока к другой, причем эти контуры не имеют электрического соединения друг с другом (рис. 60).

Чтобы на органы управления (например на клавишный переключатель S1) подавалось только безопасное невысокое напряжение 24 В, контактор K10, рассчитанный на рабочее напряжение 230 В, включается через контакт реле K1, а не напрямую через переключатель S1. Таким образом, контур постоянного тока L+, L— и контур переменного тока L1, N электрически разъединены друг с другом. Благодаря такому разъединению возможные импульсы помех на проводах L1, N удается удержать на достаточном удалении от сети тока L+, L–, по которой подается электропитание — в частности, также и к электронным устройствам.

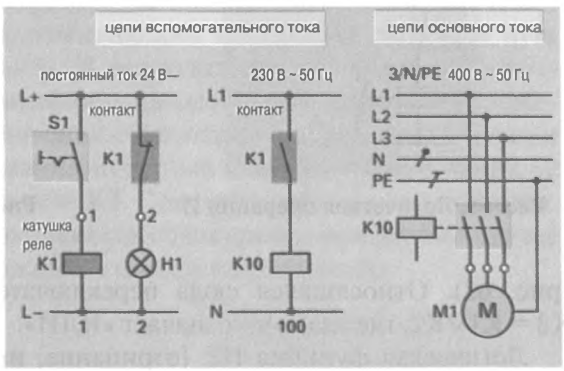


Рис. 60. Контакторная схема для управления двигателем

Усиление, умножение, реверсирование

Для включения реле K1 требуется совсем небольшая электрическая мощность (рис. 60). Контакты K1 этого реле, напротив, могут включать многократно более высокую мощность (в 100 раз!), например мощность катушки контактора K10. Контакт K10 опять-таки способен включить еще большую мощность двигателя. Следовательно, с помощью реле или контактора удается резко усиливать электрические коммутационные мощности. Поскольку большинство реле и контакторов располагает многими переключательными контактами, с их помощью можно производить переключение в нескольких путях или цепях тока, то есть осуществлять своеобразное «умножение». Выключателем S1 устройства могут только включаться (рис. 60). Но сигнальная лампа H1 должна гореть при остановленном двигателе (например при неработающей технологической машине) и гаснуть при включенном двигателе. Такой реверс сигнала достигается на основе размыкающего контакта реле K1.

Логическое переключение. Для логической операции «И» осуществляется последовательное включение контактов. Реле K1 срабатывает теперь при условии приведения в действие установочных выключателей S1 И S2 (рис. 61) — эта зависимость описывается на основе переключательной функции.

Итак, для операции И имеем: K1 = S1∧S2, причем под знаком «∧» в данном случае понимается И.

Для логической операции ИЛИ контакты включаются параллельно. Реле K3 срабатывает при выполнении переключения с контактами K1 ИЛИ K2

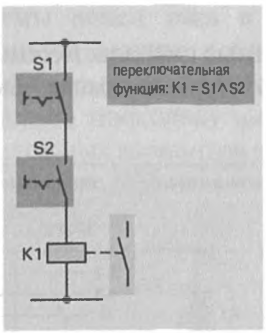


Рис. 61. Логическая операция И

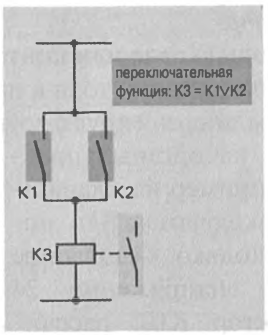


Рис. 62. Логическая операция ИЛИ

(рис. 62). Относящаяся сюда переключательная функция выглядит так: K3 = K1∨K2, где знак «∨» означает «ИЛИ».

Логическая функция НЕ (отрицание, инверсия) реализуется на основе размыкающих контактов (рис. 63). Здесь для функции НЕ над обозначением контакта ставится поперечная черточка: ($K2 = S3 \wedge \overline{S4}$).

Нередко по условию коммутации требуется включение либо реле K1, либо реле K2, но ни в коем случае не одновременное их срабатывание: например, K1 — для левого хода двигателя, а K2 — для правого хода двигателя, что приводит к взаимному блокированию обоих реле (рис. 64).

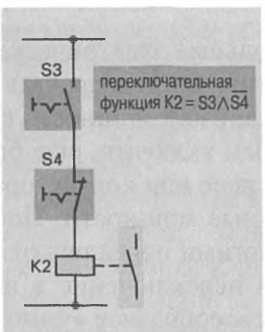


Рис. 63. Логическая операция И с функцией НЕ

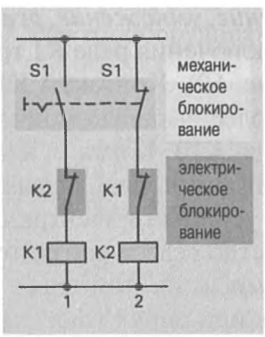


Рис. 64. Блокирование

Блокирование

Эта операция (логическая функция «исключающее ИЛИ») достигается механическим способом за счет того, что замыкающий контакт S1 установочного переключателя используется для одного пути тока, а размыкающий контакт — для другого пути тока. Когда замыкающий контакт разомкнут, размыкающий контакт замкнут, и наоборот. Помимо этой механической блокировки, схема обычно блокируется еще и электрическим способом — посредством размыкающего контакта K2 на пути тока реле K1 и размыкающего контакта K2 на пути тока реле K2. Если возбуждено реле K1, то в любом случае прерван путь тока для реле K2, и наоборот.

Сохранение коммутационных состояний

Коммутационное состояние можно сохранить (удержать) с использованием самоблокирующегося контакта (рис. 65). В схеме самоудержания в цепи тока реле K1 имеет место замыкающий контакт K1, то есть контакт того же самого реле. При кратковременном нажатии клавиши включения S1 возбуждается реле K1, причем замыкающий контакт K1 замыкает путь тока, параллельный выключателю S1. В результате это реле остается в возбужденном состоянии даже при возврате клавиши S1 в ее исходное положение. Следовательно, импульс включения сохраняется посредством клавиши S1. При кратковременном прерывании пути тока клавишей выключения S2 или S3 происходит обесточивание реле K1. Сохраненные данные удаляются. Клавиша выключения S2 перед ветвью самоблокирования в любом случае выключает реле K1 — даже при нажатой клавише включения S1.

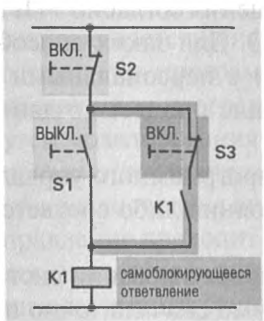


Рис. 65. Сохранение коммутационного состояния посредством контакта самоудержания

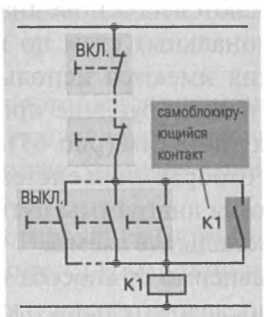


Рис. 66. Схема сохранения с несколькими клавишными переключателями

Клавишей выключения перед ответвлением самоудержания осуществляется сброс схемы сохранения по приоритетному принципу.

Нажатием клавиши выключения S3 в самоблокирующемся ответвлении прерывается схема самоудержания. Однако реле K1 остается возбужденным, если при этом нажата и клавиша включения S1.

С помощью клавиши выключения в самоблокирующемся ответвлении осуществляется сохранение по приоритету.

Электрические устройства, включаемые и выключаемые не кнопками, а установочными выключателями, работают в большинстве случаев через схемы сохранения. Если надо, чтобы устройство включалось от нескольких локально отдаленных друг от друга распределительных щитов и/или из нескольких коммутационных пунктов (например через аварийные кнопки), то все клавиши включения (замыкающие контакты) монтируют параллельно, а все клавиши выключения (размыкающие контакты) — последовательно (рис. 66).

Повторение и закрепление материала

1. *С помощью каких электрических конструкционных элементов возможно усиление, умножение и реверсирование сигналов?*

2. *Назовите два вида схем цепей тока.*
3. *Какое расположение контактов имеет место в логических операциях И и ИЛИ?*
4. *Какими контактами обеспечивается логическая функция НЕ?*
5. *Что такое блокирование?*
6. *За счет чего достигается механическая блокировка?*
7. *Как можно сохранять коммутационные состояния?*
8. *Как сделать процесс включения зависимым от тех или иных условий?*
9. *Сравните функции клавиши выключения в самоблокирующейся ветви и клавиши выключения перед такой ветвью?*

2.2.4. Автоматическое программное управление

Системы автоматического программного управления разрабатываются и отображаются на основе диаграмм пути перемещения согласно VDI 3260 либо функциональных схем по нормам МЭК 1131-3. Для таких способов представления имеются используемые в сочетании с персональными компьютерами редактирующие программы, облегчающие процесс создания управляющих программ (рис. 67).

Для отображения систем автоматического программного управления используются диаграммы пути и диаграммы состояния либо соответствующие функциональные схемы.

Независимо от способа представления при проектировании систем управления последовательностью операций необходимо сначала точно проанали-

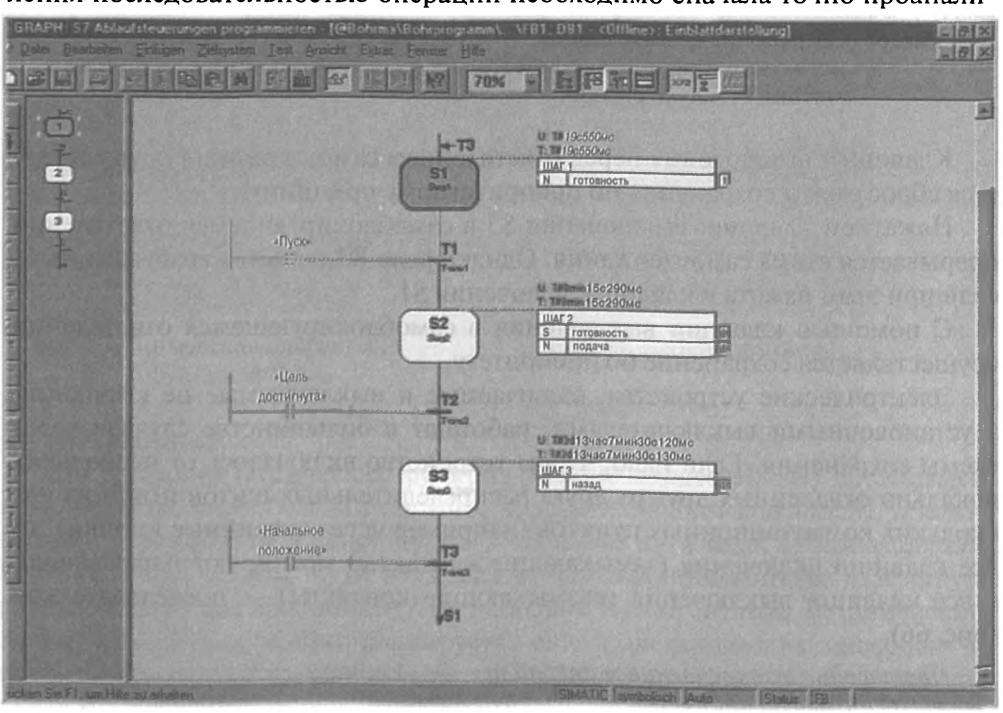


Рис. 67. Редактирование и тестирование систем управления с помощью ПК

зировать подлежащий управлению процесс, то есть системно исследовать его и описать во всех подробностях. При этом обычно рассматриваются четыре уровня:

- уровень рабочих режимов (например режим наладки, автоматический режим, исходное положение),
- уровень последовательности выполнения (шаг 1 ... шаг *n*),
- уровень выводов (действия),
- уровень сигнализации (индикация, диагностика).

В результате подобных подготовительных действий:

- процесс разделяется на несколько подфункций,
- выделенные подфункции снабжаются текстовым описанием,
- определяются требования безопасности и признаки аварийной ситуации,
  описываются индикаторные элементы и органы управления,
  устанавливается конфигурация устройств,
  составляется программа управления,
  управляющая программа по возможности проверяется с помощью ПК путем моделирования с возможной последующей корректировкой,
  управляющая программа переносится в конфигурацию устройств либо реализуется в виде схемы,
  управление проходит функциональное тестирование (пока без процесса): поступающие в зависимости от процесса коммутационные сигналы инициируются вручную,
  в заключение осуществляется контроль системы управления уже на уровне процесса.

2.2.4.1. Диаграмма пути и диаграмма состояния

Диаграммы пути и диаграммы состояния демонстрируют взаимодействие отдельных конструкционных элементов и унифицированных рабочих агрегатов (рис. 68). В качестве средств представления выбираются условные обозначения для элементов сигналов, логических связей сигналов и движений разного рода (см. табл. 5).

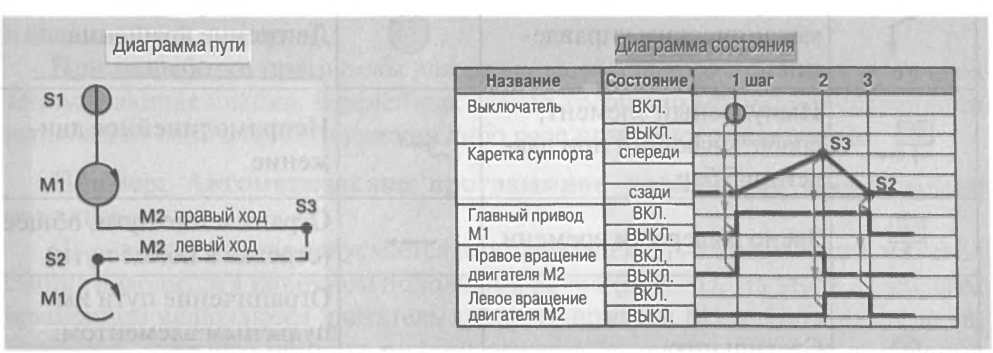


Рис. 68. Диаграмма пути и диаграмма состояния для управления сверлильным станком

Пример: Автоматическое программное управление для сверлильного станка.

Процесс сверления должен запускаться с помощью выключателя S1. Сначала надо включить главный привод М. Двигатель подачи М2, вращаясь вправо, должен затем перемещать суппорт станка вперед — до срабатывания предельного выключателя S3. С левым ходом двигателя суппорт будет возвращаться в исходное положение — до срабатывания предельного выключателя S2. После этого происходит остановка главного привода (рис. 68).

Таблица 5. Символы, используемые в диаграммах пути и состояния (согласно VDI 3260)

Символ	Значение	Символ	Значение
	Включение		Пневматические процессы
	Выключение		Гидравлические процессы
	Включение/выключение		Механические процессы
	Нажатие кнопки		Разветвление сигналов
	Включение автоматического управления		Логическая функция ИЛИ
	Включение двухручного управления		Логическая функция И
E A	Переключатель		Прямолинейное движение
1 2 3 4 5	Многопозиционный выключатель		Движение поворота
	Импульсный элемент с механическим управлением		Движение вращения
P 5 bar	Импульсный элемент, срабатывающий при давлении 5 бар		Непрямолинейное движение
t 1s	Звено выдержки времени		Ограничение пути, общее (стрелка в конце пути)
	Светильник		Ограничение пути импульсным элементом, срабатывающим от движения

Таблица 5. (окончание)

Символ	Значение	Символ	Значение
⊗	Сигнальная лампа	—→I	Ограничение пути регулируемым неподвижным упором
⏢	Зуммер	——	Рабочий ход
⊘	Электрические процессы	– – –	Движение холостого хода

2.2.4.2. Функциональные схемы для автоматических систем программного управления

Функциональные схемы позволяют получить быстрое и надежное отображение системы программного управления технологическим процессом с возможностью их последующего автоматического перевода в электрические схемы или в программы управления от ЗУ (рис. 69). Весь процесс управления разделен в функциональной схеме на отдельные последовательные шаговые операции с определением для каждого такого шага относящихся к нему подзадач (действий). Условия последовательного включения очередного запрограммированного этапа работы, который должен начинаться после завершения предыдущего, именуются «переходами» (рис. 70). При этом начальный шаг отображается в виде двойной линии.

Рис. 69. Программирование автоматического управления последовательностью операций

При разработке программы для каждого отдельного шага требуется своя запоминающая ячейка. В релейных схемах требуемую функцию сохранения выполняют схемы самоудержания либо реле поэтапного включения.

Пример: Автоматическое программное управление сверлильным станком.

Процесс сверления запускается выключателем S1 — при условии, что стол станка находится в конечном положении S2 = 1 (рис. 71). На этапе 2 с правым вращением включаются двигатель главного привода M1 и двигатель подачи. Двигатель главного привода должен оставаться включенным до окончания цикла, поэтому соответствующая команда предусматривает возможность со-

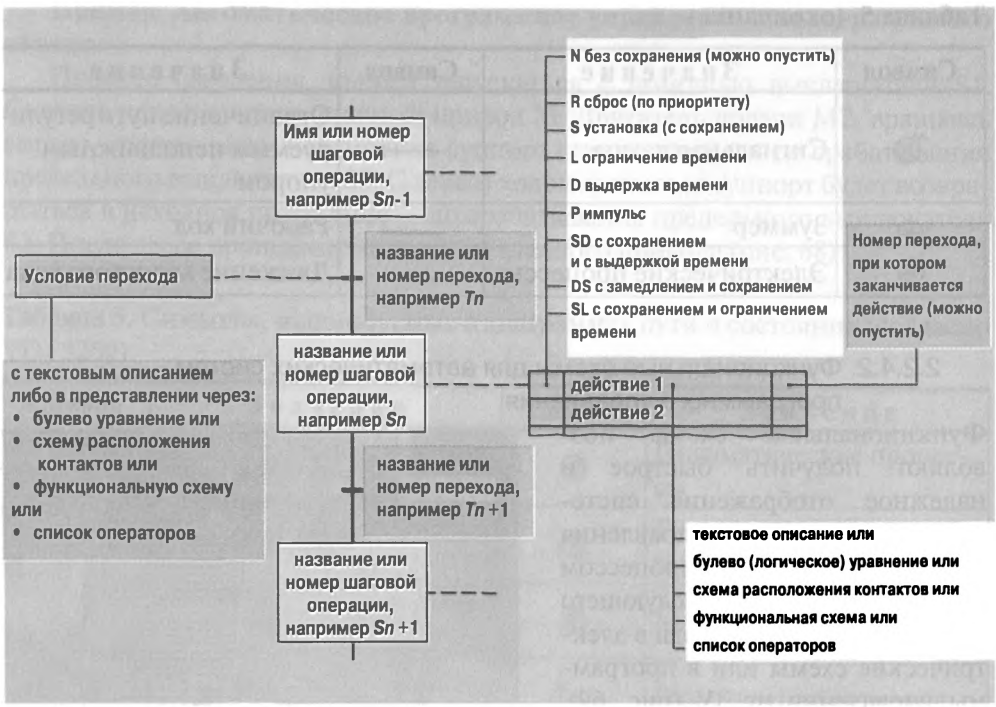


Рис. 70. Функциональная схема автоматического программного управления

хранения (S). Как только предельным выключателем S3 регистрируется конечная точка (цель, или пункт назначения), стол станка в результате левого вращения двигателя возвращается в начальное состояние (шаг 3). Это исходное положение достигается при срабатывании предельного клавишного выключателя S2 и индицируется загоранием светового сигнализатора H1.

Контакторы K10 и K11 задают двигателю подачи правый ход для движения вперед и левый ход для движения в обратном направлении. Главный привод включается через контроллер K12 для управления электродвигателем.

Реализация программы с контакторным управлением

Сначала для каждого рабочего этапа отмечают вспомогательный контактор или реле с самоблокирующимся ответвлением (рис. 72). Клавишным переключателем S2 включают контактор K1.

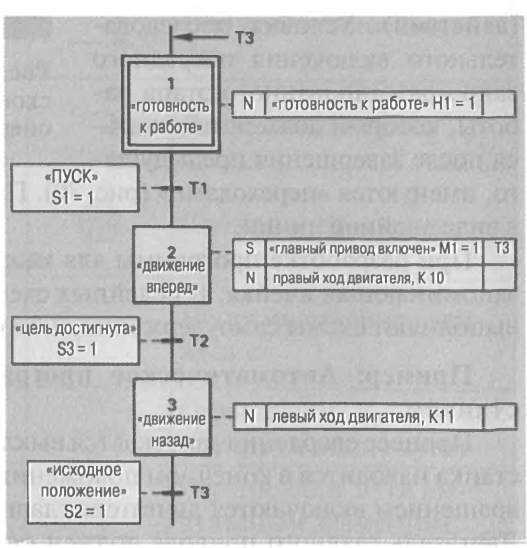


Рис. 71. Функциональная схема управления сверлильным станком

Его размыкание осуществляется посредством K2. Выключателем S1 включается K2 (переход T1). После достижения конечного положения (цели) посредством S3 обеспечивается шаг 2 и включается контактор K3. Его сброс происходит по достижении начального положения. В случае исчезновения сетевого тока можно с помощью клавишного выключателя S4 вручную отвести суппорт станка назад — до его исходного состояния.

Спроектировав цепь оперативного тока (цепь управления), составляют цепь главного тока (силовую цепь) с контакторами K10-K13. При этом K10 срабатывает на этапе 2, K11 — на этапе 3, K12 — на этапе 1 и K13 — на этапе 2 или также на этапе 3 (то есть в шаговых операциях 2 и 3). Однако при отводе суппорта станка вручную с использованием S4 главный привод должен быть остановлен, так что в цепи тока K12 предусмотрен еще один размыкающий контакт.

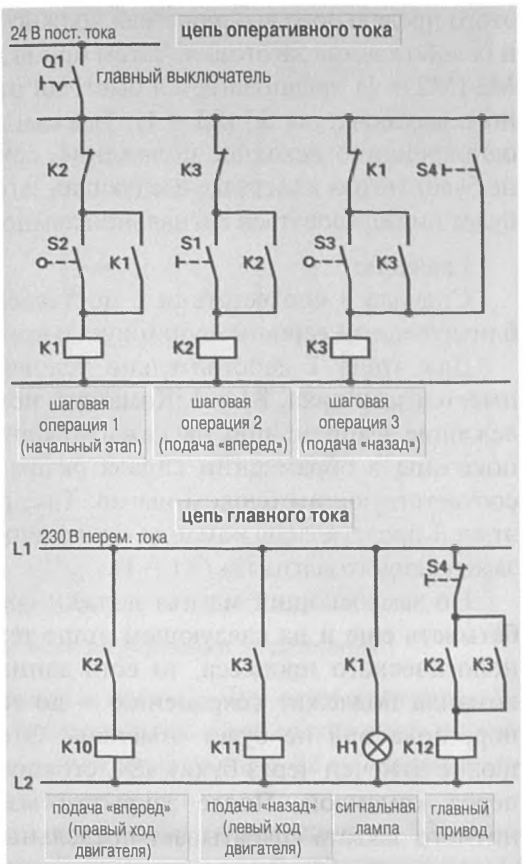


Рис. 72. Реализация программы с контакторным управлением

Пример: Управление загрузочным механизмом.

Загрузочный механизм (рис. 73) должен подавать в пресс предварительно подготовленную заготовку. О наличии такой заготовки сигнализирует оптический сенсор приближения B1 (B1 = 1). В этом случае сначала должен быть закрыт захват с помощью замыкающего магнита Y1 (Y1 = 1). Сам процесс замыкания контролируется посредством бесконтактного предельного выключателя S1 в захвате (S1 = 1, захват закрыт). После этого при включении двигателя M1 захват будет выдвигаться (M1 = 1), пока не сработает предельный выключатель S2 (S2 = 1). При включении

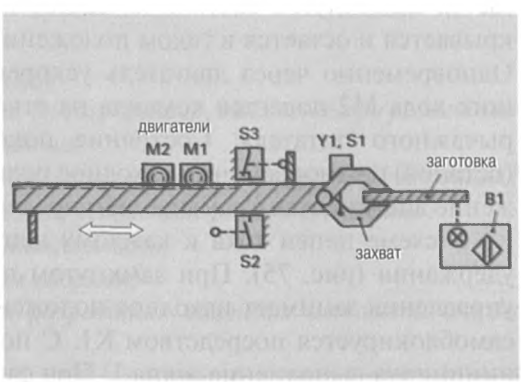


Рис. 73. Загрузочный механизм

этого предельного выключателя должно произойти открытие захвата (Y1 = 0) и освобождение заготовки. Затем при включении двигателя ускоренного хода M2 (M2 = 1) предполагается быстрый отвод назад до срабатывания предельного выключателя S3 (S3 = 1). Тем самым достигается состояние останова и одновременно исходное положение, сохраняющееся до тех пор, пока вновь не будет готова к загрузке следующая заготовка. Состояние останова при этом будет индицироваться сигнальной лампой H1 (H1 = 1).

Решение:

Сначала в соответствии с поставленной задачей разрабатывается приблизительный вариант функциональной схемы (рис. 74).

Для этапа 1 действительно условие: имеется заготовка, B1 = 1. Команды, подлежащие выполнению на каждом этапе, показаны в обрамлении справа рядом с соответствующим блоком шагов. Так, на этапе 1 представлена команда «включение замыкающего магнита» (Y1 = 1).

Но замыкающий магнит должен срабатывать еще и на следующем этапе технологического процесса, то есть данная команда подлежит сохранению — до тех пор, пока она не будет отменена. Этот нюанс отмечен через букву «S», стоящую перед командой. После закрытия магнитного захвата срабатывает предельный выключатель S1. Это является условием для перехода к этапу 2. Здесь выдвигается рычажный питатель (автооператор) и, следовательно, включается двигатель M1. Данная команда имеет силу только на этапе 2 и, следовательно, не подлежит сохранению (N). По сигналу S2 = 1 достигается выдвинутое состояние, захват открывается и остается в таком положении. Одновременно через двигатель ускоренного хода M2 подается команда на отвод рычажного питателя. Состояние покоя (останов) и одновременно исходное положение достигаются с замыканием предельного выключателя S3 (S3 = 1).

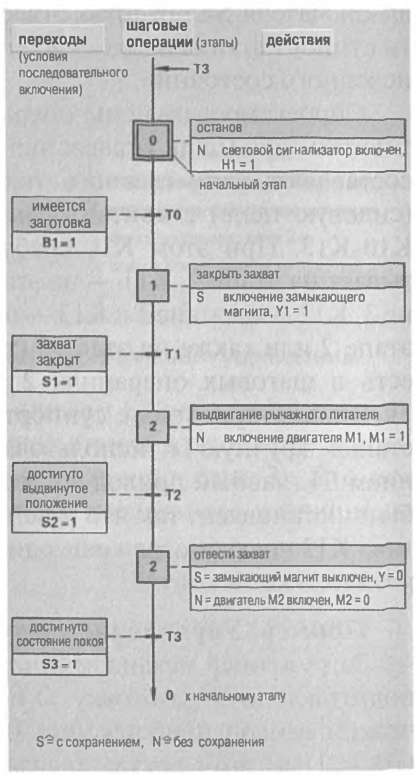


Рис. 74. Функциональная схема управления загрузочным механизмом

В схеме цепей тока к каждому шагу управления отнесена схема самоудержания (рис. 75). При замкнутом предельном выключателе S3 система управления занимает исходное положение начального этапа. Контактор K1 самоблокируется посредством K1. С появлением заготовки включается B1, инициируя выполнение этапа 1. При самоблокировке контактора K2 происходит выключение K1. При закрытом захвате после замыкания предельного

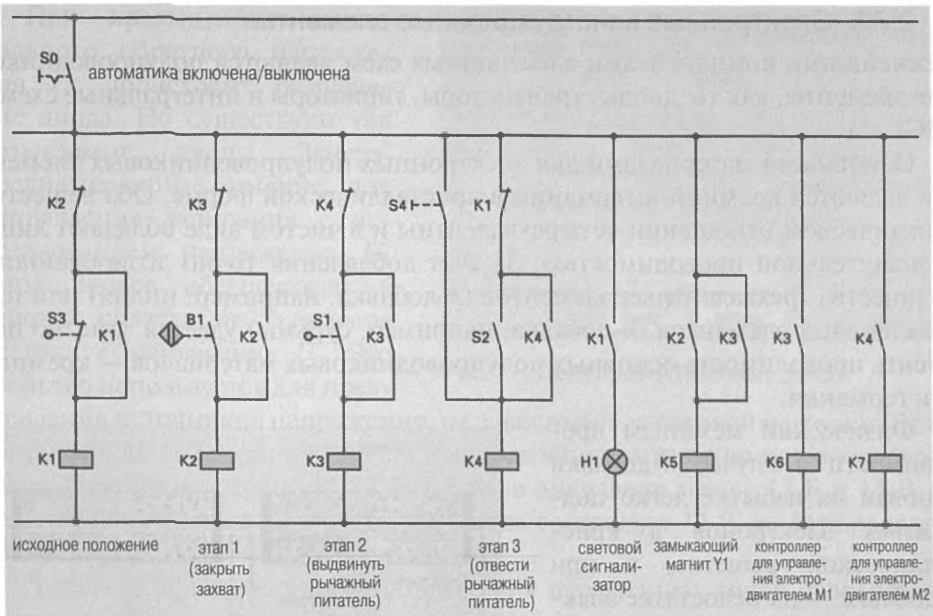


Рис. 75. Схема цепей тока для управления загрузочным механизмом

выключателя S1 осуществляется переход к этапу 2. При этом контактор K3 включается и самоблокируется, а K2 отключается. При достижении выдвинутого положения срабатывает предельный выключатель S2 и, следовательно, контактор K4. Контактор K3 выключается.

Когда вновь достигается исходное положение (с замыканием S3), контактор K1 включается, а K4 выключается. Выходные сигналы генерируются в результате логического соединения контакторных контактов в соответствии с состояниями системы управления. На этапе 1 и этапе 2 через K2 и соответственно K3 включается замыкающий магнит Y1, на этапе 2 через K3 — контроллер для управления двигателем M1 и через K4 на этапе 3 — контроллер для управления двигателем M2.

В случае исчезновения сетевого тока можно с помощью клавишного выключателя S4 вручную отвести рычажный питатель назад — до его исходного положения.

Повторение и закрепление материала

1. *Опишите условные обозначения для включения, выключения и разветвления сигналов в диаграмме состояния.*
2. *На какие функциональные группы можно разбить диаграмму состояния?*
3. *Каков принцип разработки схем на основе диаграммы состояния?*
4. *бъясните структуру функциональных схем.*
5. *Что понимается под термином «переход»?*
6. *Каков порядок действий при разработке системы автоматического программного управления?*
7. *С помощью какой схемы можно, используя реле, сохранить тот или иной этап программного управления?*

2.2.5. Электронные конструкционные элементы

Важнейшими компонентами электронных схем являются полупроводниковые элементы, как то: диоды, транзисторы, тиристоры и интегральные схемы (ИС).

Основными материалами для электронных полупроводниковых элементов являются кремний и германий в кристаллической форме. Оба вещества в химическом отношении четырехвалентны и в чистом виде обладают лишь незначительной проводимостью. За счет добавления точно дозированного количества трехвалентных элементов (*p*-добавка, например, индия) или пятивалентных элементов (*n*-добавка, например, сурьмы) удается заметно повысить проводимость основных полупроводниковых материалов — кремния или германия.

Физический механизм проводимости в случае *n*-добавки основан на избытке легко подвижных электронов в кристаллической решетке, а при *p*-добавке — на недостатке электронов (дефектах) в кристаллической решетке. Сочетание *p*-обогащенного полупроводника с *n*-обогащенным обеспечивает структуру с электронной проводимостью, если напряжение подается таким образом, что благодаря ему избыточные электроны *n*-полупроводника попадают в дефектные участки (дырки) кристаллической решетки *p*-полупроводника (рис. 77a). При этом электроны заполняют названные дефекты, притекая к правому электроду (положительный полюс), и тогда мы имеем дело с *p*—*n*-переходом в прямом (проводящем) направлении.

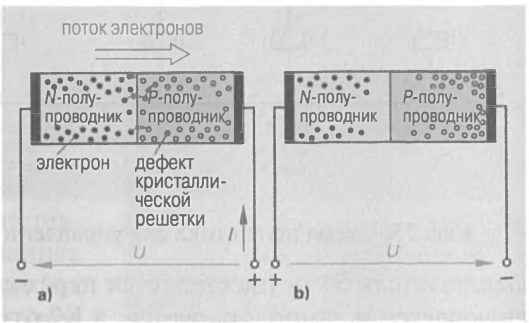


Рис. 76. *p*—*n*-переход у полупроводника

При изменении полярности напряжения (отрицательный полюс на *p*-полупроводнике, положительный — на *n*-полупроводнике) электроны направляются к левому электроду (рис. 76b). Из зоны *p*-полупроводника с недостатком электронов таковые не притекают, так что здесь электрический ток отсутствует. Этот *p*—*n*-переход начинает действовать в (обратном) направлении запирания.

Итак, *p*—*n*-переход допускает прохождение тока в одном направлении (хорошая проводимость) и запирание тока в другом направлении (плохая проводимость). На таком принципе действия обратного клапана и основаны полупроводниковые конструкционные элементы.

Полупроводниковые диоды

Полупроводниковые диоды — это конструкционные элементы с двумя вводами и, как правило, с *p*—*n*-переходом (рис. 77). Диод пропускает ток в направлении, показанном стрелкой, и запирает его — подобно обратному клапану — в противоположном направлении.

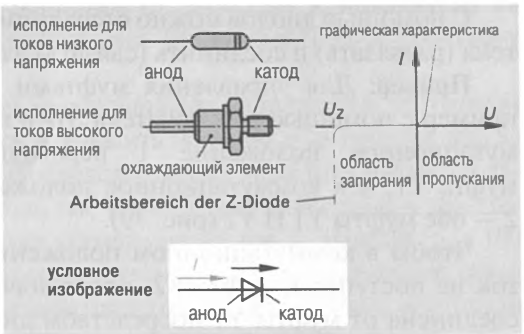


Рис. 77. Полупроводниковые диоды

При превышении максимального обратного напряжения U_Z происходит разрушение диода. Но существуют так называемые диоды Зенера, предназначенные именно для направления запирания с использованием напряжения U_Z. Диод Зенера обеспечивает в рабочей области не зависимое от тока I напряжение U_Z. Это свойство используется для представления источников напряжения, не зависимых от токовой нагрузки. Если, например, диод Зенера с $U_Z = 12$ В в направлении запирания подключается к изменяющемуся источнику напряжения в диапазоне между 12 В и 15 В, то падение напряжения на этом диоде всегда составляет 12 В, то есть является постоянным.

Диоды используются для выпрямления переменных токов, формирования значений, соединения и разъединения электрических сигналов.

У выпрямительных схем различают однополупериодное и двухполупериодное выпрямление. Диод на рис. 78a остается токопропускающим лишь до тех пор, пока приложенное переменное напряжение остается положительным, а при отрицательном переменном напряжении электрический ток не протекает. Средняя величина этого тока есть положительный постоянный ток.

Благодаря мостовой схеме с четырьмя диодами достигается то обстоятельство, что под действием сопротивления потребителя R ток I всегда протекает в одном и том же направлении — как при положительном переменном токе (путь тока →), так и при отрицательном переменном токе (путь тока →) (рис. 78b).

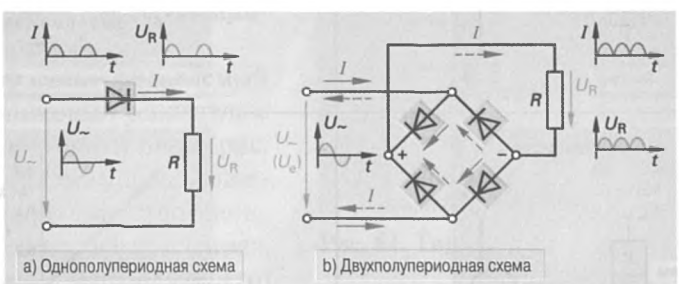


Рис. 78. Выпрямительные схемы

Эта схема также вполне пригодна для образования значения электрических сигналов. Напряжение на резисторе R соответствует абсолютной величине входного напряжения U_e ($U_R = |Ue|$); то есть оно всегда постоянно, но имеет ту же величину, что и напряжение на входе.

С помощью диодов можно отсоединить электрические устройства от цепи тока (развязать) и соединить (связать) электрические сигналы.

Пример: Для управления муфтами, например с помощью выключателя S1- в коммутационное положение 1 переводится муфта Y1, а в коммутационное положение 2 — обе муфты Y1 И Y2 (рис. 79).

Чтобы в коммутационном положении 1 ток не поступал к муфте Y2, последняя отсоединена от муфты Y1 посредством диода. А вот в коммутационном положении 2 ток направляется к муфтам Y2 И Y1, поскольку теперь этот диод действует в проводящем направлении.

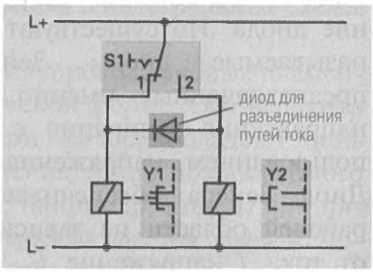
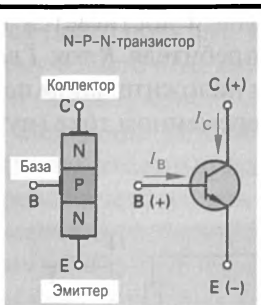
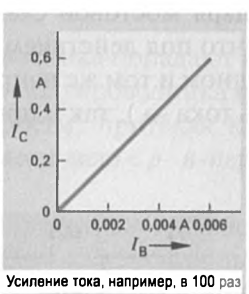
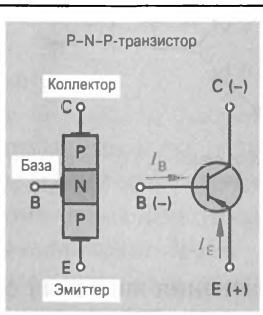
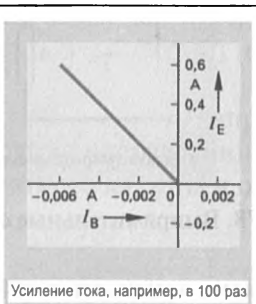


Рис. 79. Управление муфтами с использованием развязывающего диода

Транзисторы

Транзисторы состоят из трех полупроводниковых слоев с легирующими примесями в последовательности *p*, *n*, *p* (*p*—*n*—*p*-транзистор) или *n*, *p*, *n* (*n*—*p*—*n*-транзистор). К каждому из этих слоев подведен электрод (см. табл. 6).

Таблица 6. Транзисторы

Конструктивное исполнение и условные графические изображения	Характеристика управления током
	
	

Электроды обоих наружных слоев называются эмиттер (E) и коллектор (C). Средний электрод именуется базой (B). На основе базового элект-

рода можно управлять током, протекающим от эмиттера к коллектору (в случае *p—n—p*-транзистора) и соответственно от коллектора к эмиттеру (у *n—p—n*-транзистора).

Если между базой и эмиттером нет управляющего напряжения, то участок от эмиттера до коллектора не способен проводить ток, ибо *p—n*-переход всегда действует в направлении запирания. Посредством тока базы прекращается запирающее действие этого *p—n*-перехода, так что между коллектором и эмиттером начинает проходить ток. Поскольку управляющий ток $I_в$, например, в 100 раз меньше, чем управляемый ток I_c (соответственно $-I_c$), то с помощью транзисторов удается простым способом сконструировать электронные усилители с малой электрической мощностью на входе и большой электрической мощностью на выходе.

У операционного усилителя на достаточно тесном пространстве смонтировано несколько транзисторов таким образом, что и малые постоянные токи, и малые переменные токи или соответственно напряжения приводят к многократно усиленным токам и соответственно напряжениям на выходе (рис. 80). Выходное напряжение U_2 всегда противоположно входному напряжению U_1 (изменение полярности напряжения, отображаемое в электросхемах через минусовой знак).

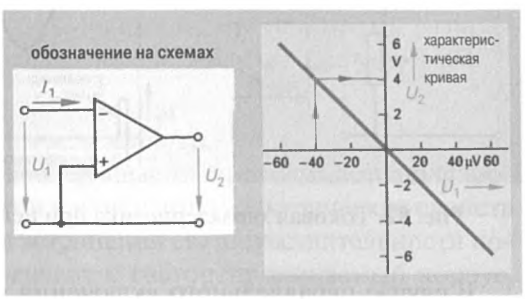


Рис. 80. Операционный усилитель

Операционные усилители могут усиливать любые напряжения сигналов.

Тиристор есть управляемый полупроводниковый усилитель с несколькими *p*- и *n*-зонами (рис. 81). В ситуации без управляющего воздействия тиристор запирает ток в обоих направлениях. Посредством (управляющего) импульса тока на управляющем электроде тиристор становится токопроводящим, если между анодом и катодом имеет место положительное напряжение. Пока ток протекает от анода к катоду, тиристор также остается проводящим. Но как только ток становится равным нулю, тиристор производит запирание и остается в таком состоянии, пока вновь не будет «зажжен» управляющим импульсом.

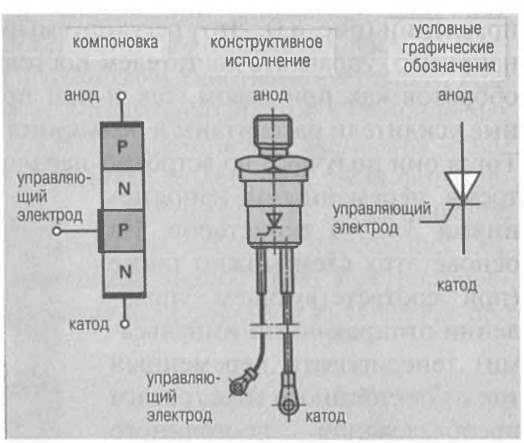


Рис. 81. Тиристор

С использованием тиристоров можно создавать, например, управляемые источники постоянного тока (усилители постоянного тока для приводов).

Благодаря правильному выбору моментов (углов управления *a*) для управляющих импульсов можно с помощью присоединенного к переменному напряжению тиристора получить разные средние значения постоянного тока (рис. 82). Управляющие импульсы поступают от электронного управляющего устройства.

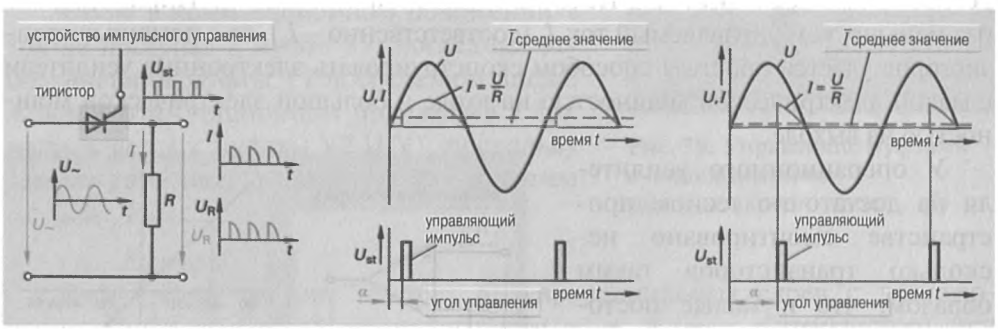


Рис. 82. Токовая характеристика при использовании управляемого тиристора

В случае параллельного включения второго тиристора в противоположном направлении (встречно-параллельное включение) при работе одного тиристора получают управляемый постоянный ток в одном направлении, при работе другого тиристора — постоянный ток в противоположном направлении (рис. 83). Этот регулируемый в двух направлениях ток позволяет, например, управлять двигателем постоянного тока во всем диапазоне чисел оборотов как при левом, так и при правом вращении. Данные тиристорные усилители рассчитаны в большинстве случаев на сеть трехфазного тока. Тогда они получают во встречно-параллельном включении в соответствии с тремя переменными напряжениями 3×2=6 тиристоров. На основе этих схем можно также (при соответствующем управлении отпирающими импульсами) генерировать переменный ток из постоянного тока (режим преобразования постоянного напряжения в переменное).

Интегральные схемы (ИС)

Интегральные схемы содержат на небольшой кремниевой пластинке множество описанных выше *p—n*-переходов. Благодаря этому удается на весьма ограниченном пространстве собрать

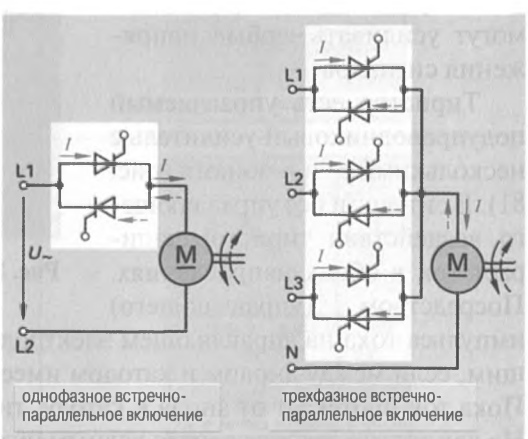


Рис. 83. Встречно-параллельное включение тиристоров

в полноценную схему большое число диодов, транзисторов, а также резисторов и конденсаторов. Интегральные схемы размещаются в корпусах разных размеров, чаще всего в плоском корпусе с двухрядным расположением выводов, с 14 или 16 присоединениями. Совсем мало места требуют схемы в технике SMD (с монтажом на поверхности) (рис. 84).

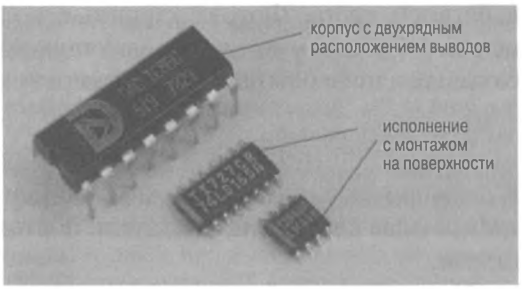


Рис. 84. Конструктивные исполнения интегральных схем

Интегральные схемы могут содержать полные схемы усилителей (например операционных), цифровые вычислительные модули, цифровые ЗУ и цифровые управляющие модули.

Фотоэлектронные полупроводниковые элементы

Под воздействием света значительно улучшается проводимость полупроводниковых материалов, что приводит и к изменению электрических свойств изготовленных из них элементов. Для устранения светочувствительности полупроводниковых элементов их помещают в светонепроницаемый корпус. Фотодиоды, фотоэлементы, фототранзисторы, фототиристоры и фоторезисторы, напротив, заливают в стекло или помещают в прозрачный пластиковый корпус, если хотят использовать их светочувствительность.

Фотодиод находит применение в направлении запирания (рис. 85). Запирающий ток I изменяется при освещении от нескольких мкА до нескольких сот мкА. Фотоэлемент по своей компоновке соответствует диоду. При освещении между n-полупроводником и p-полупроводником у германиевых элементов возникает напряжение до 0,3 В, а у кремниевых элементов — напряжение до 0,7 В. Таким образом, в результате воздействия света фотоэлемент становится источником напряжения. У фоторезистора сопротивление изменяется в широком диапазоне от нескольких МОм до нескольких Ом. Фототранзистор и фототиристор при освещении теряют свою электропроводимость. Вместо токового импульса управляющий электрод включается под

Рис. 85. Фотоэлектрический полупроводник

действием света. Фотоэлектронные полупроводниковые элементы широко используются во многих управляющих устройствах, например в фоторелейных барьерах и цифровых системах измерения перемещений.

2.2.6. Электрические исполнительные органы

К важнейшим электрическим исполнительным механизмам относятся трехфазные двигатели, двигатели постоянного тока и шаговые электродвигатели.

Их принцип действия основан на том физическом эффекте, что на проводник с протекающим по нему током в магнитном поле, создаваемом электромагнитами или постоянными магнитами, оказывается определенное усилие. Помимо перечисленных выше, существуют еще пьезоэлектрические, магнитострикционные исполнительные органы и некоторые другие.

Материалы для постоянных магнитов (так называемые ферромагнетики) в последние годы весьма успешно разрабатывались, что позволило быстро совершенствовать электродвигатели, делая их более мощными и легкими. Показателем мощности постоянных магнитов является максимальное произведение $BH_{макс}$, получаемое путем умножения величины магнитной индукции B на величину напряженности магнитного поля H (рис. 86). Чем больше магнитная индукция B, тем сильнее магнит, а чем выше при этом напряженность магнитного поля H, тем ниже опасность ослабления и соответственно размагничивания электромагнита (рис. 87).

Итак, максимальное произведение магнитной индукции и напряженности поля $BH_{макс}$ характеризует мощность постоянных магнитов.

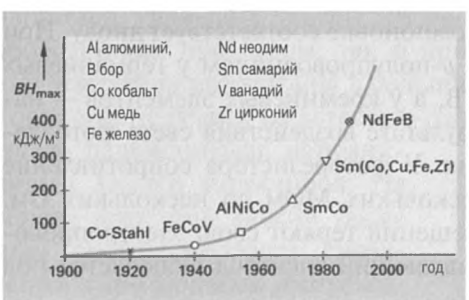


Рис. 86. Интенсивность внедрения магнитных материалов (ферромагнетиков) (BH_{max} как функция времени)

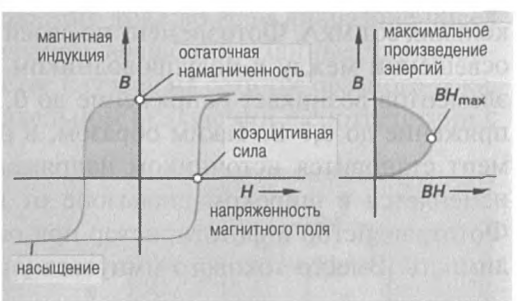


Рис. 87. Характеристическая кривая гистерезиса и функция BH у постоянного магнита

2.2.6.1. Электромагниты и муфты

Исполнительные органы на базе электромагнитов состоят из катушки с ферромагнитным сердечником и подвижного якоря, притягиваемого катушкой с протекающим по ней током. При этом якорь устанавливается таким образом, чтобы сопротивление для линий магнитного потока оказалось как можно меньше. Среди электромагнитов различают подъемные, или силовые (со смещаемым якорем) и вращающиеся (с поворачивающимся якорем) (рис. 88).

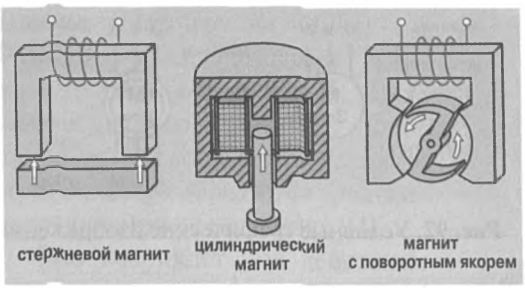


Рис. 88. Подъемные и вращающиеся электромагниты

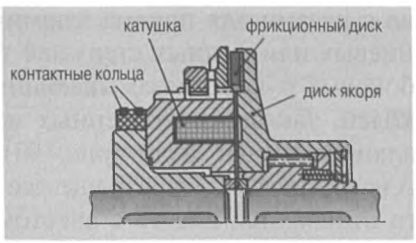


Рис. 89. Однодисковая электромагнитная муфта

Электромагнитные муфты используют для дистанционного или автоматического включения и торможения передаточных механизмов. Обычно такие муфты классифицируют следующим образом: однодисковые (рис. 89), многодисковые, а также магнитопорошковые и зубчатые.

2.2.6.2. Трехфазные двигатели с питанием от сети (двигатели переменного тока)

Самым популярным электродвигателем, широко распространенным практически во всех промышленных отраслях, считается асинхронный двигатель трехфазного тока (рис. 90).

Этот двигатель более прост в исполнении, чем двигатель постоянного тока, и при равной мощности обладает меньшими габаритами и более низким весом. Он состоит из корпуса для размещения трехсекционной обмотки статора с присоединениями U1-U2, V1-V2, W1-W2 и ротора (рис. 91). Асинхронный двигатель трехфазного тока присоединяется непосредственно к трехфазной сети переменного тока. В зависимости от вида ротора различают двигатели с короткозамкнутым ротором и двигатели с фазным ротором (с контактными кольцами) (рис. 92).

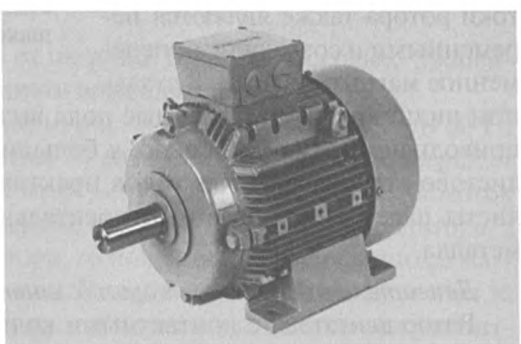


Рис. 90. Асинхронный двигатель трехфазного тока

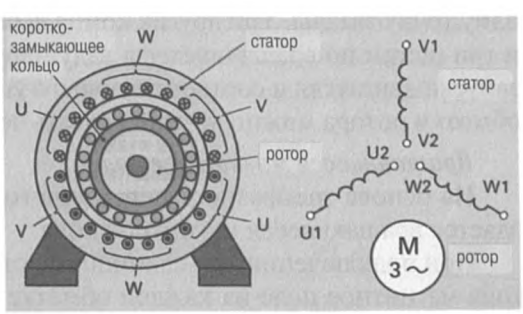


Рис. 91. Асинхронный двигатель трехфазного тока

Двигатели с короткозамкнутым ротором

У такого электродвигателя короткозамкнутый ротор состоит из вала, пакета сердечни-

ка с пазами для приема алюминиевых или медных стержней и боковых короткозамыкающих колец, также изготовленных из алюминия или меди (рис. 93). Алюминиевые детали чаще всего отливаются вместе с пакетом сердечника способом литья под давлением. Если представить себе эти алюминиевые детали без пакета сердечника, то нетрудно заметить, что они имеют вид клетки. Прутья такой «беличьей клетки» (ограждающие стержни) в большинстве случаев установлены наклонно по косой, чем гарантируется спокойное вращение двигателя. При этом упомянутые стержни встроены не в однородный стальной цилиндр, а в пакет сердечника, поскольку токи ротора также являются переменными и создающими переменное магнитное поле. В стальном цилиндре эти переменные поля вызывали бы сильные вихревые токи и приводили бы, следовательно, к большим потерям тепла. А в сердечнике из листовой стали вихревых токов практически не бывает, так как отдельные листы пакета изолированы относительно друг друга пленкой окисленного металла.

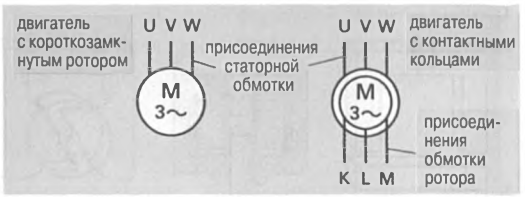


Рис. 92. Условные графические изображения

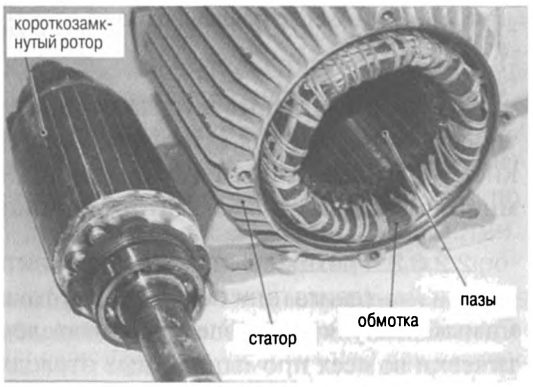


Рис. 93. Короткозамкнутый ротор и относящаяся к нему станина двигателя

Двигатели с фазным ротором (с контактными кольцами)

Ротор двигателя с контактными кольцами, как и короткозамкнутый ротор, состоит из вала с сердечником из листовой стали — с тем лишь отличием, что здесь в пазы пакета сердечника уложена трехсекционная обмотка, смонтированная в схеме звезды, то есть три конца обмотки выведены вместе в одну точку звезды. Три других конца выводятся через три контактных кольца и три щетки по вращающемуся валу наружу к присоединениям K, L, M. Для запуска двигателя и соответствующего управления числами оборотов на токи обмотки ротора можно воздействовать через эти присоединения K, L, M.

Вращающееся магнитное поле

На основе трехфазного переменного тока совсем простым способом создается вращающееся магнитное поле.

При подключении трехсекционной статорной обмотки к сети трехфазного тока магнитное поле на каждой обмотке в зависимости от частоты сети последовательно и периодически изменяет свое направление, а именно 50 раз в секунду при трехфазной сети 50 Гц. Поскольку три обмотки U, V, W распо-

ложены со сдвигом на 120°, и — в результате присоединения трехфазного тока — с токами I_U, I_V, I_W в обмотках магнитное поле попеременно меняет свое направление, внутри статора образуется вращающееся магнитное поле (рис. 94).

Оно возникает под действием проходящего по периметру статора северного магнитного полюса и южного магнитного полюса (двухполюсная машина). Это вращающееся магнитное поле вызывает (индуцирует) в стержнях роторной обмотки или в самих обмотках электрический ток и, следовательно, магнитное поле ротора, в результате чего ротор вовлекается во вращение в направлении магнитного поля. Однако он никогда не достигает полного числа оборотов вращающегося магнитного поля: его скорость вращения в зависимости от нагрузки будет на несколько процентов ниже, то есть речь идет об асинхронном вращении.

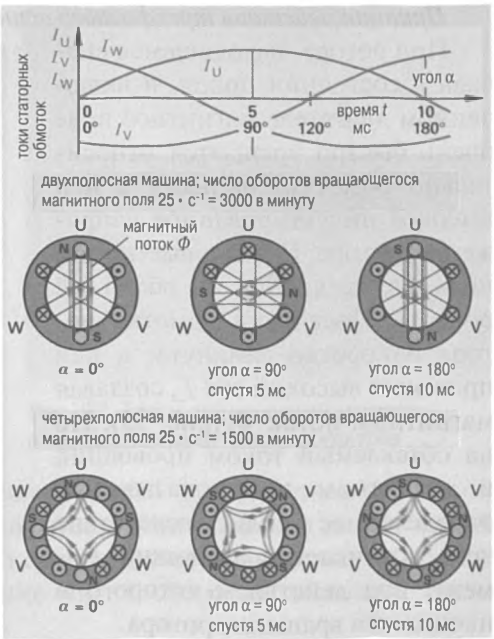


Рис. 94. Возникновение вращающегося магнитного поля

При расположении обмотки согласно рис. 94 и при работе от сети 50 Гц магнитное поле вращается со скоростью 50 раз в секунду, то есть совершает 3000 оборотов в минуту, или 1 оборот за 20 мс. Если каждую из трех обмоток разделить на две ветви и разместить первые три в верхней половине статора, а вторые три — в нижней половине статора, то получим два вращающихся магнитных поля (четырехполюсная машина). Каждое из этих полей проходит за 20 мс половину периметра статора. Число оборотов вращающегося магнитного поля составит тогда 1500 в минуту.

Трехфазный переменный ток создает на трех статорных обмотках, расположенных со сдвигом на 120°, вращающееся магнитное поле.

Трехсекционную трехфазную обмотку можно с многократным разделением уложить вдоль периметра статора. Тогда образуются разные числа оборотов вращающегося магнитного поля и соответственно разные скорости вращения двигателя (см. табл. 7).

Таблица 7. Скорости вращения магнитного поля в сети 50 Гц

Число полюсов	2	4	6	8	10	12	24
Число обмоток	3	6	9	12	15	18	36
Число оборотов в минуту	3000	1500	1000	750	600	500	250

Принцип действия трехфазного асинхронного двигателя

При роторе, находящемся сначала в состоянии покоя, и включенном двигателе магнитное поле очень быстро вращается относительно обмотки, вызывая в ней высокое индуктированное напряжение ротора U_2 (силовые линии поля пересекаются с обмоткой ротора). Поскольку обмотка ротора накоротко замкнута, в ней протекает высокий ток I_2, создавая магнитный поток Φ_2 (рис. 95). Но на обтекаемый током проводник в магнитном поле оказывается определенное усилие, вследствие чего возникает вращающий момент, под действием которого и начинается вращение ротора.

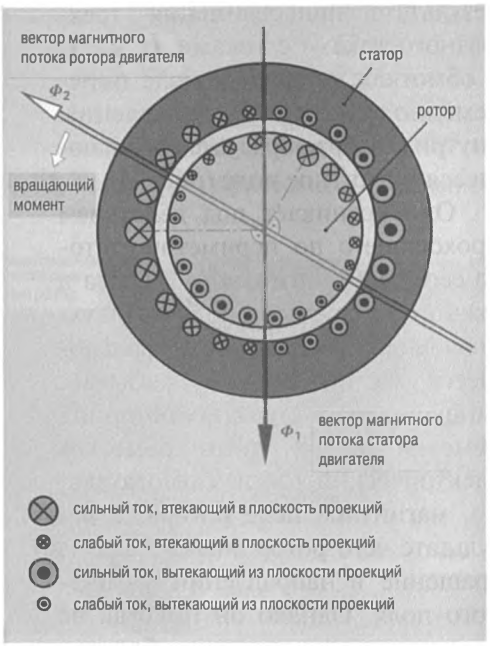


Рис. 95. Магнитный поток в статоре и роторе двигателя

По мере увеличения скорости вращения индуктированное в роторе напряжение U_2, а значит, и ток I_2 заметно понижаются. Когда ротор почти достигает скорости вращения магнитного поля n_S, лишь немногие силовые линии поля пересекаются с обмоткой ротора в единицу времени при наличии в нем очень низкого напряжения U_2 и совсем слабого тока I_2. Теперь вращающего момента как раз достаточно для компенсации трения в подшипниках и трения о воздух. Двигатель продолжает работать практически с той же скоростью, однако уже не так быстро, как вращается магнитное поле. Таким образом, двигатель действует не синхронно, а асинхронно относительно вращающегося магнитного поля, а именно несколько медленнее.

Вращающий момент у асинхронного двигателя не строго пропорционален току ротора I_2 и соответственно току I, подводимому к обмотке статора, ибо сдвиг по фазе между питающим напряжением статора и потребляемым током статора очень сильно зависит от числа оборотов (рис. 96). Лишь соответствующий активный ток способствует образованию вращающего момента. Таким образом, как показано на рис. 97, максимальный момент получают не в спокойном состоянии при наибольшем токе двигателя, а примерно при 2/3 синхронного числа оборотов (скорости вращения магнитного поля). Этот максимальный момент называют также опрокидывающим моментом M_K. При нагрузке работающего вначале на холостом ходу двигателя все более усиливающимся моментом сопротивления его число оборотов падает примерно на 20%. Когда нагрузка достигает максимального опрокидывающего момента M_K, двигатель переходит в состояние останова.

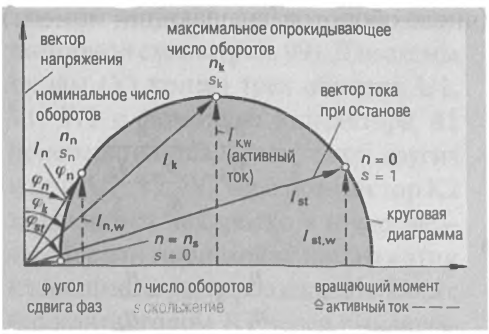


Рис. 96. Вектор тока и вектор напряжения в зависимости от числа оборотов двигателя

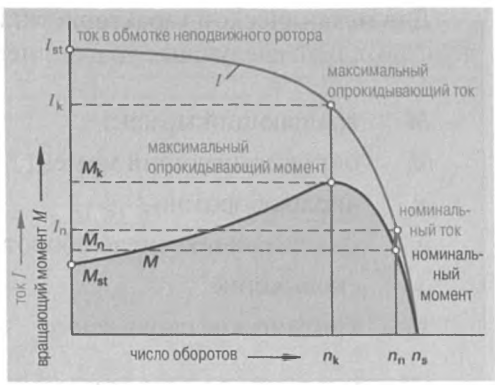


Рис. 97. Ток и вращающий момент в зависимости от числа оборотов

Номинальный момент M_n составляет около 1/3 максимального опрокидывающего момента $M_к$. Номинальное число оборотов почти на 5% ниже синхронного числа оборотов (скорости вращения магнитного поля). Относительное процентное отклонение чисел оборотов называют также скольжением s.

Типовые параметры		Маломощный электродвигатель	Высокомощный электродвигатель
Номинальная мощность[1]	P_n	1,1 кВт	110 кВт
Синхронное число оборотов	n_s	3000 об/мин	3000 об/мин
Номинальное число оборотов	n_n	2850 об/мин	2980 об/мин
Номинальное скольжение[1]	s_n	5%	0,6%
Критическое скольжение	s_k	около 20%	около 10%
Коэффициент полезного действия	η_n	77%	95%
Номинальный момент[1]	M_n	3,7 Нм	353 Нм
Макс. опрокидывающий момент	M_k	$2{,}3 \cdot M_n$	$2{,}8 \cdot M_n$
Инерционный момент	J	0,001 кгм^2	1,3 кгм^2
Вес (масса)	M	9,9 кг	790 кг

[1] Номинальные значения называют также расчетными, то есть, например, расчетный момент = номинальный момент.

Для механической характеристики (число оборотов/вращающий момент) действительно следующее уравнение:

$$\frac{M}{M_k} = \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

M вращающий момент
M_k опрокидывающий момент
n число оборотов
n_k максимальное число оборотов
s скольжение
s_k критическое скольжение

$$s = 1 - \frac{n}{n_s};\ s_k = 1 - \frac{n_k}{n_s}$$

Обмотки статора могут присоединяться к трехфазной сети в схеме звезды или в схеме треугольника (рис. 98).

В схеме треугольника при трехфазной сети 400 В на каждую обмотку подается переменное напряжение 400 В, а при схеме звезды всего лишь 400 В $/\sqrt{3}=$ =230 В. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме треугольника потребляет в три раза больше тока, чем в схеме звезды, обеспечивая поэтому троекратно больший вращающий момент и, следовательно, в три раза более высокую мощность.

Поэтому асинхронные двигатели трехфазного тока используются в большинстве случаев именно в схеме треугольника.

Системы управления пуском

Асинхронные трехфазные двигатели при прямом включении потребляют в три, а то и в шесть раз больше тока, чем при номинальной работе.

Двигатели мощностью более 4 кВт в случае обычных сетей тока не должны включаться напрямую, ибо высокие токи могут привести к чрезмерным колебаниям напряжения в сети. С учетом этого, трехфазные асинхронные двигатели от 4 кВт до 12 кВт включаются сначала в схеме звезды, а после разгона переключаются на схему треугольника. В схеме звезды двигатель 12 кВт (для схемы треугольника) потребляет примерно столько же тока, что и 4 кВ–двигатель (12 кВт : 3 = 4 кВт).

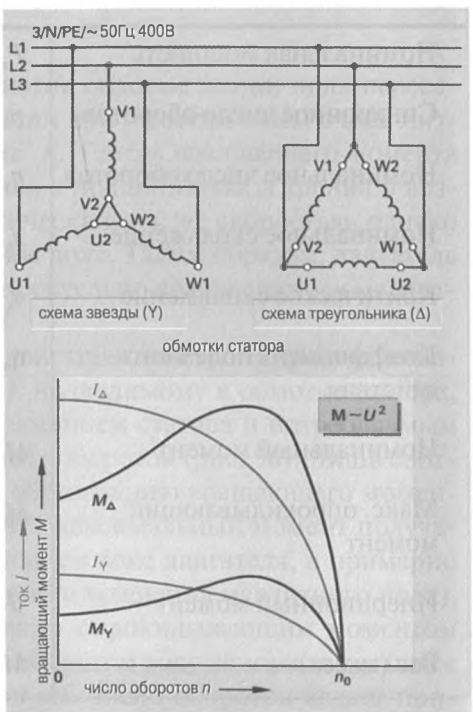


Рис. 98. Схема звезды и схема треугольника

Схема пуска с переключением со звезды на треугольник

Переключение со звезды на треугольник осуществляется в боль-

шинстве случаев посредством контакторной схемы (рис. 99). Для схемы звезды (Y) концы трех обмоток U1, V1, W1 с помощью контактора A1 присоединяются к сети, а три других конца U2, V2, W2 через контактор K2 замыкаются накоротко в точке звезды. Все это происходит при нажатии клавишного выключателя S1. Также и с контактором K1 через выключатель S1 и самоблокирующийся контакт K1 подается напряжение на реле времени K4. После регулируемой выдержки времени, если запущен двигатель, происходит отсоединение K4 и, следовательно, K2 и присоединение K3. Через контактор K3 осуществляется соединение концов обмоток U1–U2, V1–V2, W1–W2, то есть создается уже описанная выше типичная схема треугольника (Δ).

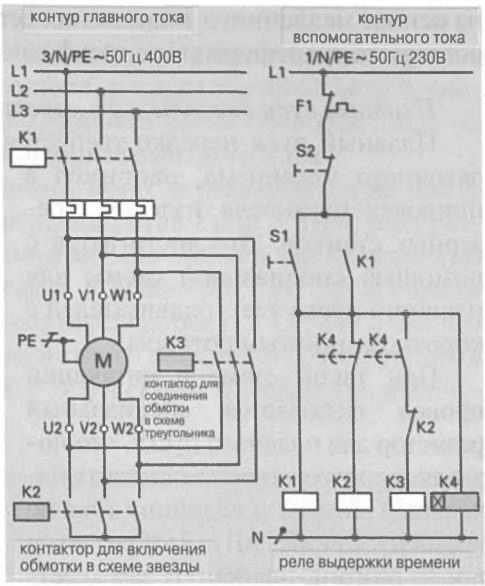


Рис. 99. Контакторная схема для пуска с переключением со звезды на треугольник

Реле защиты двигателя F1 с тепловым расцепителем защищает двигатель от перегрузки: его размыкающий контакт выключает контакторы.

Схема пуска с переключением со звезды на треугольник способна почти на треть уменьшить пусковой ток и начальный момент (момент «трогания»).

Пуск асинхронных двигателей с фазным ротором

Двигатели с контактными кольцами запускаются при наличии дополнительных сопротивлений в контуре ротора (рис. 100). Благодаря соответствующим пусковым реостатам удается понизить ток в роторе и, следовательно, забираемый из сети ток двигателя.

Двигатель включается с помощью контактора K1. По мере повышения числа оборотов резисторы последовательно друг за другом шунтируются контакторами K2 и K3.

Таким образом, пусковой момент двигателя с контактными кольцами во много раз превышает его номинальный момент.

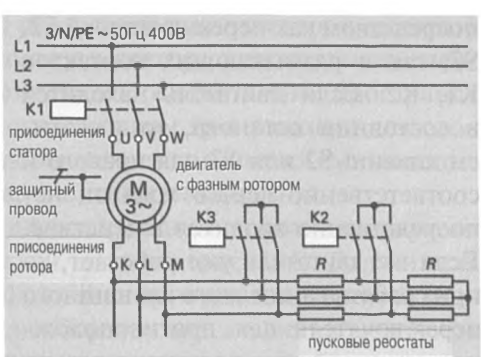


Рис. 100. Пусковая схема двигателей с контактными кольцами

Пуск с регулировочным трансформатором

Постепенный разгон асинхронных электродвигателей возможен и

на основе медленного повышения сетевого напряжения посредством регулировочного трансформатора трехфазного тока.

Плавный пуск двигателей с короткозамкнутым ротором

Плавный пуск нередко требуется в целях щадящей эксплуатации передаточного механизма, например в приводах шпинделя изделия фрезерных станков. Это достигается с помощью специальной схемы для плавного пуска электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

При такой схеме в питающий провод включается специальный резистор для плавного пуска, что позволяет соответственно понизить начальный момент и величину тока во время пуска (рис. 101). Этот резистор после разгона накоротко замыкается контактором K2, срабатывающим через реле выдержки времени K3.

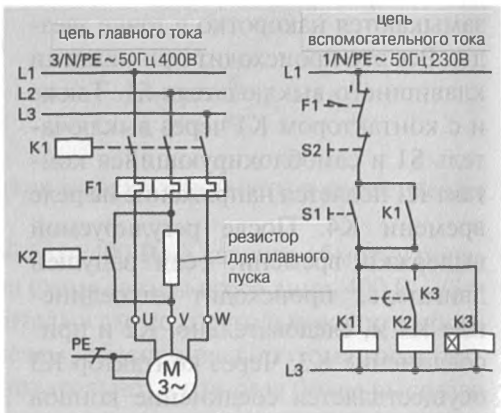
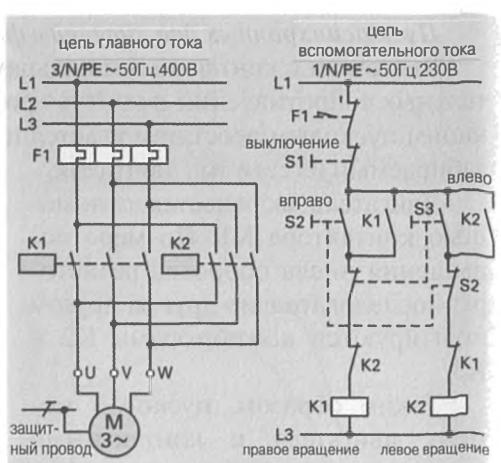


Рис. 101. Схема для плавного пуска короткозамкнутых роторов

Перемена направления вращения

В результате транспозиции двух из трех соединительных проводов направление вращения магнитного поля и, следовательно, направление вращения ротора меняется на обратное.

Скрещивание двух присоединений проводов осуществляется на основе управления через реверсивные контакторы (рис. 102). Контактор 1 включает двигатель для правого вращения, а контактор 2 включает двигатель для левого вращения. Оба контактора взаимно блокируются посредством как переключателей S2, S3, так и размыкающих контактов K1, K2. Если двигатель находится в состоянии останова, то нажатием клавиш S2 или S3 для правого и соответственно левого хода он непосредственно вводится в действие. Если же двигатель уже работает, то при срабатывании этого клавишного переключателя для противоположного направления вращения размыкающий контакт сначала прерывает путь тока включенного ответвления. И только после отпадания относящегося сюда контактора активизируется путь тока для нового направления вращения.



Рис, 102. Изменение направления вращения через реверсивные контакторы

Регулирование скорости вращения

У асинхронных двигателей рабочее число оборотов задается преимущественно скоростью вращения магнитного поля, а также частотой сети и числом полюсов. В зависимости от нагрузки, рабочее число оборотов лишь на несколько процентов ниже скорости вращения магнитного поля.

Двигатели с переключаемыми полюсами могут переключаться на число полюсов статора 2 или 3 и значит, на число оборотов 2 или 3. При этом различают переключение полюсов с раздельными обмотками и так называемую схему Даландера (по имени ее разработчика: R.Dahlander, 1897 г.). В первом случае, например, в статоре размещена первая обмотка 1U, 1V, 1W с числом полюсов $p_1 = 6$ для скорости вращения магнитного поля 1000 об/мин и вторая обмотка 2U, 2V, 2W с числом полюсов $p_2 = 4$ для скорости вращения магнитного поля 1500 об/мин (рис. 103).

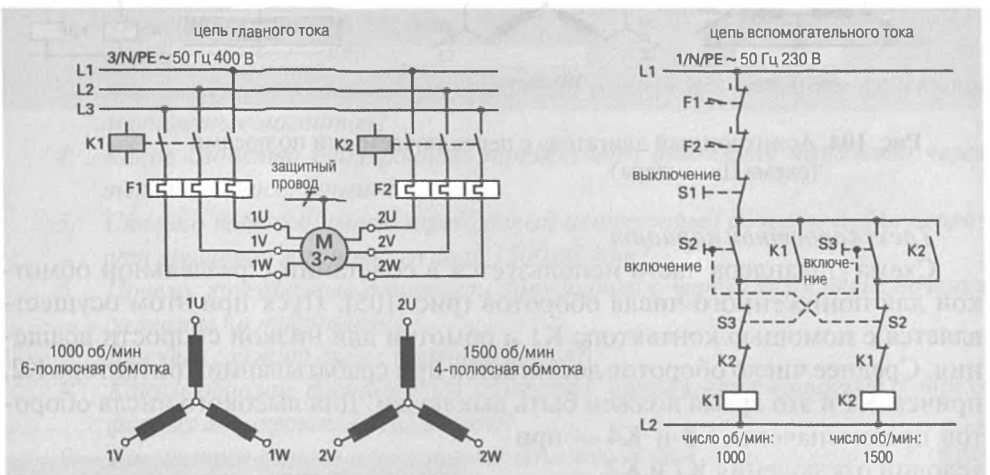


Рис. 103. Асинхронный двигатель с переключаемыми полюсами (2 раздельные обмотки)

Эта схема управления по своей структуре соответствует схеме изменения направления вращения с помощью реверсивных контакторов, которые должны взаимно блокироваться. Поскольку в статоре присоединена либо обмотка 1, либо обмотка 2, то там требуется большое обмоточное пространство, так что данные двигатели получаются слишком громоздкими для своей невысокой мощности. Двигатели с переключаемыми полюсами находят применение, например, для привода транспортных механизмов.

В схеме Даландера обмотки статора двухскоростного короткозамкнутого двигателя секционированы на шесть ветвей, или фаз (рис. 104). Для низкой скорости вращения две ветви обмотки функционируют в схеме треугольника, а для более высокого (двойного) числа оборотов еще две ветви включены параллельно в схеме двойной звезды. Вращающие моменты в обоих названных вариантах примерно равны. Мощность при высокой скорости вращения почти вдвое выше, чем при малом числе оборотов.

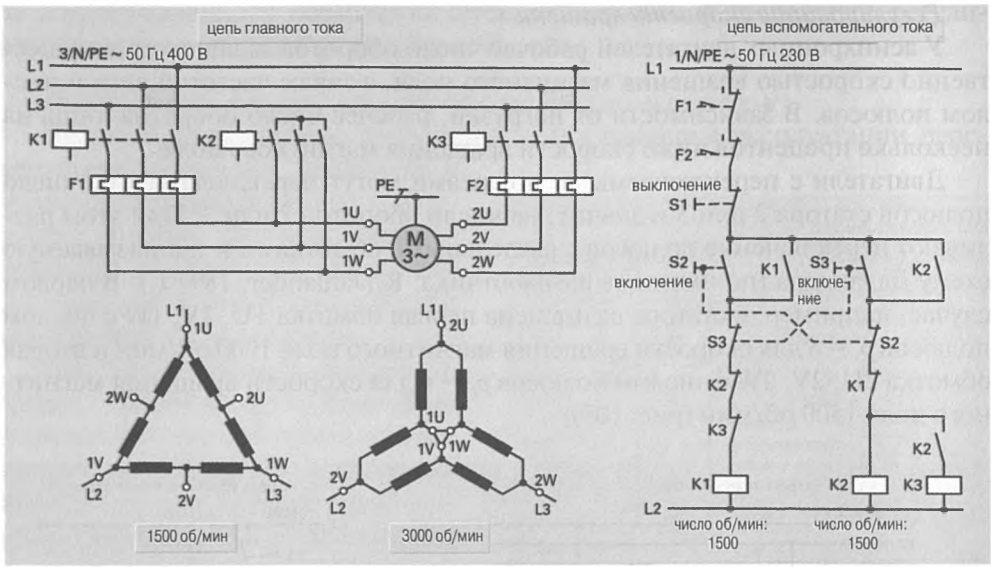


Рис. 104. Асинхронный двигатель с переключаемыми полюсами (схема Даландера)

Трехскоростной вариант

Схема Даландера часто используется в сочетании с раздельной обмоткой для пониженного числа оборотов (рис. 105). Пуск при этом осуществляется с помощью контактора K1 и обмотки для низкой скорости вращения. Среднее число оборотов достигается при срабатывании контактора K2, причем K1 в это время должен быть выключен. Для высокого числа оборотов предназначены K3 и K4 — при условии отключения K1 и K2.

Схема Даландера нередко используется, в частности, для приведения в действие шпинделя изделия на фрезерных станках. При этом благодаря возможности переключения чисел оборотов «экономится» одна ступень передачи.

За счет регулирования скольжения можно изменять сопротивление ротора R, в результате чего удается изменить и механическую характеристику асинхронного двигателя с фазным ротором (рис. 106). В то время как скорость вращения магнитного поля остается неизменной, при нагрузке номинальным моментом получают числа оборотов n_1, n_2,

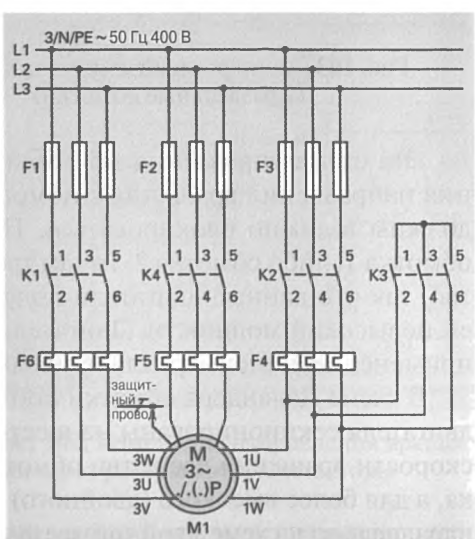


Рис. 105. Три числа оборотов: схема Даландера и раздельная обмотка.

n_3 для сопротивлений ротора R_1, R_2, R_3 при $R_1 < R_2 < R_3$. Скольжение, то есть отнесенная к данной скорости вращения магнитного поля разность чисел оборотов, становится тем больше, чем выше указанная нагрузка (момент сопротивления) и чем меньше изгиб соответствующей характеристической кривой.

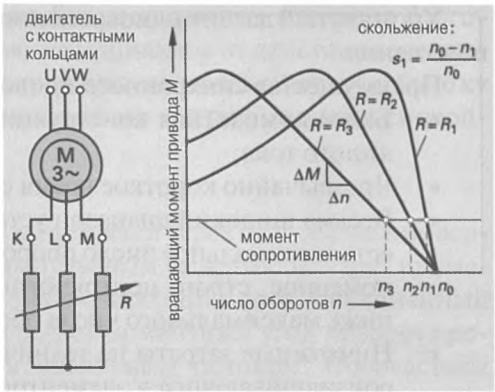


Рис. 106. Механическая характеристика при управлении посредством сопротивления у асинхронного двигателя с контактными кольцами

Повторение и закрепление материала

1. *Назовите важнейшие электрические исполнительные органы.*
2. *Приведите примеры применения электромагнитов.*
3. *Какой характеристический параметр выбран для описания мощности постоянных магнитов?*
4. *Какое свойство асинхронного трехфазного двигателя выражено через термин «асинхронный»?*
5. *Сколько полюсов имеет трехфазный асинхронный двигатель для скорости вращения магнитного поля 1500 об/мин?*
6. *Почему трехфазные двигатели запускаются через схему переключения со звезды на треугольник?*
7. *Для чего служит схема плавного пуска?*
8. *Каким образом достигается изменение направления вращения у трехфазных асинхронных двигателей?*
9. *Какие трехфазные асинхронные двигатели способны работать в двух- или трехскоростном режимах?*

2.2.6.3. Приводы трехфазного тока с электронным переключением

Синхронные и асинхронные трехфазные двигатели с электронным переключением все чаще используются вместо приводов постоянного тока. Здесь речь идет о бесщеточных приводах с регулируемым числом оборотов. Под «переключением» понимается в данном случае изменение направления тока в обмотках двигателя.

Синхронный привод трехфазного тока с электронным переключением

У такого привода статорная обмотка регулируется электронным способом в зависимости от имеющегося на данный момент положения ротора. Сам ротор снабжен постоянными магнитами и настраивается на вектор движения магнитного потока статора. Такие двигатели используют преимущественно для привода подачи в металлообрабатывающих станках, а также в робототехнике (сервоприводы подачи).

Трехфазные синхронные двигатели содержат сельсин-датчик для управления электронным переключением.

Упомянутый датчик одновременно применяют иногда для регулирования положения.

Преимущества синхронного привода переменного тока:

- Более компактная конструкция по сравнению с двигателями постоянного тока;
  Чрезвычайно короткое время срабатывания;
  Весьма широкий диапазон установки чисел оборотов (до 1:20 000), то есть минимальное число оборотов, при котором еще сохраняется равномерное, строго центрированное вращение двигателя, в 20 000 раз ниже максимального числа оборотов;
  Ничтожные затраты на техническое обслуживание, отсутствие быстроизнашивающихся элементов (например угольных щеток);
  Отсутствие ограничений для вращающего момента во время переключений;
  Лучший отвод тепла, чем у двигателей постоянного тока, поскольку в статоре находится всего одна обмотка;
  Более высокий коэффициент полезного действия, чем у двигателя постоянного тока;
  Закрытая конструкция с родом защиты IP 65 (защита от проникновения пыли и брызг воды);
  Более длительный срок службы, чем у двигателя постоянного тока;
  Меньший вес, чем у двигателя постоянного тока;

Конструктивное исполнение

Ротор, как и статор, состоит из пакета листовой стали, благодаря чему при переменном проникании магнитного потока статора вихревые токи, равно как и потери от вихревых токов, остаются минимальными. Ротор имеет внутри себя большие полости, чем обеспечивается снижение веса и прежде всего ослабление инерционных моментов (рис. 107). Наружная сторона ротора облицована пластинами из магнитнотвердого материала — сплава самария и кобальта (самарий является элементом из группы редкоземельных

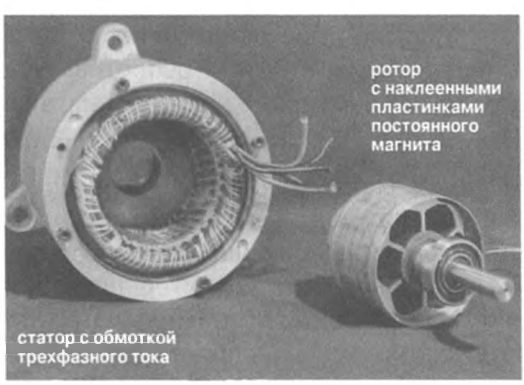


Рис. 107. Трехфазный синхронный двигатель с почти полым ротором и постоянными магнитами

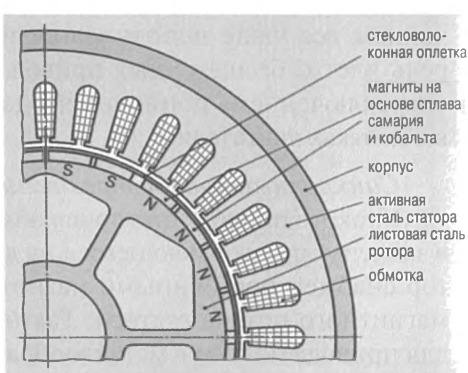


Рис. 108. Трехфазный синхронный двигатель в поперечном разрезе

металлов) (рис. 108). Такие пластины на базе постоянных магнитов благодаря усиленной стекловолокном пластмассе защищены от действия возникающих высоких центробежных сил. Статор двигателя имеет обычную обмотку трехфазного тока в косых пазах, что немаловажно для поддержания спокойного хода двигателя.

Принцип действия

Синхронный трехфазный двигатель запускается через импульсный инвертор с трехфазным током, образуемым импульсным инвертором через промежуточный контур постоянного тока из трехфазного тока сети. Соединенный с ротором двигателя сельсин-датчик передает моментный угол поворота ротора электронной системе управления магнитным потоком. Посредством ПИ-регулятора чисел оборотов и ПИ-регулятора тока эта система так настроена относительно скорости вращения и вращающего момента (тока), что вектор магнитного потока с повышением управляющего напряжения пытается вращаться быстрее. С другой стороны, вектор изменяет свое направление лишь настолько, чтобы ротор мог следовать за потоком. При этом двигатель приобретает в принципе те же свойства, что и двигатель постоянного тока, при котором направление магнитного потока в цепи ротора также изменяется в зависимости от вращения ротора.

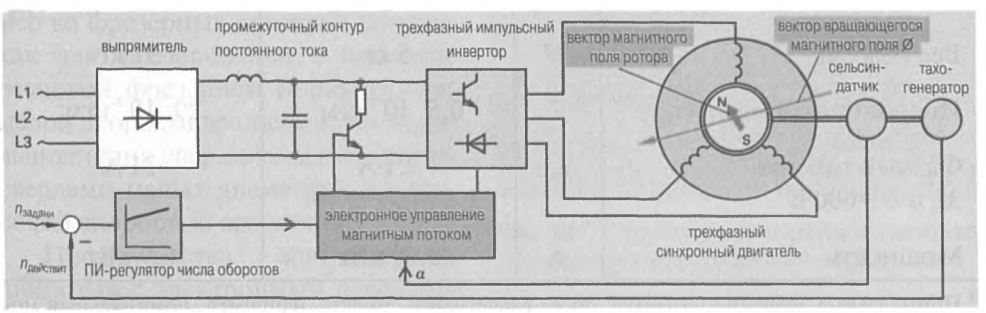


Рис. 109. Регулирование чисел оборотов трехфазного синхронного двигателя на основе управления вращающимся магнитным полем в зависимости от положения вращения

Характеристические величины

Диапазон чисел оборотов составляет от –5000 до +5000 в минуту (рис. 110). Двигатели могут нагружаться номинальным моментом M_n по всему указанному диапазону. Для процессов ускорения двигатели на короткое время обеспечивают момент импульса примерно от $3 \cdot M_n$ до $5 \cdot M_n$ (см. табл. 8).

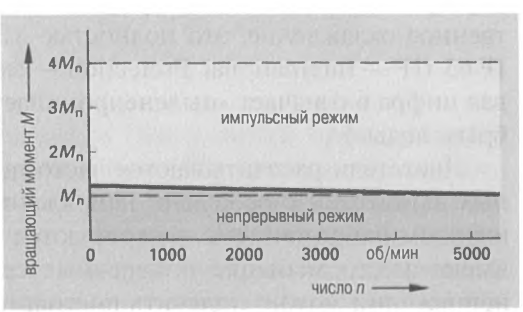


Рис. 110. Диапазон чисел оборотов и нагрузочная способность двигателя

Таблица 8. Параметры трехфазных приводов с электронным переключением (примеры)

Параметры		Маломощный электродвигатель	Высокомощный электродвигатель
Номинальный момент[1]	M_n	2,2 Нм	55 Нм
Момент импульса	M_l	10 Нм	200 Нм
Номинальное число оборотов[1]	N_n	3000 об/мин	1200 об/мин
Механическая постоянная времени	T_m	4 мс	2 мс
Электрическая постоянная времени	T_{el}	4 мс	22 мс
Фазный ток при M_n и U = 210 В	I_{Str}	5 А	50 А
Ускорение	W_{max}	3500 об/с^2	1100 об/с^2
Вес (масса)	M	5 кг	51 кг
Инерционный момент	J	0,5 10^{-3} кгм^2	29 10^{-3} кгм^2
Фазный ток при M_n и U=600 В	I_{Str}	2,1 А	21 А
Мощность	p	0,69 кВт	6,9 кВт

[1] Номинальные значения называют также расчетными, то есть, например, номинальный момент = расчетный момент.

В обмотке статора в качестве температурного датчика размещен терморезистор с положительным температурным коэффициентом, контролирующий перегрев двигателя. Конструкция самих двигателей предусматривает естественное охлаждение: это полностью закрытое исполнение с родом защиты IP 65 (IP — International Protection — международный род защиты, где первая цифра 6 означает «пыленепроницаемость», вторая цифра 5 — «защита от брызг воды»).

Двигатели рассчитываются часто по типу так называемых высоковольтных двигателей с рабочими напряжениями 600 В. В соответствии с повышенным напряжением, генерируются более низкие токи и, следовательно, имеют место меньшие поперечные сечения проводов. Для этих высоких напряжений можно получить постоянное напряжение также порядка 600 В в промежуточной цепи постоянного тока — непосредственно через выпрямление напряжения трехфазной сети без трансформатора.

Асинхронный привод трехфазного тока с переключением в зависимости от магнитного поля

Трехфазный асинхронный двигатель в сочетании с электронным переключением позволяет чрезвычайно быстрое регулировать число оборотов. Как и при синхронном трехфазном двигателе с электронным переключением, направление магнитного потока поля статора регулируется в зависимости от моментного положения ротора.

Способ электронного управления магнитным потоком считается достаточно дорогостоящим и требует наличия высокопроизводительного микропроцессора (рис. 111).

Трехфазные асинхронные двигатели находят применение прежде всего в качестве главных приводов металлообрабатывающих станков.

У таких двигателей с пониженным моментом достигаются — в силу ослабления поля — очень высокие числа оборотов (до 20 000 в минуту), что позволяет использовать их без промежуточного редуктора (например во фрезерных станках), причем как для фрезерования с большой резцовой фрезерной головкой при малой скорости вращения, так и для выполнения сверлильных операций сверлами малых диаметров и с высокой скоростью вращения.

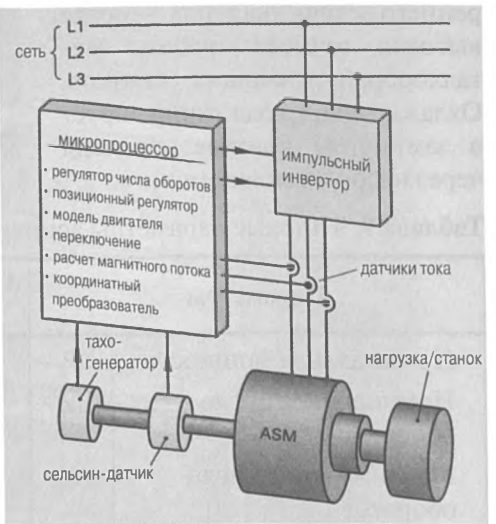


Рис. 111. Структура асинхронного двигателя с электронным переключением

Преимущества асинхронного двигателя с электронным переключением идентичны таковым у синхронного двигателя, а именно:

- работа практически без технического обслуживания,
- высокий коэффициент полезного действия,
- замечательная реакционная способность,
- малые габариты,
- возможность кратковременной десятикратной перегрузки,
- закрытое исполнение с родом защиты IP 65.

Характеристические величины

Асинхронный привод трехфазного тока с электронным переключением создает в нижнем диапазоне чисел оборотов (рис. 112) постоянный вращающий момент и соответственно обеспечивает мощность, линейно возрастающую в зависимости от скорости вращения. В верхнем же диапазоне чисел оборотов максимальный вращающий момент обратно пропорционален скорости вращения. В этой области отдаваемая мощность является постоянной. В случае главных приводов в зоне ослабления поля возможно достижение скоростей до 20 000 об/мин.

Более компактную (до 40%) конструкцию и более высокую (до 40%) мощность обеспечивают трехфазные асинхронные двигатели с внутренним водяным охлаждением. Охлаждающая вода обтекает при этом весь кожух двигателя, за счет чего достигается отвод тепла и, следовательно, — в связи с отсутствием внутреннего источника тепла — более высокая точность работы металлообрабатывающих станков. Охлаждающая вода циркулирует в замкнутом контуре, проходя через насос и теплообменник.

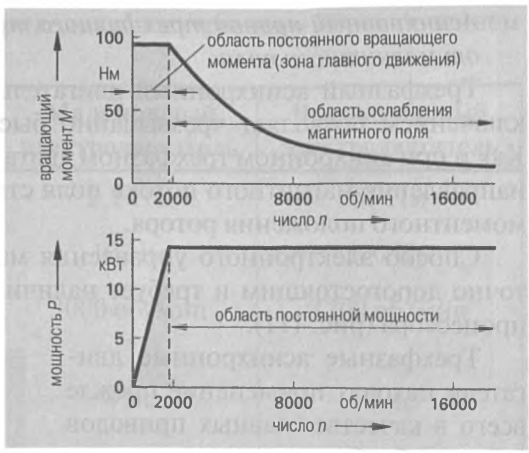


Рис. 112. Вращающий момент и мощность

Таблица 9. Типовые параметры асинхронного трехфазного двигателя

Параметры		Обычный диапазон чисел оборотов	Диапазон высоких чисел оборотов
Номинальная мощность[1]	P_n	30 кВт	14 кВт
Номинальное число оборотов[1]	N_n	1500 об/мин	1500 об/мин
Максимальное число оборотов	N_{max}	8000 об/мин	16 000 об/мин
Номинальный момент[1]	M_n	190 Нм	70 Нм
Инерционный момент	J	$97 \cdot 10^{-3}$ кгм^2	$46 \cdot 10^{-3}$ кгм^2
Вес (масса)	M	150 кг	90 кг
Номинальный ток[1]	I_{Str}	102 А	58 А

[1] Номинальные значения называют также расчетными, то есть, например, номинальная производительность = расчетная производительность.

Многодвигательный электропривод

В области металлообработки чаще всего находят применение станки, оснащенные сразу несколькими трехфазными двигателями с регулируемым числом оборотов. Так, в токарном станке с ЧПУ имеется один асинхронный трехфазный двигатель для привода шпинделя изделия и два синхронных трехфазных двигателя для привода осей подачи. В этом случае все три электродвигателя для импульсных инверторов требуют постоянного напряжения. Здесь представляется целесообразным использовать промежуточную цепь постоянного тока и блок ввода и возврата питания одновременно для всех трех двигателей (рис. 113). Естественно, это предполагает наличие равного напряжения двигателей, например 600 В. Через систему с шинной организацией можно регулировать и контролировать все три импульсных инвертора и

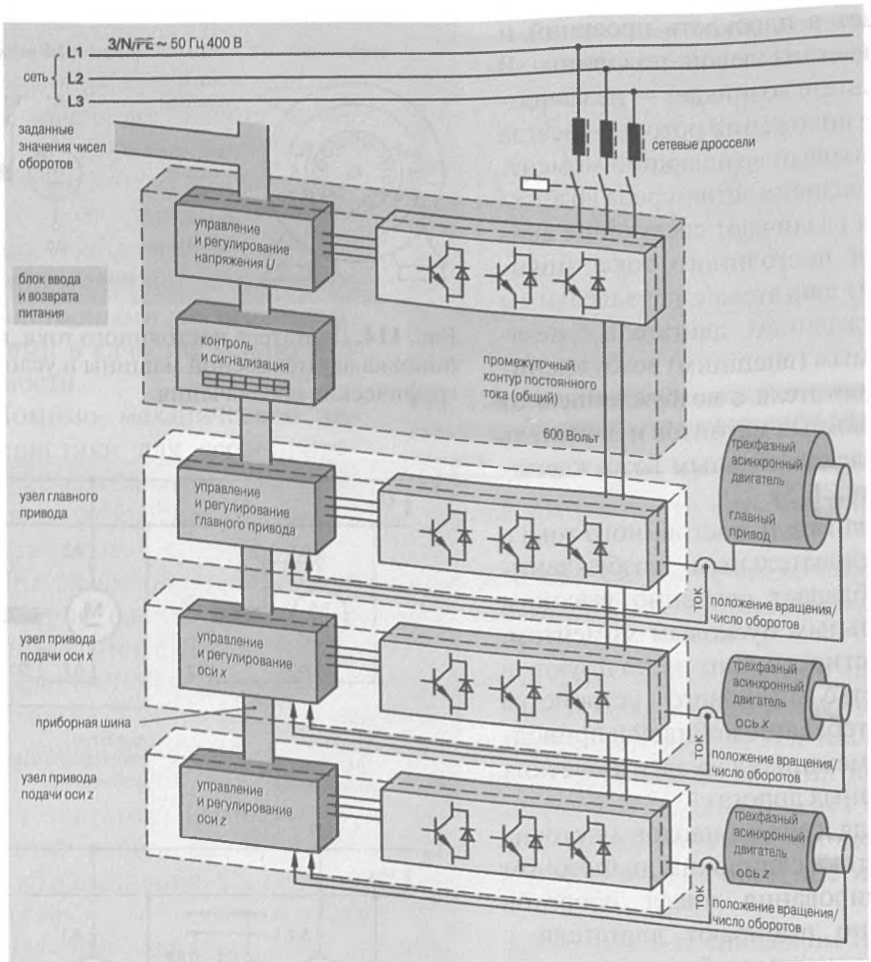


Рис. 113. Модули электропитания и регулирования для одного главного привода и двух приводов подачи

все три контура регулирования чисел оборотов, а также контуры регулирования тока. При этом приборная шина и вводы для присоединения напряжения промежуточного контура постоянного тока имеют каскадное исполнение, то есть отдельные регулирующие модули и блоки импульсного инвертора подключаются друг к другу.

2.2.6.4. Приводы постоянного тока

Двигатель постоянного тока имеет в статоре либо электромагнитную обмотку (возбуждения), генерирующую магнитный поток от одного полюсного наконечника к другому, либо полюсные наконечники из постоянных магнитов (рис. 114). Якорь (ротор) несет на себе обмотку, обычно уложенную в пазы. Проволочные витки этой обмотки ротора присоединены к трансформатору тока (коллектору с угольными щетками) таким образом, что проводимый через угольные щетки ток (например в правой половине катушки) всегда

втекает в плоскость проекций и вытекает из левой половины. В результате возникает — независимо от положения ротора — всегда одинаковый вращающий момент.

В зависимости от рода возбуждения различают следующие двигатели постоянного тока: (шунтовой) двигатель с параллельным возбуждением, двигатель с независимым (внешним) возбуждением, двигатель с возбуждением от постоянных магнитов и двигатель с последовательным возбуждением (рис. 115).

Рис. 114. Двигатель постоянного тока, компоновка двухполюсной машины и условные графические обозначения

Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением обладает особенно высоким начальным пусковым моментом. В частности, его используют в качестве пускового устройства (стартера) автомобилей и приводного механизма на электрических железных дорогах.

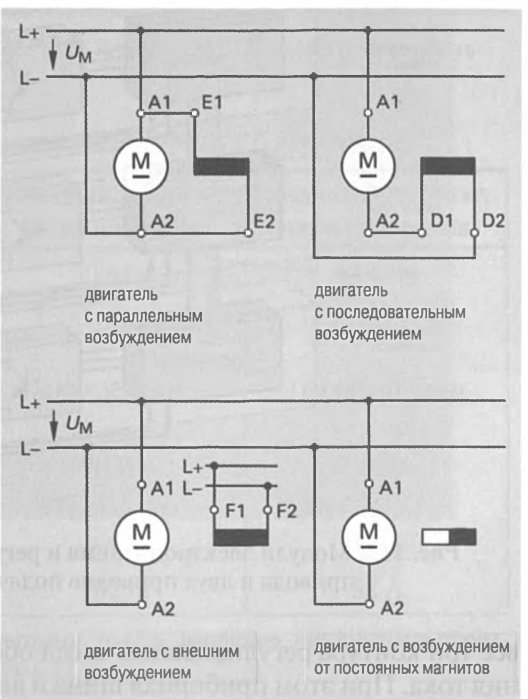


Рис. 115. Электрические схемы двигателей постоянного тока

Для сервоприводов постоянного тока с широким диапазоном регулирования чисел оборотов обычно выбирают двигатели с независимым возбуждением либо с возбуждением от постоянных магнитов. В обоих случаях магнитный поток остается постоянным, а для регулировки скорости вращения изменяется напряжение якоря $U_м$. Механическая характеристика демонстрирует тогда соответствующее параллельное смещение (рис. 116). Число оборотов пропорционально напряжению якоря. При постоянном напряжении якоря $U_м$ вращающий момент понижается пропорционально скорости вращения. Ток якоря I соразмерен приводному моменту M. Такая линейная рабочая характеристика гарантирует отличное качество регулирования и управления.

В случае нерегулируемых двигателей скорости вращения можно изменять путем изменения напряжения двигателя в соотношении примерно 1:100. С помощью регулирующего устройства достигаются любые (даже самые низ-

кие) числа оборотов. Для изменения направления вращения на обратное достаточно изменить направление тока в якоре или в обмотке возбуждения. Такого рода двигатели постоянного тока всегда работают в сочетании с тиристорными либо транзисторными сервомеханизмами в качестве усилителей мощности.

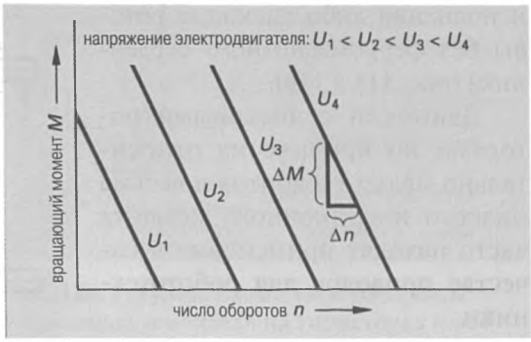


Рис. 116. Механические характеристики двигателя постоянного тока с внешним возбуждением

Помимо механической характеристики для сервоприводов немаловажное значение имеет динамическое отношение скоростей вращения, то есть быстрота их срабатывания.

При скачкообразном изменении напряжения двигателя число оборотов изменяется, однако не скачкообразно: это происходит в соответствии с экспоненциальной функцией (рис. 117).

Характерной особенностью этой динамической характеристики является механическая постоянная времени T_m, которая тем меньше, чем меньше подлежащая ускорению маховая масса (инерционный момент J) и чем круче изгиб кривой ($\Delta M/\Delta n$) (рис. 117). При скачкообразном изменении напряжения двигателя (например в момент включения) двигатель через определенный период времени $t = T_m$ достигает примерно 64% своей конечной скорости вращения. Сама же конечная скорость вращения будет достигнута спустя время $t \approx$ тройное значение T_m.

Механическая постоянная времени T_m двигателей в специальном исполнении составляет обычно от 4 мс до 40 мс при мощности порядка 2 кВт. Под действием инерционного момента приводимой в движение машины механическая постоянная времени резко возрастает у двигателей с дисковым или гибким ротором и значительно меньше — у двигателей с большим пусковым моментом, обладающих значительной инерционной массой.

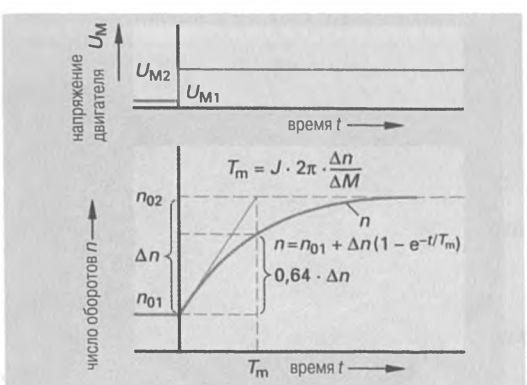


Рис. 117. Динамическая характеристика двигателей постоянного тока. Изменение скорости вращения при скачкообразном изменении напряжения двигателя

Приводы особенно высокого быстродействия (серводвигатели) обладают либо малыми маховыми массами, либо очень крутыми характеристиками. Низким инерционным моментом отличаются, например, достаточно легкие

исполнения либо дисковые роторы без ферромагнитного сердечника (рис. 118 и 119).

Двигатели с дисковыми роторами по причине их относительно малых габаритов и весьма низкого инерционного момента часто находят применение в качестве приводов для робототехники.

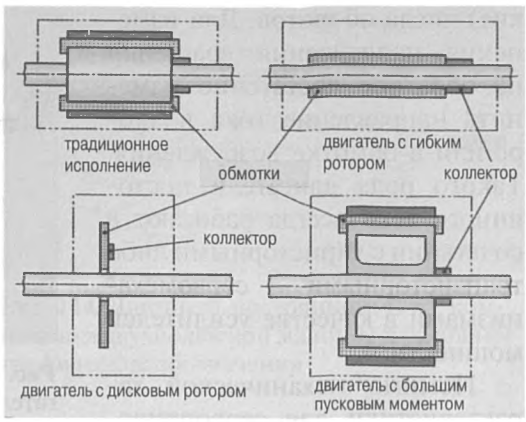


Рис. 118. Конструктивное исполнение роторов двигателей постоянного тока

Регулирование скорости вращения

Регулирование скорости вращения у двигателей постоянного тока осуществляется путем изменения напряжения якоря электродвигателя $U_м$. Для этой цели требуется управляемый источник постоянного напряжения (усилитель) с большой выходной мощностью. Такие усилители мощности создаются обычно на основе тиристоров или транзисторов (рис. 120), причем различают одно-, двух- и четырехквадрантный режимы работы.

Под «одноквадрантной работой» понимают такой режим, при котором двигатель способен запускаться только в одном направлении вращения (рис. 121). Усилитель обеспечивает здесь постоянное напряжение двигателя с одной полярностью. Для изменения направления вращения на обратное необходимо переключение полюсов двигателя посредством контакторов.

При двухквадрантном режиме управление скоростью вращения возможно в двух направлениях без перемены полярности (рис. 121), причем используемый усилитель мощности обеспечивает положительное и отрицательное напряжения.

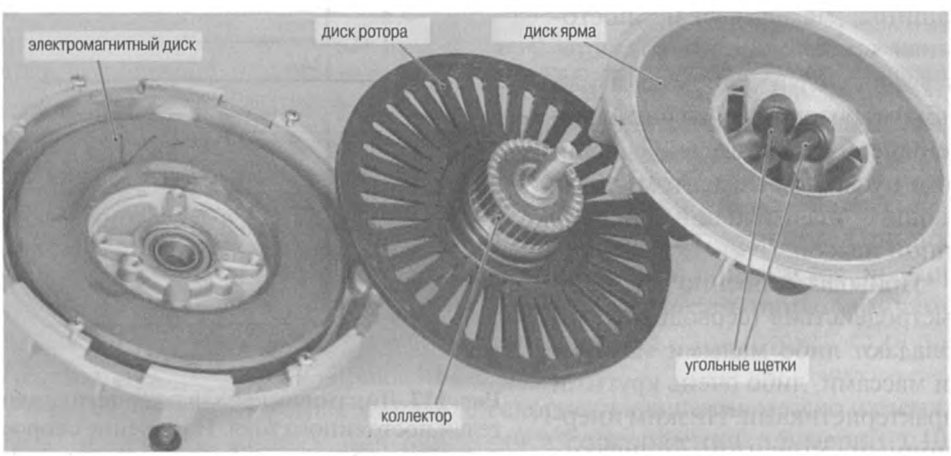


Рис. 119. Двигатель с дисковым ротором.

В четырехквадрантном режиме двигатель может приводиться в действие и тормозиться в обоих направлениях. При торможении он функционирует как генератор. Индуктированное напряжение в обмотке якоря двигателя выше питающего напряжения усилителя, поэтому ток на положительном полюсе двигателя протекает от двигателя к усилителю. Четырехквадрантный режим возможен лишь при условии, что усилитель в состоянии также принять этот идущий от двигателя ток. Если четырехквадрантный усилитель дополнить инвертором, то в тормозном режиме не исключен даже возврат энергии.

Большие приводы, например для прокатного стана с часто повторяющимися процессами пуска, торможения и реверсирования, как раз конструируются в виде четырехквадрантных механизмов с рекуперацией энергии.

Создаваемая двигателем мощность в режиме торможения как мощность потерь преобразуется в усилителе в тепловую энергию, поэтому усилители приводов подачи нуждаются в интенсивном охлаждении.

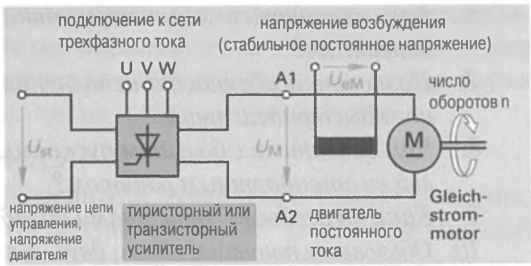


Рис. 120. Регулирование чисел оборотов с помощью усилителя на тиристорах или транзисторах

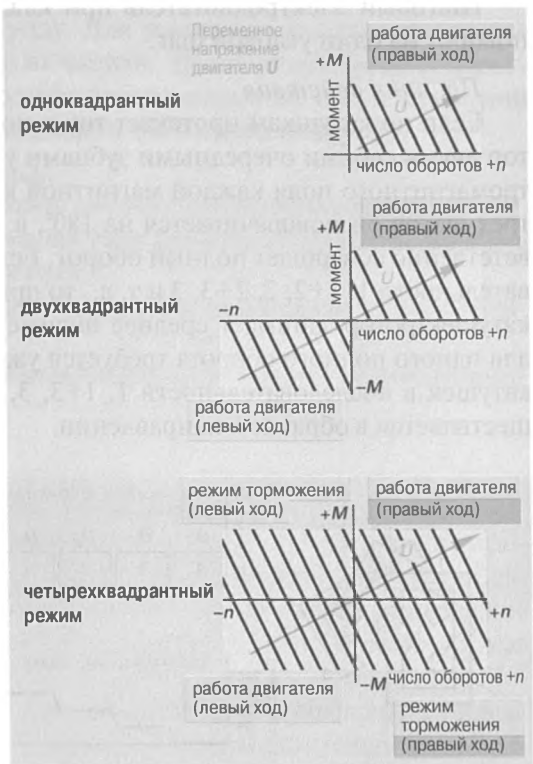


Рис. 121. Одно- и многоквадрантный режимы работы

Повторение и закрепление материала

1. *Какова роль коллектора в машинах постоянного тока?*
2. *Какие виды двигателей постоянного тока существуют и какие из них используют в качестве сервоприводов?*
3. *Как регулируется число оборотов в двигателях постоянного тока?*
4. *Опишите механическую характеристику двигателя постоянного тока с внешним возбуждением.*
5. *Каково значение механической постоянной времени T_m привода?*

6. *Как изменяется характеристика скорости вращения при включении двигателя?*
7. *Назовите особенности исполнения двигателей постоянного тока высокого быстродействия.*
8. *Чем двигатели с большим пусковым моментом отличаются от двигателей со стандартным ротором?*
9. *Какими особыми свойствами обладают двигатели с дисковым ротором?*
10. *Объясните понятия: одно-, двух- и четырехквадрантный режимы работы.*

2.2.6.5. Приводы с шаговыми электродвигателями

В качестве сервопривода, например для настройки записывающей головки на печатающих устройствах либо для подачи бумажной ленты в графопостроителях, широко применяют шаговые электродвигатели.

Шаговый электродвигатель при каждом управляющем импульсе делает поворот на один угловой шаг.

Принцип действия

Если по катушкам протекает ток в последовательности 1, 2, 3, 1, 2 ..., ротор двумя своими очередными зубцами устанавливается в направлении электромагнитного поля каждой магнитной катушки (рис. 122). При выполнении трех шагов он поворачивается на 180°, а при выполнении шести шагов соответственно совершает полный оборот. Если катушки возбуждаются в последовательности 1, 1+2, 2, 2+3, 3 и т. д., то при двойном возбуждении каждых двух катушек ротор занимает среднее положение между двумя полюсами. Теперь для одного полного оборота требуется уже 2 x 6 = 12 шагов. При возбуждении катушек в последовательности 1, 1+3, 3, 3+2, 2 и т. д. вращение ротора осуществляется в обратном направлении.

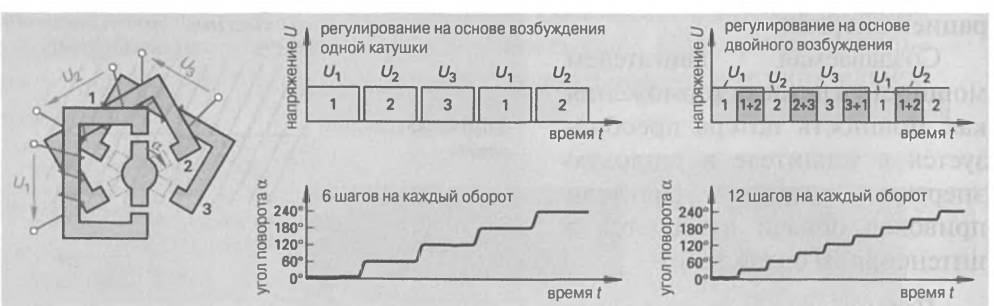


Рис. 122. Принцип действия электрического шагового двигателя

Конструктивное исполнение

В отличие от принципиальной схемы с тремя обмотками возбуждения и, следовательно, с тремя полюсами, шаговые двигатели обычно располагают одним статором с пятью обмотками возбуждения, в каждой из которых предусмотрено по 16 полюсов. Эти 16 полюсов каждой обмотки возбуждения смещены относительно друг друга на 1/5 полюсного шага. Ротор имеет 5 × 16 = 80 полюсов. Когда обмотки поочередно возбуждаются в последова-

тельности 1, 2, 3, 4, 5, 1 ..., ротор, чтобы сделать полный оборот, поворачивается на 5 × 16 = 80 шагов. В результате одновременного возбуждения двух или трех из пяти статорных обмоток достигается среднее положение между двумя полюсами и, следовательно, удвоение числа шагов на один оборот.

Эксплуатационные характеристики

При меньшем числе оборотов (примерно до 20 шагов в секунду) движение поворота осуществляется отчетливо в шаговом режиме. Благодаря маховой массе ротора движение вращения по мере возрастания частоты шагов становится все более равномерным. Шаговые двигатели позволяют выполнять до 40 000 шагов в секунду. При столь высокой шаговой частоте двигатель в силу своего инерционного момента уже не в состоянии делать остановку между двумя совершаемыми шагами, не теряя их. Невозможен и пуск с большой частотой. Максимальная скорость чередования пуска/останова достигается при частоте шагов около 2000 в секунду. Для ускорения последовательности шагов надо постепенно повышать их частоту. Вращающий момент электрических шаговых двигателей приходится максимально на 16 Нм для малой частоты шагов и заметно снижается в области 8000 шагов в секунду.

Повторение и закрепление материала

1. *Приведите примеры использования шаговых электродвигателей.*
2. *Как можно удвоить число шагов шаговых двигателей на основе того или иного способа возбуждения обмотки?*
3. *Каким образом можно изменить направление вращения шагового электродвигателя на обратное?*
4. *Как изменяется вращающий момент шагового электродвигателя в зависимости от частоты шагов?*

2.3. Пневматические системы управления

Пневматика в своем обобщенном значении подразумевает техническое применение сжатого воздуха. При этом чаще всего используется избыточное давление, но иногда и давление ниже номинального (вакуум). Пневматические системы управления состоят из управляющего и энергетического блоков (рис. 123).

В управляющем блоке принимаются и обрабатываются сигналы, в энергетическом блоке после усиления сигналов с помощью исполнительных элемен-

Рис. 123. Блок-схема пневматической системы управления

тов (вентилей) осуществляется управление приводными механизмами (цилиндрами, двигателями), а также генерируются требуемые усилия и движения.

Области применения пневматических систем управления:

- ротационные приводы (пневматические двигатели) для привинчивания, сверления и шлифования,
  линейные приводы (пневматические цилиндры) для загрузки, зажима, смещения и выталкивания,
  ударные приводы для резцовой обработки, резки, штамповки, клепки и прессования,
  сопла для продувки изделий и выдувания стружки,
  в технологии обработки поверхностей — пескоструйная очистка и пульверизационная окраска,
  в технике контроля линейных параметров — пневматические контрольно-измерительные устройства,
  в транспортной технике — транспортировка насыпных грузов.

2.3.1. Общие сведения о пневматике

Прежде всего следует обратиться к основным признакам и важнейшим характеристикам пневматических установок. Вот некоторые из них:

- в пневмосистемах сжатый воздух может перемещаться по трубопроводам и храниться в ресиверах,
  передвижные компрессоры позволяют применять энергию сжатого воздуха независимо от места,
  сжатый воздух практически нечувствителен к колебаниям температуры и может использоваться во взрыво- и пожароопасных помещениях,
- скорость хода поршней пневматических цилиндров может достигать 3 м/с,
  двигатели способны вращаться со скоростью до 30 000 об/мин, а небольшие турбины — до 450 000 об/мин,
  инструменты и приспособления могут нагружаться до полной остановки, они защищены от перегрузок и обладают высоким пусковым моментом,
  пневматические устройства обладают легкой и надежной конструкцией, удобны в работе и легко ремонтируются.

Возможности использования пневматических управляющих систем ограничиваются преимущественно такими показателями как сжимаемость воздуха и низкие давления. Отрицательное действие при этом оказывают следующие факторы:

- компрессоры и шумы, производимые отработанным воздухом, требуют высоких затрат на защиту от шума;
  потери от утечек повышают энергетические затраты;
  масляный туман в отводимом воздухе загрязняет атмосферу вблизи рабочего места;
  поршни не способны развить большой силы, поскольку рабочее давление обычно составляет менее 10 бар;

производимые движения в значительной мере зависят от нагрузки; низкие и постоянные скорости движения поршня и соответственно такие же скорости вращения двигателя в принципе невозможны.

2.3.2. Конструктивное исполнение пневматической установки

Пневматическая установка состоит из генератора как источника давления, системы подготовки воздуха и системы управления (рис. 124).

В генераторной установке компрессор забирает воздух из атмосферы и сжимает его. Нагретый в процессе сжатия воздух подлежит охлаждению в подключенном охладителе. Выделяющаяся конденсационная вода спускается через конденсатоотводчик. Сжатый воздух устремляется в ресивер и далее по трубопроводной сети попадает в управляющее устройство. Прежде чем он пройдет через главный вентиль системы управления, осуществляется его фильтрация в установке воздухоподготовки, устанавливается постоянное рабочее давление и часто также производится насыщение масляным туманом с целью смазки пневматического оборудования.

В управляющей системе заготовка зажимается пневматическим цилиндром простого действия и затем изгибается цилиндром двойного действия.

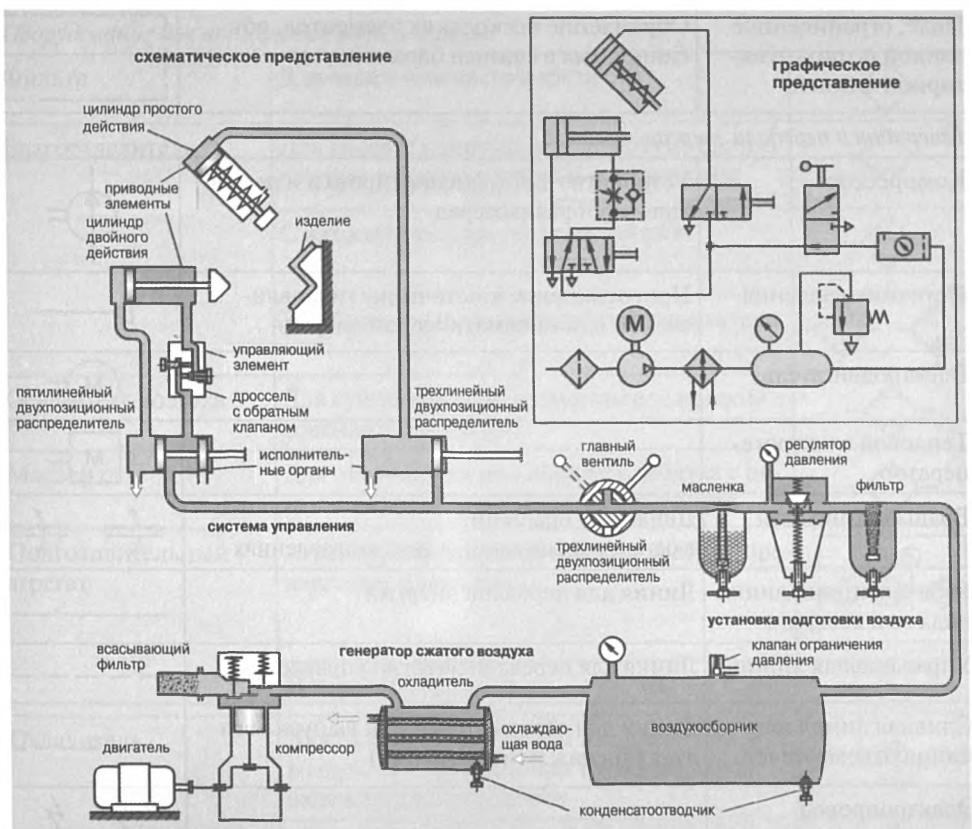


Рис. 124. Пневматическая управляющая система с генератором и установкой подготовки сжатого воздуха

Условные графические обозначения (символы) для коммутационной схемы (см. на рис. 124) стандартизованы согласно ДИН ИСО 1219 и приведены также в таблице 10.

Таблица 10. Генерация и передача энергии, подготовка воды и воздуха (по ДИН 1219)

Название	Описание	Условное обозначение
Обозначение функции		
Треугольник	Направление потока: гидравлического, пневматического	
Стрелка	Пути и направление течения в вентилях, возможность поворота	
Косая стрелка (протягивается через весь символ)	Знак регулируемости	
Поле, ограниченное тонкой штрих-пунктирной линией	Обрамление нескольких элементов, объединенных в единый блок или узел	
Генерация и передача энергии		
Компрессор	Устройство для транспортировки или сжатия газообразных сред	
Источник давления	Присоединение к источнику гидравлической или пневматической энергии	
Электродвигатель		M
Тепловой электрогенератор		M
Вращающийся вал	Движение вращения в одном направлении, в двух направлениях	
Рабочая линия, линия подачи и возврата	Линия для передачи энергии	
Управляющая линия	Линия для передачи энергии управления	
Сливная линия или линия отвода утечек	Линии для отвода утечек или выпуска воздуха (дренаж или деаэрация)	
Электропровод		
Гибкий провод		

Таблица 10. *(окончание)*

Название	Описание	Условное обозначение
Соединение проводов	Неподвижное соединение: сварное, паяное, резьбовое	
Перекрещивание линий	Без соединения друг с другом	
Спуск без соединительного устройства		
Спуск с резьбой для присоединения		
Шумоглушитель		
Манометр		
Воздухосборник		
Оборудование для подготовка воды и воздуха		
Фильтр	Для отделения частиц грязи	
Влагоотделитель	Для сбора и удаления конденсата из систем сжатого воздуха, с ручным управлением	
	С автоматическим удалением влаги	
	Комбинация из фильтра и влагоотделителя	
Осушитель воздуха	Для сушки воздуха — например, с использованием химикатов	
Масленка	Для обогащения проходящего воздуха с целью смазки присоединенных устройств	
Подготовительный агрегат	Агрегат, состоящий из фильтра, регулятора давления и масленки	
	В упрощенном виде	
Охладитель	Для охлаждения рабочей жидкости или воздуха без отображения трубопроводов охлаждающей жидкости	
	С отображением трубопровода охлаждающей жидкости	

2.3.3. Генерация сжатого воздуха

2.3.3.1. Компрессоры

Компрессоры сжимают забираемый из атмосферы воздух до требуемого рабочего давления. Фильтры на всасывающей линии заботятся об удалении из воздуха пыли и прочих твердых примесей. По способу сжатия воздуха рассматриваемые установки делятся на поршневые компрессоры и турбокомпрессоры (см. табл. 11).

Таблица 11. Виды компрессоров

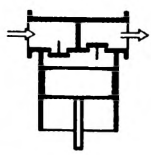
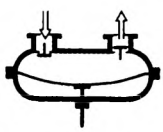
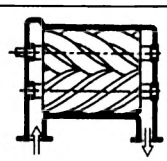
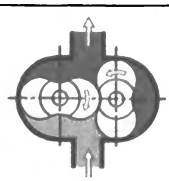
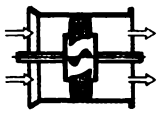
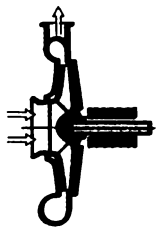
1. Поршневые компрессоры	
1.1. Компрессор с подъемным поршнем Компрессор с плунжером	
Мембранный компрессор	
1.2. Компрессоры с поворотным поршнем	
1.2.1. С одним валом	
Многосекторный роторный компрессор	
1.2.2. С двумя валами	
Винтовой компрессор	
Компрессор с поворотными зубцами	
Роторно-щелевой компрессор	

Таблица 11. (окончание)

2. Турбокомпрессоры	
2.1. Осевой турбокомпрессор	
2.2. Радиальный турбокомпрессор	

Поршневые компрессоры функционируют по принципу вытеснения, то есть воздух подсасывается в цилиндр, запирается там, сжимается и выпускается в воздухосборник.

Компрессоры с подъемным поршнем используются в одноступенчатом режиме при рабочих давлениях до 10 бар и производительности подачи до 100 м^3/час.

Данные производительности подачи всегда указываются в пересчете на атмосферное давление.

При обычном рабочем давлении от 7 до 10 бар, на которое рассчитано большинство управляющих систем, находят применение двухступенчатые поршневые компрессоры с промежуточным охлаждением. При промежуточном охлаждении воздух, нагретый в результате сжатия в ступени низкого давления, вновь охлаждается (по возможности до температуры на входе), прежде чем будет отведен в воздухосборник.

Мембранные компрессоры сжимают воздух с помощью герметично фиксированной мембраны и особенно удобны для получения сжатого воздуха без содержания масел, в частности, в пищевой промышленности. Здесь достигаются рабочие давления порядка 10 бар. Мембранные цилиндры практически не нуждаются в уходе.

Компрессоры с поворотным поршнем работают почти бесшумно и — начиная от рабочего давления 7 бар — имеют двухступенчатое исполнение с промежуточным охлаждением. Если в процессе сжатия в камеры сжатия впрыскивается масло, то одноступенчатыми компрессорами с поворотным поршнем (винтовые, а также многосекторные роторные компрессоры) достигаются давления выше 10 бар. Впрыснутое масло служит для охлаждения, смазки и уплотнения роторов относительно корпуса.

Винтовые и многосекторные роторные компрессоры способны выдерживать базовую нагрузку в длительном режиме. Для пиков нагрузки и при частых процессах регулирования подключается затем поршневой компрессор.

Винтовые компрессоры состоят из двух входящих в зацепление друг с другом валов с винтовым профилем (рис. 125). При движении вращения оба профиля обкатываются вплотную друг к другу, смещая воздух по стенке корпуса с выпуклой поверхности на вогнутую поверхность.

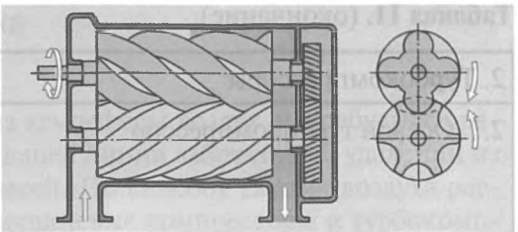


Рис. 125. Винтовой компрессор

Многосекторные роторные компрессоры всасывают воздух, пропуская его через фильтр и запорный элемент (рис. 126). Во время сжатия в один сектор компрессора впрыскивается масло — для охлаждения и смазки. В присоединенном воздушно-масляном резервуаре и в фильтре тонкой очистки масло — до того, как попадает в сеть, — вновь отделяется от сжатого воздуха. Между резервуаром и впрыскивающим соплом масло проходит соответствующую подготовку на основе фильтрации и охлаждения.

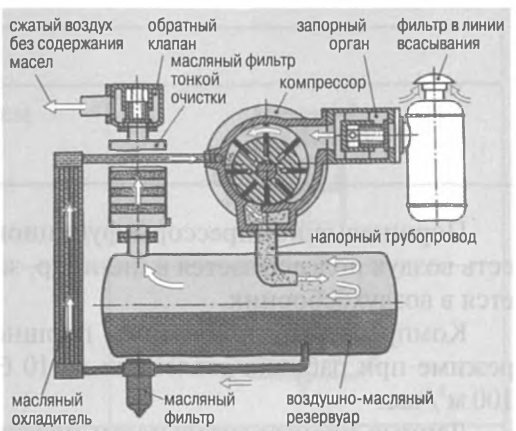


Рис. 126. Многосекторный роторный компрессор

Компрессоры с поворотными зубцами всасывают атмосферный воздух через впускные отверстия, а через выпускные отверстия в осевом направлении отдают сжатый воздух в сеть (рис. 127). Оба ротора, выполненные в виде так называемых поворотных зубцов, приводятся в действие синхронной передачей и вращаются, не касаясь друг друга. Процессы всасывания, сжатия и выталкивания осуществляются при каждом повороте роторов.

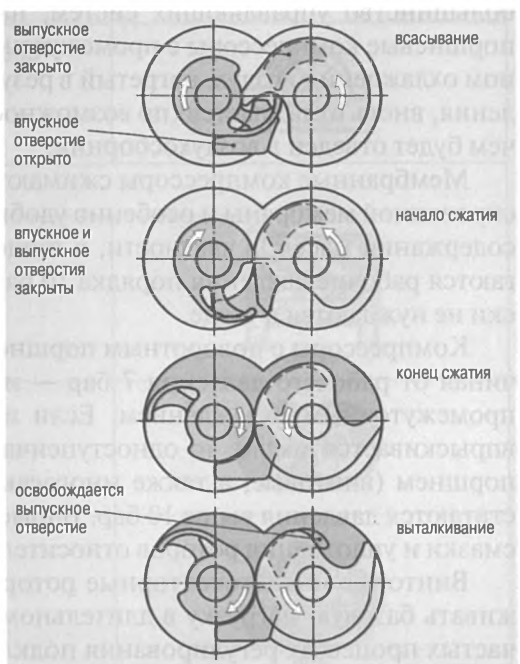


Рис. 127. Компрессор с поворотными зубцами

Турбокомпрессоры всасывают атмосферный воздух посредством рабочих колес или пропеллеров и ускоряют его. В последовательно включенных ресиверах энергия воздушного потока преобразуется в энергию давления.

Среди таких компрессоров динамического действия различают далее осевые и радиальные турбокомпрессоры, способные сжимать большие объемы воздуха.

Управление компрессорами

Для малых и средних компрессоров предусмотрено двухпозиционное регулирование в повторно-кратковременном режиме работы, причем по достижении максимального давления в воздухосборнике электродвигатель останавливается. После снижения давления до уровня повторного включения (разность давлений 0,2...0,4 бар) компрессор вновь вводится в действие. Экономичная частота включений составляет около 20 в минуту.

Компрессоры достаточно больших габаритов часто работают — по причине их высоких инерционных моментов — в режиме холостого хода, то есть по достижении конечного давления сжатия компрессор включается на нулевую подачу. При этом либо перекрывается всасывающая линия, либо остается открытым находящийся в ней клапан, в то время как двигатель продолжает работать. При повторно-кратковременном режиме с выдержкой времени по истечении установленного времени происходит переключение с режима холостого хода на повторно-кратковременный режим работы.

Регенерация тепла

Поскольку при сжатии воздуха движущая энергия компрессора преобразуется не только в энергию давления, но и в тепловую энергию, требуется отвод столь большого количества теплоты в промежуточные или последовательно включенные охладители. Свыше 90% этого тепла экономично перерабатывается в полезное тепло для нагревания.

Выделение конденсата

В компрессоре и в охладителях насыщение сжатого воздуха водяным паром в значительной степени превышено (рис. 128). Образовавшуюся при этом конденсационную воду приходится удалять через конденсатоотводчики. При этом последовательно включенные устройства подвергаются серьезной коррозии, ибо отводимый дальше сжатый воздух все еще насыщен водяным паром.

Воздухосборник (ресивер):

- Ресиверы предназначены для хранения сжатого воздуха и поддержания постоянного рабочего давления в аппаратуре управления.

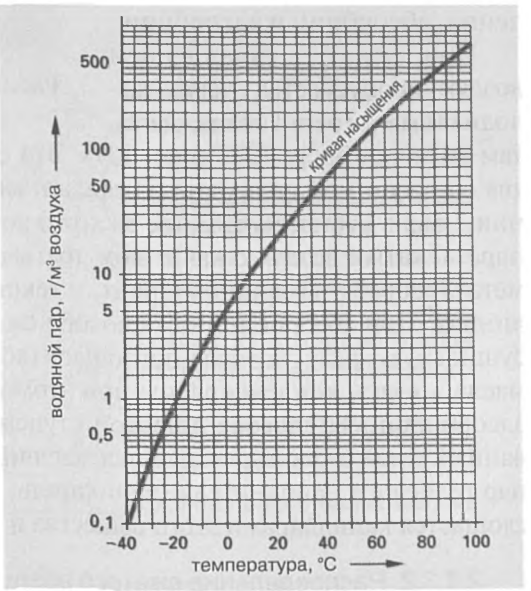


Рис. 128. Содержание водяного пара в воздухе в зависимости от температуры

- В результате излучения тепла через стенки корпуса достигается охлаждение сжатого воздуха.
- Линия насыщения при конденсации водяных паров (кривая точки росы) превышается с выделением конденсата, который подлежит удалению.

Габариты ресивера сжатого воздуха зависят от степени расхода воздуха и способа реализации этого процесса. Емкость ресивера должна составлять не менее 10% от минутной производительности компрессора.

Все воздухосборники подлежат контролю со стороны органов технадзора.

Осушитель сжатого воздуха. В воздухосборнике и в трубопроводах сжатый воздух на 100% насыщается водяным паром. Любое снижение температуры (например в результате излучения тепла) вызывает выделение конденсата, а конденсационная вода в сжатом воздухе вымывает смазочную пленку на инструментах, в клапанах и цилиндрах, что приводит к повышению их износа и усилению явлений коррозии. С учетом этого новые установки, как правило, уже оснащены осушителями для сжатого воздуха.

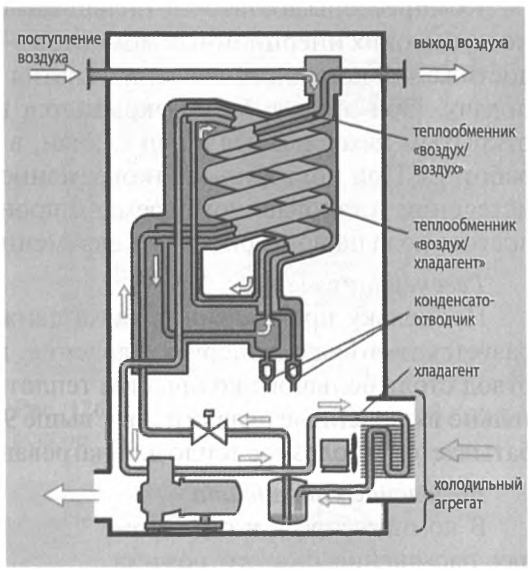


Рис. 129. Способы охлаждения

В основе способов сушки могут лежать процессы охлаждения, абсорбции и адсорбции.

При сушке охлаждением воздух пропускается через холодильный агрегат, охлаждаясь там до точки росы +2°С (рис. 129). Это соответствует третьему классу качества согласно международным стандартам и означает, что при рабочем давлении 7 бар в кубическом метре сжатого воздуха еще содержится 5,5 г водяного пара. Сжатый воздух с качеством третьего класса используется, например, в металлообрабатывающих станках, в текстильных машинах и на упаковочных линиях. При абсорбционном способе сжатый воздух проходит через твердую сушильную среду, которая поглощает (абсорбирует) содержащиеся в воздухе масла и влагу, конденсируется при этом и отводится в сжиженном виде. При адсорбционном способе в первой ступени осушителя с помощью активированных углей отфильтровываются масляные пары. Во второй ступени водяной пар гелиевого наполнителя (силикагель, кизельгель, алюминиевый гель) поглощается капиллярами этого вещества и удерживается в них (рис. 130).

2.3.3.2. Распределение сжатого воздуха

По трубопроводной сети сжатый воздух проходит от воздухосборника к потребителю. Здесь используют преимущественно бесшовные тянутые сталь-

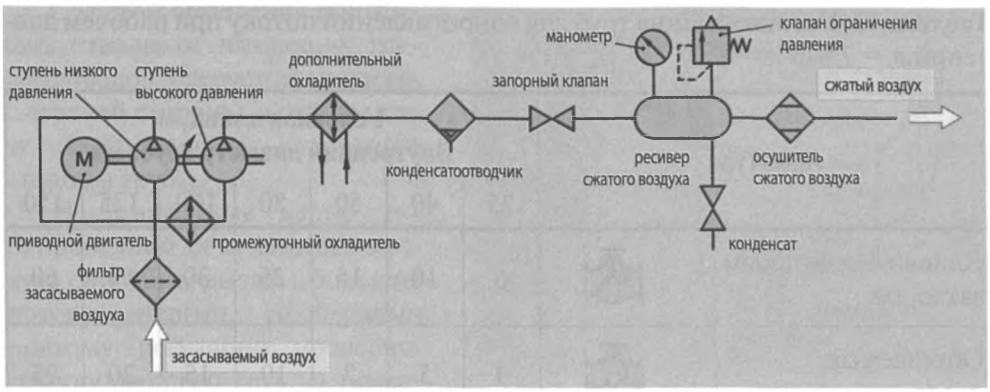


Рис. 130. Схема процесса генерации сжатого воздуха

ные, медные или ПВХ-трубы. Главные распределительные трубопроводы укладываются, как правило, в виде кольца. Потери давления в кольцевых трубопроводах, отводах, коленах и арматуре при обычном рабочем давлении не должны превышать 8–0,1 бар. По приведенной ниже номограмме можно легко определить диаметр труб главной распределительной линии (рис. 131).

Условные проходы трубопроводов сжатого воздуха выбираются в зависимости от требуемой производительности подачи, сопротивления движению воздушного потока со стороны вмонтированной в трубопровод арматуры, а также с учетом длины трубопроводной сети, рабочего давления и допустимого падения давления в линии.

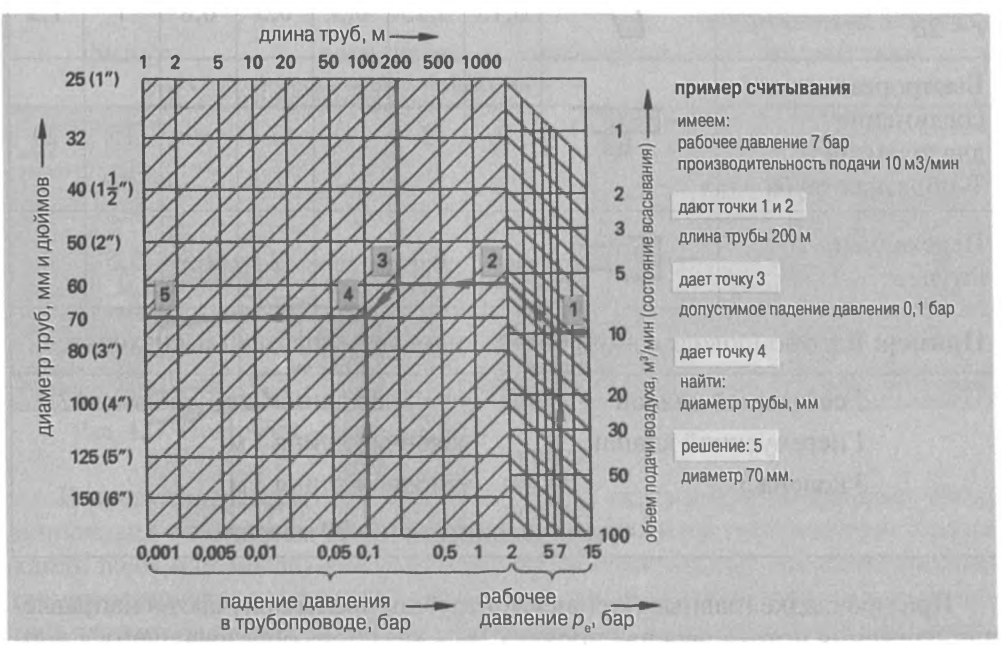


Рис. 131. Номограмма для определения размеров трубопроводов сжатого воздуха

Таблица 12. Условная длина труб для сопротивлений потоку при рабочем давлении $p_c = 7$ бар

Арматура		Условная длина, м Внутренний диаметр труб, мм						
		25	40	50	80	100	125	150
Клапан с седельным затвором		6	10	15	25	30	50	60
Обтекаемый клапан		3	5	7	10	15	20	25
Перепускной клапан		0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5
Колено трубы 1		1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
Колено трубы 2		1	2	2,5	4	6	7,5	10
Колено трубы 3, $r = d$		0,3	0,5	0,6	1	1,5	2	2,5
Колено трубы 4, $r = 2d$		0,15	0,25	0,3	0,5	0,8	1	1,5
Быстроразъемное соединение для шлангов, Т-образная труба		2	3	4	7	10	15	20
Переходный штуцер		0,5	0,7	1	2	2,5	3,5	4

Пример: В трубопроводе с внутренним диаметром трубы 80 мм находятся:

1 седельный клапан	условная длина 25 м (таблица 12)
1 перепускной клапан	условная длина 1 м
3 колена 3	условная длина 3 м
сумма условных длин 29 метров	

При прокладке главные (кольцевые) трубопроводы получают в направлении движения потока перепад порядка 1% - для сбора образовавшегося конденсата в самом глубоком месте с целью его последующего отвода (рис. 132).

С учетом выделения конденсата отводы от питающих трубопроводов следует выполнять с верхней стороны, а отводы для спуска конденсата — с нижней стороны труб.

Негерметичные места трубопроводной сети сжатого воздуха способны вызвать большие потери энергии. Необходимо поэтому регулярно проверять трубопроводную сеть на герметичность.

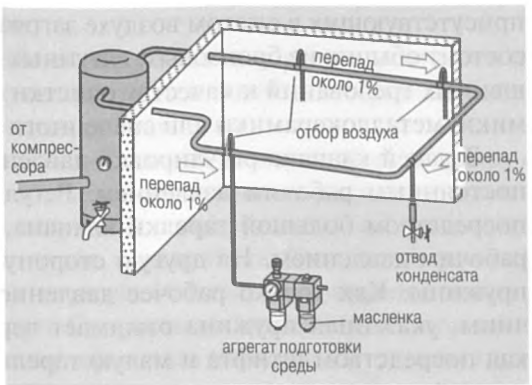


Рис. 132. Прокладка трубопроводов

2.3.3.3. Подготовка сжатого воздуха

Частицы ржавчины, захватываемые потоком при прохождении через трубопроводную сеть, могут стать причиной сбоев в работе управляющей аппаратуры, поэтому такие примеси следует обязательно отфильтровывать из сжатого воздуха. Кроме того, приходится постоянно держать под контролем рабочее давление, доводя его до уровня, требуемого тем или иным потребителем, и — при необходимости — насыщать сжатый воздух масляным туманом с целью смазки соответствующих конструкционных элементов.

Агрегат подготовки сжатого воздуха состоит обычно из специально разработанного для этой цели фильтра, регулятора давления и масленки для смазки масляным туманом (рис. 133).

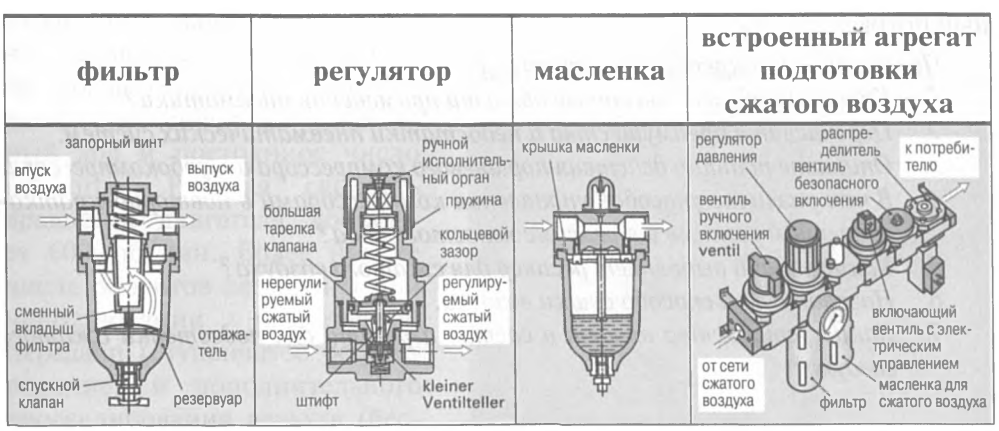


Рис. 133. Подготовка сжатого воздуха

В предусмотренный для очистки фильтр сжатый воздух попадает сбоку и проходит с заметным завихрением. Грубые примеси (частички ржавчины, капли воды или масла) под действием центробежных сил отбрасываются на стенку резервуара и отражательную плиту, после чего выводятся через спускной клапан, расположенный на дне резервуара. В сменном вкладыше фильтра остается определенный объем (в зависимости от размера пор фильтра)

присутствующих в сжатом воздухе загрязнений. Заменяемый корпус фильтра состоит обычно из бронзовых, латунных или стальных сеток, а в случае повышенных требований к качеству очистки эти элементы выполняются из керамики, металлокерамики или спеченного пластика.

Задачей клапана регулировки давления является снабжение потребителя постоянным рабочим давлением. Регулирование при этом осуществляется посредством большой тарелки клапана, одна сторона которой нагружается рабочим давлением. На другую сторону воздействует регулируемое усилие пружины. Как только рабочее давление падает ниже установленной величины, указанная пружина отжимает верхнюю тарелку клапана вниз, опуская посредством штифта и малую тарелку. Через открытый кольцевой зазор сжатый воздух проникает внутрь до тех пор, пока вновь не будст достигнуто требуемое рабочее давление. Смонтированный агрегат подготовки сжатого воздуха можно с помощью ручного клапана отсоединить от сети сжатого воздуха. Предохранительный клапан на стороне включения после исчезновения энергии обеспечивает медленную продувку пневматической системы — во избежание резкого повышения давления.

Масленки предназначены для снабжения сжатого воздуха подходящим смазочным материалом. Они действуют по принципу Вентури, то есть в результате уменьшения поперечного сечения трубопровода скорость воздушного потока в узком месте возрастает, причем в самом потоке имеет место давление ниже номинального. Этот эффект используется для того, чтобы масло из бака могло подсасываться в восходящую трубу, откуда оно, распыляясь, по каплям попадает в поток воздуха. Благодаря дросселю в дозирующем устройстве удается регулировать объем масляного тумана, проникающего в воздушный поток.

Повторение и закрепление материала

1. *Каковы наиболее известные области применения пневматики?*
2. *Перечислите преимущества и недостатки пневматических систем.*
3. *Опишите принцип действия поршневого компрессора и турбокомпрессора.*
4. *В чем различие способов управления компрессорами в повторно-кратковременном режиме и в режиме холостого хода?*
5. *Какие задачи выполняет ресивер для сжатого воздуха?*
6. *Назовите три способа сушки воздуха.*
7. *Какие устройства входят в состав агрегата для подготовки сжатого воздуха?*

2.3.4. Приводные элементы

Пневматические приводные элементы преобразуют пневматическую энергию (энергию давления) в механическую энергию (энергию движения). Известны приводы вращательного действия без ограничения диапазона изменения угла поворота (пневмодвигатели) и с ограниченным диапазоном угла поворота (поворотные двигатели, вращающиеся цилиндры), а также приводы прямолинейного действия (пневмоцилиндры). Стандартизованные условные обозначения пневматических приводных элементов см. дальше в таблице 13.

2.3.4.1. Пневматические двигатели

Пневмодвигатели, отличающиеся небольшим весом на единицу мощности и удобством в обслуживании, широко используются в качестве приводов для самых разных инструментов и подъемных механизмов.

Мощность, число оборотов и вращающий момент бесступенчато регулируются путем понижения рабочего давления и дросселирования расхода воздуха.

Двигатели такого рода обладают надежной конструкцией, высоким пусковым моментом, защищены от перегрузок, взрывобезопасны, легко ремонтируются и требуют лишь минимального ухода. Изменение направления вращения осуществляется просто и быстро. Скорость же вращения значительно зависит от нагрузки. Наибольшей популярностью пользуются поршневые, дисковые и турбинные двигатели.

Поршневые двигатели выполнены в виде аксиально-поршневых или радиально-поршневых приводных механизмов. Широко применяемые ранее для приведения в действие инструментов разного рода поршневые двигатели в последнее время все больше вытесняются здесь роторным двигателем. Но они пока еще не теряют своего значения в качестве приводов для подъемных механизмов, лебедок и крановых установок.

Аксиально-поршневой двигатель имеет 4 или 5 размещенных в осевом направлении цилиндров, которые посредством вращающегося наклонного диска преобразуют прямолинейные движения поршня в требуемое движение вращения (рис. 134). Направление движения при этом может меняться путем реверса. Золотник следит за тем, чтобы под давлением всегда находились два поршня, и тогда уравновешенный маховой момент обеспечивает спокойный ход и постоянное число оборотов. Рабочая скорость вращения двигателя достигает 6000 об/мин. Более низкие числа оборотов возможны при использовании планетарной передачи (ступенчатое регулирование) и дополнительного дросселирования воздуха (бесступенчатое регулирование).

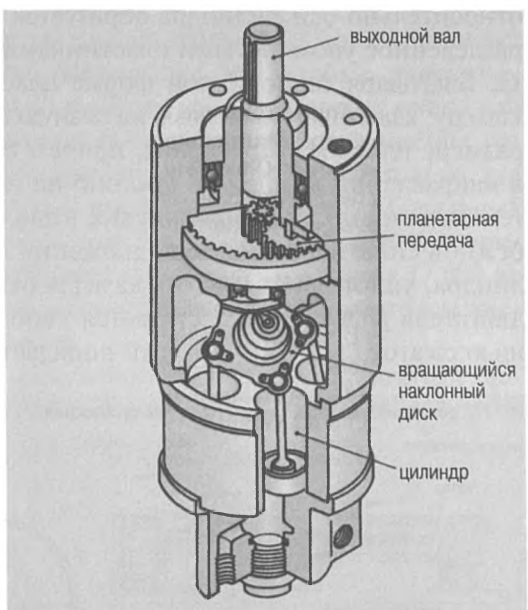


Рис. 134. Аксиально-поршневой двигатель

У радиально-поршневого двигателя от 4 до 6 звездообразно расположенных цилиндров через систему шатунов приводят в движение коленчатый вал (рис. 135). Золотник при этом вращается вместе с коленчатым валом, распределяя в нужной последовательности сжатый воздух, так что рабочий ход всегда выполняется двумя поршнями. Радиально-поршневые двигатели показывают

не столь быстрое вращение, как аксиально-поршневые, но способны обеспечить более высокие мощности (до 10 кВт). Правда, работают они очень шумно. В последние годы их применяют все реже.

Роторный двигатель используется преимущественно для привода самых разных металлообрабатывающих инструментов — сверл, метчиков, винтовертов и шлифовальных машинок. В автоматических сверлильных и резьбонарезных силовых головках он создает движение вращения, в то время как, например, пневмогидравлический унифицированный механизм подачи выполняет линейное движение подачи.

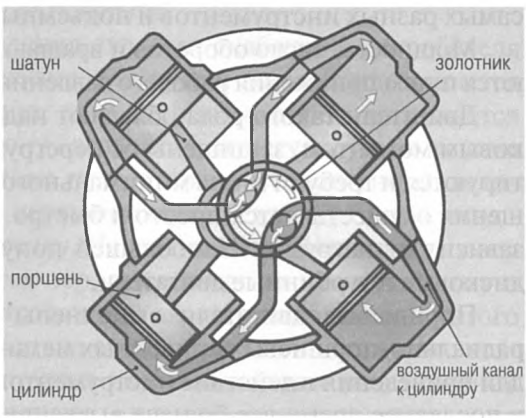


Рис. 135. Радиально-поршневой двигатель

Роторный двигатель состоит из цилиндра, ротора и двух крышек ротора (рис. 136). Ротор имеет радиальные продольные пазы для приема пластмассовых пластинок. Благодаря эксцентрическому расположению ротора относительно оси цилиндра образуется серповидное рабочее пространство, разделенное упомянутыми пластинками на несколько камер сжатого воздуха. Благодаря серповидной форме пластинки, ограничивающие напорную камеру, вдавливаются в пазы на разную глубину. Так образуются и разные по размеру плоскости пластины, причем самая большая из них располагается в направлении вращения. Именно на ней давление создает окружное (тангенциальное) усилие, приводящее в движение ротор. Под действием центробежной силы пластинки при движении вращения притираются к стенке цилиндра, уплотняя отдельные камеры относительно друг друга. При запуске двигателя уплотнение достигается либо посредством пружин, либо с помощью сжатого воздуха, который попадает под пластины в пазах ротора через

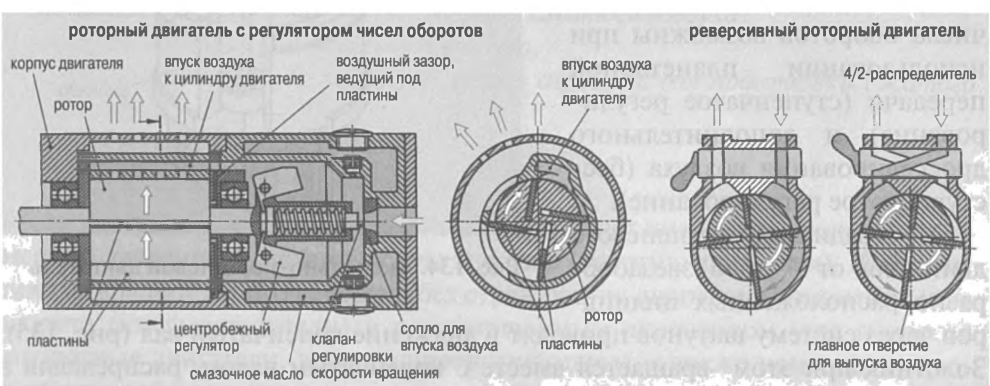


Рис. 136. Роторные пневмодвигатели

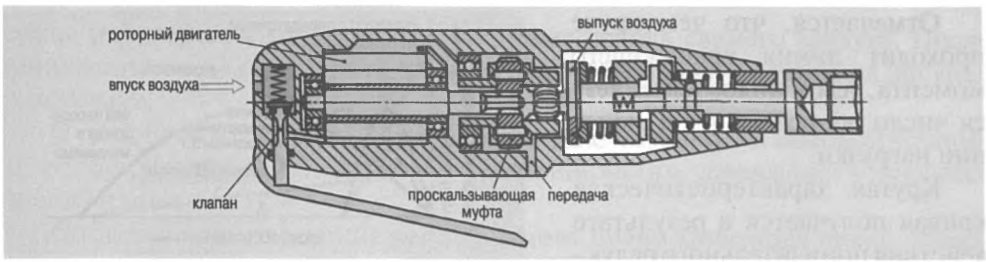


Рис. 137. Пневматический винтоверт с роторным двигателем

прорези в крышке. Роторные двигатели для обоих направлений вращения реверсируются посредством четырехходового двухпозиционного клапана (4/2-распределителя).

В пневматических винтовертах с роторным двигателем реверсирование осуществляется с помощью двухходового двухпозиционного (2/2)-распределителя (рис. 137). Для понижения числа оборотов служит планетарная передача. Проскальзывающая муфта ограничивает момент вращения. Для переключения предусмотрена кулачковая муфта.

Роторные двигатели достигают скорости вращения 30 000 об/мин с возможностью понижения числа оборотов посредством планетарной передачи. Центробежный регулятор, закрывающий отверстие для впуска воздуха, может ограничивать достигаемое число оборотов.

В турбинном двигателе сжатый воздух через воздушные сопла приводит в движение колесо турбины. Имеются радиальные, аксиальные, тангенциальные и активные (свободноструйные) турбины. По причине их очень малого веса на единицу мощности и весьма высокой скорости вращения (от 350 000 до 450 000 об/мин) турбинные двигатели используются только для привода специальных высокоскоростных инструментов. В шлифовальных машинках (предназначенных, например, для заточки инструментов) с приводом от роторного двигателя достигаются скорости вращения от 17 000 до 30 000 об/мин, а при оснащении таких машинок турбинным двигателем число оборотов возрастает до 75 000 в минуту.

Механическая характеристика нерегулируемого пневмодвигателя демонстрирует почти линейное прохождение (рис. 138). При числе оборотов холостого хода n_L мощность равна нулю, а расход воздуха достигает своего максимума. Момент трогания из-за меняющегося уплотнения и смазки находится в диапазоне от M_{min} до M_{max}. Изменение момента (изменение нагрузки) вызывает пропорциональное изменение числа оборотов (зависимость движения вращения от нагрузки).

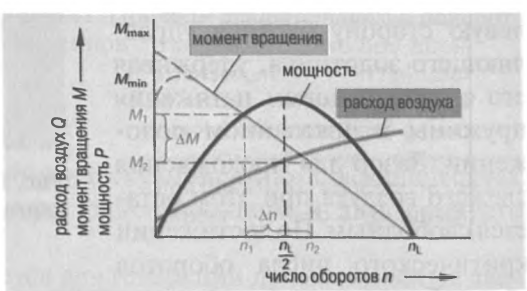


Рис. 138. Характеристика нерегулируемого пневмодвигателя

Отмечается, что чем круче проходит линия вращающего момента, тем меньше изменяется число оборотов при изменении нагрузки.

Крутая характеристическая кривая получается в результате действия понизительного редуктора, подключенного к двигателю, например при передаточном отношении 9:1 (рис. 139). Максимальная мощность остается поэтому примерно одинаковой, а область чисел оборотов становится, естественно, меньше.

Рис. 139. Изменение характеристики в результате действия редуктора

Для получения крутой характеристики и незначительного изменения числа оборотов при одновременно большом диапазоне вращения эти двигатели могут быть оснащены регуляторами чисел оборотов.

Чаще всего здесь находят применение центробежные регуляторы, дифференциальные регуляторы давления и комбинированные центробежно-дифференциальные регуляторы.

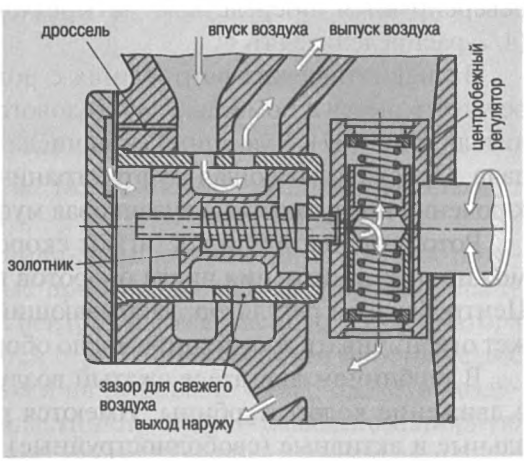


Рис. 140. Центробежно-дифференциальный регулятор давления

У комбинированного регулятора сжатый воздух проходит от впускного отверстия через выпускное отверстие в сторону двигателя (рис. 140). Часть воздуха через дроссель попадает на левую сторону буртика управляющего золотника, удерживая его с преодолением натяжения пружины в показанном положении. Зазор для прохождения свежего воздуха при этом остается свободным. По достижении критического числа оборотов центробежные силы регулятора смещаются наружу, освобождая центральный зазор, через который теперь возможен выпуск воздуха от левой стороны буртика управляющего золотника. Последний отжимается пружиной влево,

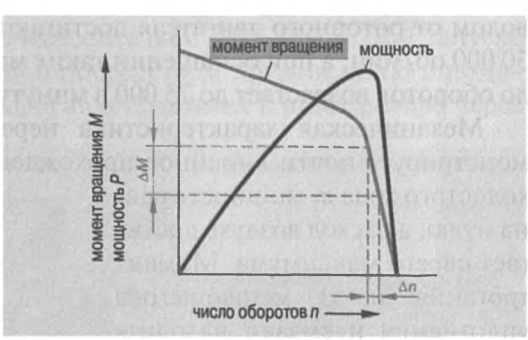


Рис. 141. Характеристика регулируемого двигателя

сужая или перекрывая поперечное сечение потока свежего воздуха. После понижения числа оборотов вновь восстанавливается показанное на рисунке положение.

С помощью электронных регуляторов удается добиться высокой точности регулирования с возможностью дистанционного управления в процессе эксплуатации.

Согласно характеристике регулируемого пневмодвигателя число оборотов холостого хода приближается к числу оборотов при максимальной мощности (рис. 141). Кривая вращающего момента проходит там с крутым подъемом, обеспечивая большой цикл нагрузки при незначительном изменении скорости вращения, то есть движение вращения в этом диапазоне мало зависит от мощности.

2.3.4.2. Приводы вращательного и поворотного типа

У приводов вращательного типа линейное движение поршня через зубчатую передачу с компенсацией зазора преобразуется в движение вращения (рис. 142 вверху). При этом пневматическим способом параллельно друг другу приводятся в действие две зубчатые рейки, которые посредством шлицевого вала преобразуют линейное движение в движение вращения. Угол вращения может составлять здесь до 360° У приводов поворотного типа усилие через поворотную лопасть передается непосредственно на приводной вал (рис. 142 внизу). Угол поворота может бесступенчато устанавливаться в диапазоне примерно до 270° Под действием выступающего элемента свободного хода колебательное движение поворота может быть преобразовано в равномерное ступенчатое движение вращения.

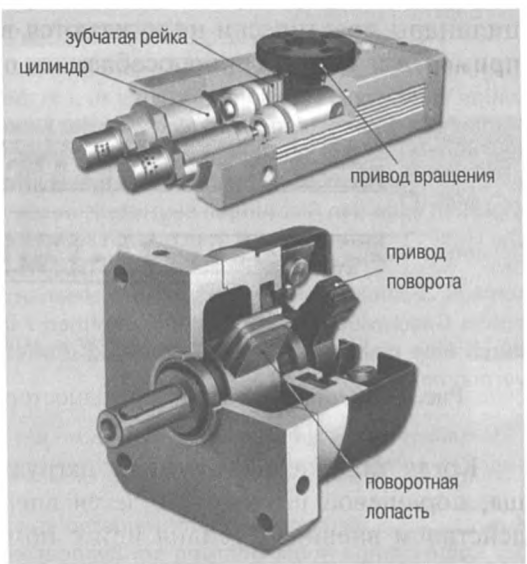


Рис. 142. Приводы вращательного и поворотного типов

2.3.4.3. Пневматические цилиндры

Пневмоцилиндры преобразуют пневматическую энергию в механическую. Их обычно подразделяют на цилиндры одностороннего и двустороннего действия.

Механическая энергия используется для генерации прямолинейных движений — при перемещении, подъеме или подаче заготовок и инструментов (в случае цилиндров движения) или при создании зажимных и толкающих усилий (в случае фиксирующих или выбрасывающих цилиндров).

Цилиндры одностороннего действия

Цилиндры одностороннего действия бывают в мембранном или поршневом исполнениях (рис. 143 и 144). Поскольку только одна сторона поршня или мембраны нагружается сжатым воздухом, они могут действовать лишь в одном направлении и используются, например, для операций зажима, подачи, выталкивания или осаживания.

У мембранного цилиндра силы сжатия деформируют мембрану (рис. 143), причем путь деформации как раз составляет длину хода поршневого штока. Движение возврата в исходное положение осуществляется за счет освобождения мембраны — посредством внешних усилий либо с помощью возвратной пружины. Длина хода достигает 40 мм или — в случае роликовой мембраны — примерно 80 мм. Мембранные цилиндры практически не нуждаются в уходе и широко используются, например, в зажимных приспособлениях при чеканке или клепке.

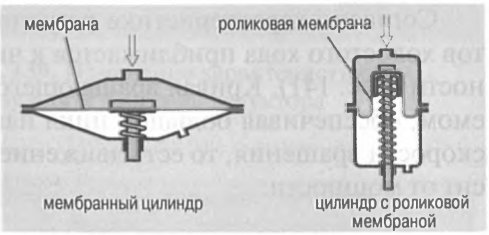


Рис. 143. Мембранный цилиндр

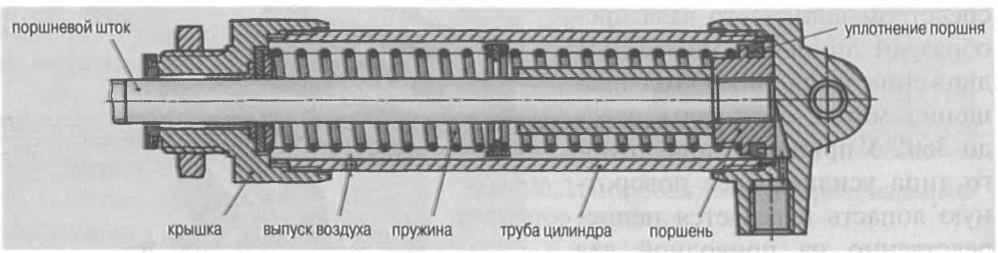


Рис. 144. Поршневой цилиндр одностороннего действия

Когда поршневой цилиндр нагружается давлением со стороны днища, поршневой шток выдвигается вперед. Возврат поршня возможен под действием внешнего усилия или с помощью возвратной пружины. Длина хода определяется наружным упором, длиной трубы цилиндра или распорными втулками. Конструктивная длина возвратной пружины ограничивает длину хода примерно до уровня 100 мм.

Стабильное возвратное усилие получают при подаче пониженного давления, например $p_e = 0{,}5$ бар, на цилиндр двустороннего действия со стороны поршневого штока (рис. 145). Регулятор давления,

Рис. 145. Отвод поршневого штока в результате пониженного противодавления

встроенный между цилиндром и источником давления, заботится о постоянном давлении возврата в исходное положение.

Цилиндр двустороннего действия

У цилиндра двустороннего действия давлением попеременно нагружаются обе стороны поршня (рис. 146). Следовательно, рабочий ход возможен в обоих направлениях.

В отличие от цилиндров одностороннего действия, цилиндры двустороннего действия показывают ряд преимуществ: здесь достаточно длины хода до 2 метров, передний ход поршневого штока не зависит от действия пружины, а возврат осуществляется быстро и равномерно. Кроме того, можно регулировать скорости движения поршня в обоих направлениях. Ограничение длины хода достигается в большинстве случаев за счет упора поршня в цилиндре. Повреждения от твердых упоров, возможные при торможении больших масс, движущихся с большой скоростью, удается минимизировать, например, путем нерегулируемого успокоения (рис. 147).

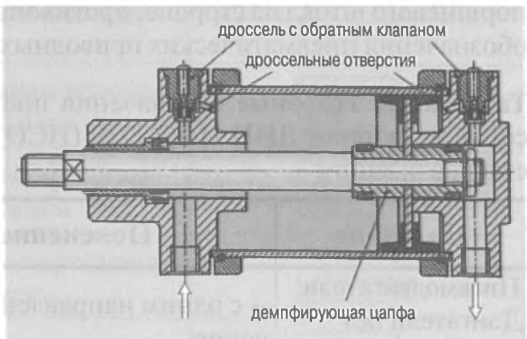


Рис. 146. Цилиндр двустороннего действия с двойным регулируемым успокоением

Регулируемые успокоители обеспечивают плавный подвод к конечному положению.

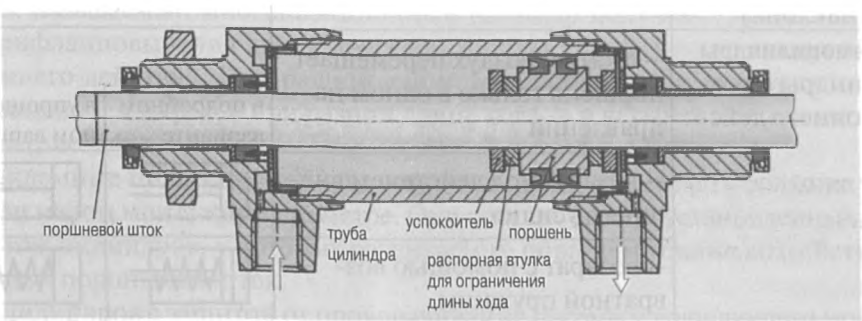


Рис. 147. Цилиндр с двусторонним поршневым штоком и нерегулируемым успокоением

Незадолго до достижения конца хода демпфирующая цапфа на поршневом штоке «ныряет» в отверстие, предусмотренное в днище (или соответственно в крышке) цилиндра, препятствуя тем самым быстрому вытеканию остаточного объема воздуха из кольцевого пространства между поршнем и днищем (рис. 146). Этот воздух сжимается поршнем и затормаживает его незадолго до конца хода. Чтобы достичь конечного положения, воздушная подушка медленно сдувается через дроссельное отверстие и обратный клапан дросселя.

Для трогания в обратном направлении сжатый воздух получает свободный выход через обратный клапан дросселя, в результате чего поверхность поршня сразу же оказывается под давлением.

Цилиндры с двусторонним поршневым штоком благодаря его двойной опоре способны воспринимать большие поперечные усилия. При недостатке места или опасности загрязнения могут срабатывать сигнальные элементы поршневого штока на стороне, противоположной рабочей стороне. Условные обозначения пневматических приводных элементов см. в таблице 13.

Таблица 13. Условные обозначения пневматических приводных элементов согласно нормам ДИН ИСО 1219 (ИСО — Международная организация по стандартизации)

Название	Пояснение	Условное обозначение	
Пневмодвигатели Двигатели без ограничения диапазона изменения угла наклона	– с одним направлением течения		
	– с двумя направлениями течения		
Поворотные двигатели (двигатели с ограниченным диапазоном изменения угла наклона)	– например поворотный цилиндр		
Пневмоцилиндры Цилиндры одностороннего действия	– сжатый воздух перемещает поршень только в одном направлении	в подробном варианте	в упрощенном варианте
	– возврат под действием внешнего усилия		
	– возврат с помощью возвратной пружины		
Цилиндры двустороннего действия	– сжатый воздух перемещает поршень в обоих направлениях		
	– с односторонним поршневым штоком		
	– с двусторонним поршневым штоком		

Таблица 13. (окончание)

Название	Пояснение	Условное обозначение
Дифференциальные цилиндры	В результате усиленного поршневого штока снижается расход воздуха при втягивании поршня	
Цилиндры с успокоением	– с нерегулируемым успокоением со стороны днища	
	– с двусторонним нерегулируемым успокоением	
	– с односторонним регулируемым успокоением	
	– с двусторонним регулируемым успокоением	
Преобразователь давления (мультипликатор)	Пневматическое давление *X* преобразуется в более высокое пневматическое давление *Y*	в подробном варианте; в упрощенном варианте

Специальные исполнения цилиндров

Так называемый многопозиционный цилиндр получают, например, путем прифланцовывания друг к другу со стороны днища двух цилиндров двустороннего действия. При равной длине хода обоих цилиндров пуск может осуществляться в трех, а при разной длине хода — в четырех постоянных позициях (рис. 148).

Тандемные цилиндры используют, когда требуется создать большие усилия при малом монтажном диаметре. Они состоят из двух установленных друг за другом цилиндров, у которых развиваемые поршнем усилия воздействуют на общий поршневой шток.

У цилиндров с защитой от проворачивания нагрузки вращающего момента могут восприниматься поршневым штоком. Благодаря плоской конструкции поршня удается добиться восприятия вращающих моментов почти до 2 Нм.

У цилиндра без поршневого штока (пневматические линейные приводы) труба имеет зазор по всей длине хода. Восприятие усилия осуществляется через специальную скобу, которая неподвижно соединена с поршнем и протянута сквозь прорезь в рубашке цилиндра (передача движения с геометрическим замыканием). Уплотнение вдоль паза достигается за счет тонкой стальной ленты, закрывающей внутреннюю сторону отверстия по всей его длине. Между поршневыми уплотнениями стальная лента отгибается и про-

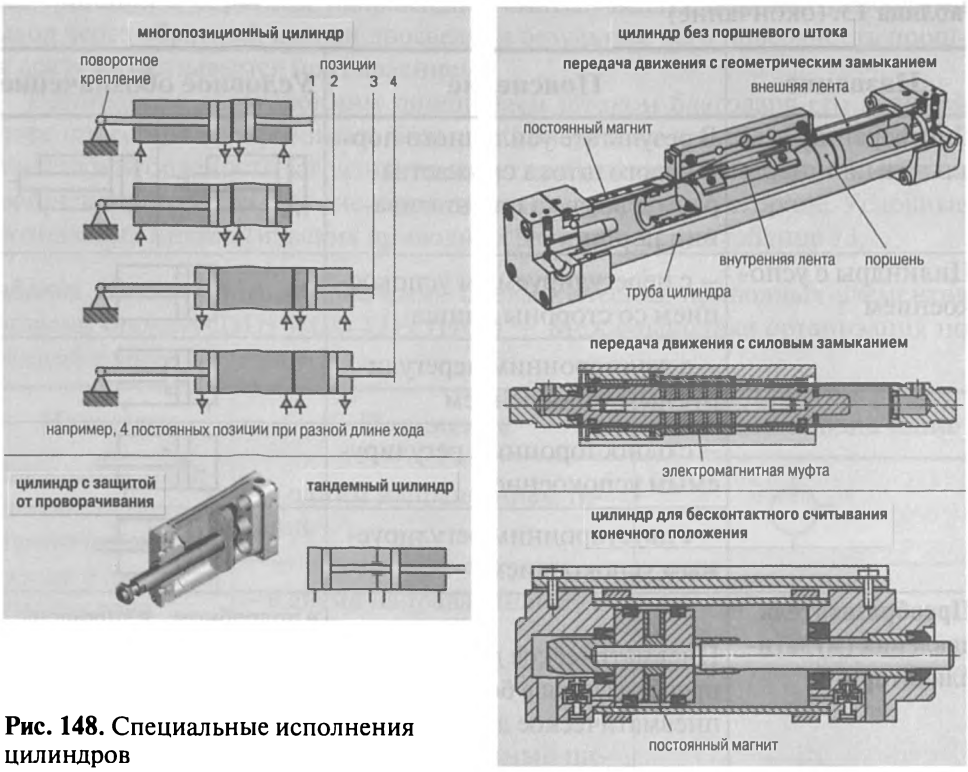


Рис. 148. Специальные исполнения цилиндров

тягивается под скобу. Проникновению грязи препятствует вторая стальная лента, закрывающая наружную сторону паза. Обе ленты удерживаются постоянными магнитами, расположенными вдоль паза. Такой цилиндр позволяет получить длину хода до 5 метров. Упомянутая поршневая скоба способна воспринимать высокие изгибающие моменты и поперечные усилия.

При других конструктивных исполнениях цилиндров без поршневого штока передача движения производится посредством электромагнитной муфты на подвижных внешних роторах (передача движения с силовым замыканием). Шток поршня при этом не выдвигается. Полость цилиндра герметично уплотнена относительно внешнего ротора, поскольку здесь нет никаких механических соединений.

У цилиндров для бесконтактного считывания конечного положения на поршне цилиндра находится, например, постоянный магнит, электромагнитное поле которого вызывает срабатывание конечного выключателя приближения. Может быть установлен, например, герметизированный контакт, замыкающийся при приближении магнитов и подающий электрический коммутационный сигнал.

2.3.4.4. Характеристические показатели цилиндров

Цилиндры характеризуются следующими показателями: своими конструктивными особенностями, способом крепления, соединительной резьбой, размерными параметрами (диаметр, длина хода) и расходом воздуха

(см. табл. 15). Конструкция или соответственно конструктивное исполнение определяются в зависимости от назначения цилиндра и места его эксплуатации.

Способ крепления цилиндра зависит от его функции и имеющихся возможностей его навешивания на приспособления и машины. Цилиндр может быть выполнен с расчетом только на один способ крепления либо сконструирован по агрегатному принципу с возможностью размещения разных крепежных элементов, например жестких креплений типа фланцев, опорных плит и боковых уголков или поворотных креплений в виде шатунов для фиксации на днище, а также штоков или шарниров центральной цапфы (рис. 149).

При поворотных креплениях и большой длине хода существует серьезная опасность продольного изгиба поршневого штока при нагрузке давлением. В таких случаях определяется допустимая нагрузка на продольный изгиб и при необходимости соответствующим образом усиливается диаметр поршневого штока.

Выбор соединительной резьбы для крепления цилиндра зависит от желаемой скорости движения поршня. Многие цилиндры снабжаются соединениями двух разных размеров, что позволяет увеличить диапазон достигаемой скорости.

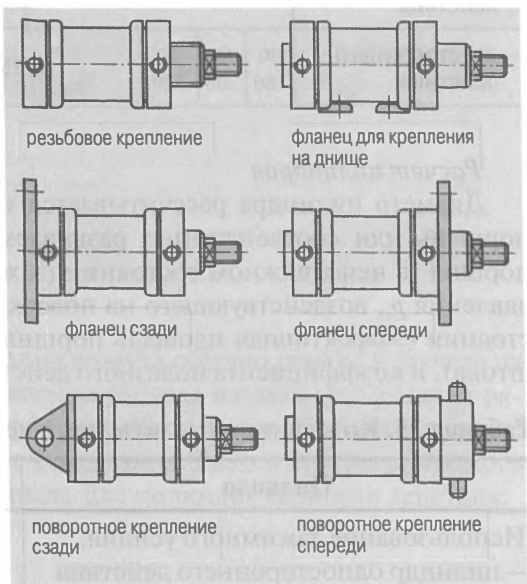


Рис. 149. Способы крепления цилиндров

Таблица 14. Характеристические показатели цилиндров

Диаметр цилиндра, мм	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
Диаметр поршневого штока, мм	6	8	8	10	12	16	20	20	25	25	32	40	40
Соединительная резьба	M5	M5	G1/8	G1/8	G1/8	G1/4	G1/4	G3/8	G3/8	G1/2	G1/2	G3/4	G3/4
Сила сжатия, *H*, при p_e = 6 бар у цилиндров													
– одностороннего действия	50	96	151	241	375	644	968	1560	2530	4010	–	–	–
– двустороннего действия	58	106	164	259	422	665	1040	1650	2660	4150	6480	10600	16600

Таблица 14. (окончание)

Сила растяжения, H, при p_e= 6 бар у цилиндров двустороннего действия	54	79	137	216	364	560	870	1480	2400	3890	6060	9960	15900
Длина хода, мм у цилиндров – одностороннего действия	10, 25, 50					25, 50,80, 100					—		
– двустороннего действия	до 160	до 200	до 320	10, 25, 50, 80, 100, 160, 200, 250,320, 400, 500									

Расчет цилиндров

Диаметр цилиндра рассчитывается на основе усилия, оказываемого на поршень или соответственно развиваемого поршнем. Это усилие F для поршня в неподвижном состоянии (зажимное усилие) зависит от рабочего давления p_e, воздействующего на поверхность А поршня в нагруженном состоянии (эффективная площадь поршня, или площадь поршня со стороны штока), и коэффициента полезного действия η (таблица 15).

Таблица 15. Коэффициенты полезного действия

Цилиндр	Коэффициент полезного действия
Использование зажимного усилия: – цилиндр одностороннего действия – цилиндр двустороннего действия	 0,8 0,9
Использование усилия смещения: – цилиндр двустороннего действия	 0,5 ... 0,6

У цилиндра одностороннего действия с возвратной пружиной сила натяжения пружины уменьшает зажимное усилие на 10%. Еще 10% потерь возникают в результате трения. У цилиндра двойного действия КПД определяется исключительно потерями на трение (см. табл. 15).

При использовании усилия смещения подвижного поршня у цилиндра двойного действия расчеты должны производиться с коэффициентом полезного действия, учитывающим следующие факторы:

- дросселирование рабочего давления в трубопроводах и поперечных сечениях клапанов и самого цилиндра,
  неравномерное снижение давления отходящего воздуха,
  трение поршня о стенки цилиндра и поршневого штока в направляющих и
  разные сопротивления трению элементов, приводимых в движение цилиндром.

Расчет диаметра цилиндра

Задача:

Цилиндр одностороннего действия при давлении p_e = 6 бар должен развить эффективное зажимное усилие F= 1600 Н. Какой диаметр должен иметь этот цилиндр, если необходимо учесть общие потери = 20% (η = 0,8). Выбор диаметра осуществляется по таблице 14.

Решение:

$$A = \frac{F}{p_e \cdot \eta}$$

$$A = \frac{1600 H \cdot м^2}{6 \cdot 10^5 H \cdot 0{,}8} = \frac{1600 H \cdot 10^6 м^2}{6 \cdot 10^5 H \cdot 0{,}8} = 3333 мм^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3333\, мм^2}{\pi}} = \mathbf{65\ мм}$$

выбрано: **d = 80 мм**

Расчет расхода воздуха

Поскольку данные касательно объема воздуха обычно даются в расчете на атмосферное давление, то при определении расхода воздуха вычисляется рабочий объем и затем по закону Бойля-Мариотта $p_1 \ V_1 = p_2 \ V_2$ (при T = const) осуществляется пересчет на состояние всасывания. Расход воздуха для одного рабочего цикла (n = 1/мин) составит тогда для цилиндра двойного действия:

$$Q_{Hub} = \frac{2 \cdot A \cdot s \cdot p_{abs} \cdot n}{p_{amb}}, \text{ где:}$$

Q_{Hub} – рабочий объем, A — площадь поршня, s – длина хода, p_{abs} — рабочее давление,

p_{amb} — атмосферное давление, n — число циклов переключений/мин.

В случае цилиндра одностороннего действия достаточно отбросить коэффициент 2.

Задача:

Цилиндр двойного действия (d = 40 мм, s = 80 мм) функционирует с рабочим давлением p_e = 6 бар (p_{abs} = 7 бар). Число переключений n составляет 50 в минуту. Каков расход воздуха для данной длины хода в л/мин?

Решение:

$$Q_{Hub} = \frac{2 \cdot d^2 \cdot \pi \cdot s \cdot p_{abs} \cdot n}{4 \cdot p_{amb}}$$

$$= \frac{2 \cdot 0{,}40^2 \cdot 4 дм^2 \cdot \pi \cdot 0{,}84 м \cdot 7 бар \cdot 50}{4 \cdot 1 бар \cdot мин}$$

$$= \mathbf{70{,}37\ л/мин.}$$

Если к Q_{Hub} причислить потери порядка 20%, получим примерный общий расход воздуха Q_{ges} — без учета потерь в трубопроводах и мертвых пространствах цилиндра, потерь от утечек и потерь в штоковой полости цилиндра.

Повторение и закрепление материала

1. *Какие группы пневматических приводных элементов существуют?*
2. *Перечислите особые свойства пневматических двигателей.*
3. *Назовите два конструктивных исполнения цилиндров без поршневого штока.*
4. *Для чего служит регулируемое успокоение в цилиндре двойного действия?*
5. *Приведите три примера использования цилиндров с двусторонним поршневым штоком.*
6. *Какие преимущества дает тандемное исполнение цилиндров?*
7. *Как действуют многопозиционные цилиндры?*
8. *Какими характеристическими показателями определяется пневмоцилиндр?*
9. *От каких параметров зависит скорость движения поршня пневмоцилиндра?*
10. *Как вычислить примерный общий расход воздуха пневмоцилиндром?*

2.3.5. Вентили и основные системы управления

Вентили могут управлять процессами пуска, останова и изменения направления, а также регулировать давление и расход рабочей среды.

2.3.5.1. Графическое изображение вентилей

Вентили с несколькими четко установленными позициями могут находиться в рабочем или нерабочем состояниях, то есть быть активизированы и не активизированы. Эти коммутационные положения отображаются в виде следующих друг за другом блоков (полей), причем число таких полей равно количеству возможных позиций переключения (см. табл. 16).

Таблица 16. Условные графические обозначения вентилей

Вентили с установленными позициями переключения		
число полей = число позиций a | b — 2 позиции a | 0 | b — 3 позиции		
гидравлический трубопровод	стрелки в трубопроводе выпускные отверстия (слив содержимого бака, выпуск воздуха)	пневматический трубопровод

Таблица 16. (окончание)

вентиль с двумя линиями (ходами) и двумя позициями a — позиция, b — исходное положение	4/3-распределитель запирание соединение трубопроводов
положение подключенных линий	2/2-распределитель a — расход (рабочая позиция), b — запирание (исходное положение)
Схема трехпозиционного распределителя	
исходное положение 0 предполагаемая рабочая позиция «b» предполагаемая рабочая позиция «a»	
Вентили без установленных позиций переключения	
исходное положение предполагаемая рабочая позиция	

Исходным положением называется состояние, в котором вентиль в системе управления находится после включения давления в пневмосети и из которого начинается собственно выполнение предусмотренной программы переключений.

В состоянии покоя, или в нулевом положении, вентили с пружинным возвратом находятся, пока они вообще не активизированы, то есть еще до того, как они занимают свое исходное положение. В схемах переключений линии подводятся к полю исходного положения или полю состояния покоя.

О состоянии расхода говорят, когда рабочая среда проходит через вентиль в направлении подключенного потребителя (см. табл. 16).

Положение запирания есть такое состояние, при котором протекание рабочей среды полностью блокировано.

Позиции переключения, представленные в виде полей, обычно обозначаются буквами «a», «b» и «o». Внутри самих полей трубопроводы показаны проведенными линиями, а направление протекания среды обозначено стрелкой. Запертые состояния отмечены вертикальными черточками на трубопроводах. Места соединений трубопроводов выделены жирными точками.

Присоединения в какой-то одной позиции должны устанавливаться точно в тех самых местах, что и в других позициях. При включении только одного вентиля надо мысленно перемещать блок полей в горизонтальном направлении до тех пор, пока соответствующие трубопроводы не совпадут с присоединениями поля, позиция которого будет занята при срабатывании. Тогда по линиям внутри этого поля можно определить функцию данной предполагаемой позиции переключения (см. табл. 16).

Вентили без установленных позиций переключения занимают в процессе работы промежуточные положения между двумя конечными положениями. Такие вентили отображаются посредством только одного поля. В случае изменения позиции надо при неподвижных трубопроводах мысленно сдвинуть это поле настолько, чтобы вентиль оказался включенным, например, на протекание (см. табл. 16).

В последнее время присоединения к аппаратам все чаще обозначаются цифрами, ранее использовались и буквенные обозначения (см. табл. 17). Присоединению напорной линии присвоен номер 1. Присоединения рабочих линий получают четные числа 2, 4 или 6, линии для выпуска воздуха — нечетные 3, 5 или 7. Присоединения линии управления отмечаются двухразрядным числом, например 12 или 14 у распределителей, если при активизации срабатывания линия 1 соединяется с линиями 2 или 4. Цифрами 10 и 11 отмечаются присоединения напорной линии, например у регулятора двойного давления.

Вентили могут приводиться в действие с приложением мускульной силы, под влиянием механической, электрической энергии, энергии давления или же имеют комбинированную систему управления.

Таблица 17. Присоединения для пневматических и гидравлических устройств

Присоединяемая линия	Новое цифровое обозначение	Старое буквенное обозначение
Питающая, напорная линия	1	P
Рабочая (основная) линия	2, 4, 6	A, B, C
Слив, выпуск воздуха	3, 5, 7	R, S, T
Линия управления	10, 11, 12, 14	X, Y, Z

Способы управления вентилями стандартизованы и обозначаются за пределами символа вентиля (поля) под прямым углом к обозначению присоединения к данному полю (см. табл. 18).

Таблица 18. Способы управления пневматическими и гидравлическими устройствами согласно нормам ДИН ИСО 1219

Управление вручную		Механические способы управления	
общий вариант	с кнопкой	с толкателем или тумблером	с пружиной
с рычагом	с педалью	с контактным роликом	с контактным роликом при возврате на холостом ходу
паз фиксатора — для сохранения определенной позиции			

Электрические способы управления		
с электромагнитом с 1 обмоткой	с электромагнитом с 2 встречными обмотками	с электродвигателем

Управление с помощью давления	
управление прямого действия гидравлическим способом / пневматическим способом	уравление прямого действия гидравлическим способом / пневматическим способом
путем подачи давления	путем нагружения давлением главного вентиля через клапан предварительного управления
путем снятия давления	путем разгрузки от давления главного вентиля через пилотный клапан

Комбинированные способы управления	
гидравлическим способом / пневматическим способом	гидравлическое центрирование
с помощью электромагнита и пилотного клапана	пружинное центрирование
с помощью электромагнита или пилотного клапана	
электроуправление или ручное управление с пружинным возвратом	

В соответствии с их функцией вентили классифицируются следующим образом: распределители, регуляторы потока, запорные клапаны, вентили давления и блокирующие клапаны.

2.3.5.2. Распределители

Распределители обеспечивают путь перемещения рабочей среды, а именно ее пуск, останов и направление протекания.

В принятом условном обозначении число управляемых присоединенных линий (путей перемещения, или ходов) ставится перед числом позиций: например распределитель с тремя управляемыми линиями (ходами) и двумя позициями будет обозначен как 3/2-распределитель, или «трехходовой (трехлинейный) двухпозиционный распределитель».

Несколько отверстий для отвода воздуха или соединенных друг с другом воздухоспускных линий у пневматических распределителей считаются за одно управляемое присоединение.

Классификация распределителей по их функции

Двухходовые (двухлинейные) двухпозиционные распределители (2/2-распределители) используются в качестве проходных, запорных клапанов и импульсных датчиков выпуска воздуха (рис. 150). Трехходовые (трехлинейные) двухпозиционные распределители (3/2-распределители) могут в одной позиции подавать воздух в свою рабочую линию, в другой позиции — осуществлять выпуск воздуха.

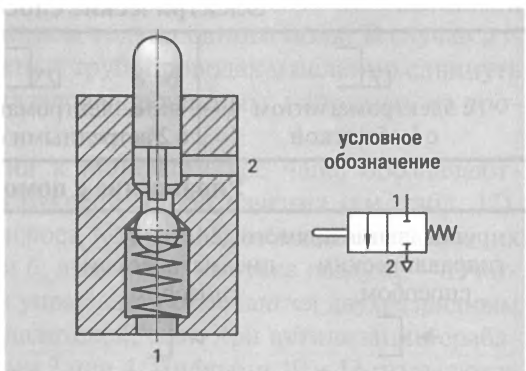


Рис. 150. Двухходовой (двухлинейный) двухпозиционный (2/2)-распределитель (с шариковым седлом)

Трехходовые (трехлинейные) двухпозиционные (3/2)-распределители широко используются для управления цилиндрами одностороннего действия (рис. 151). Находят они применение и в качестве импульсных датчиков.

Если период пребывания вентиля в состоянии покоя длиннее периода срабатывания, то используется 3/2-распределитель с запиранием в состоянии покоя. Если же период состояния покоя много короче периода срабатывания, то выбирают вентиль с расходом в состоянии покоя (рис. 151).

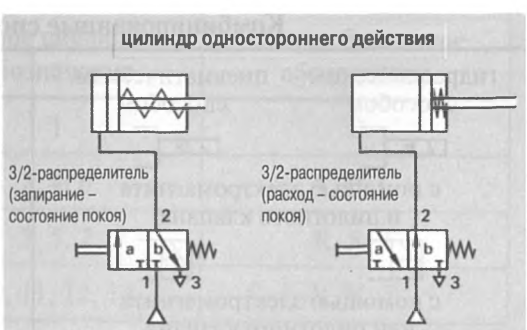


Рис. 151. Управление цилиндром одностороннего действия

Четырехлинейные двухпозиционные (4/2)- и пятилинейные двухпозиционные (5/2)- распределители находят применение при управлении цилиндрами двустороннего действия (рис. 152).

У 5/2-распределителя каждое из двух присоединений рабочей линии имеет собственное отверстие для выпуска воздуха.

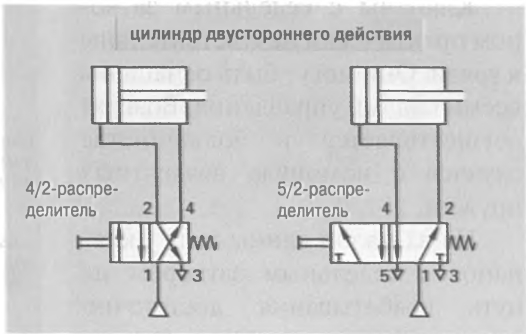


Рис. 152. Управление цилиндром двустороннего действия

С помощью четырехходовых (четырехлинейных) двухпозиционных (4/2)- и пятиходовых (пятилинейных) трехпозиционных (5/3)- распределителей цилиндры двойного действия могут удерживаться в пределах их диапазона длины хода под давлением или без давления (рис. 153). Тогда эти распределители занимают положение запирания в состоянии покоя (пневматическое блокирование) или плавающую позицию в состоянии покоя. В последнем случае цилиндр можно — например, при операциях по настройке — перемещать вручную.

Рис. 153. Трехпозиционные распределители

Классификация распределителей по их конструктивному исполнению

По конструктивному исполнению распределители делят на седельные и золотниковые. Седельные вентили имеют в качестве затвора шариковые, конические, плоские или тарельчатые седла. Вентиль с тарельчатым седлом, 3/2-распределитель, функционирует без каких-либо «пересечений», то есть во время переключения выпускное присоединение закрывается до того, как освобождается напорное присоединение (рис. 154).

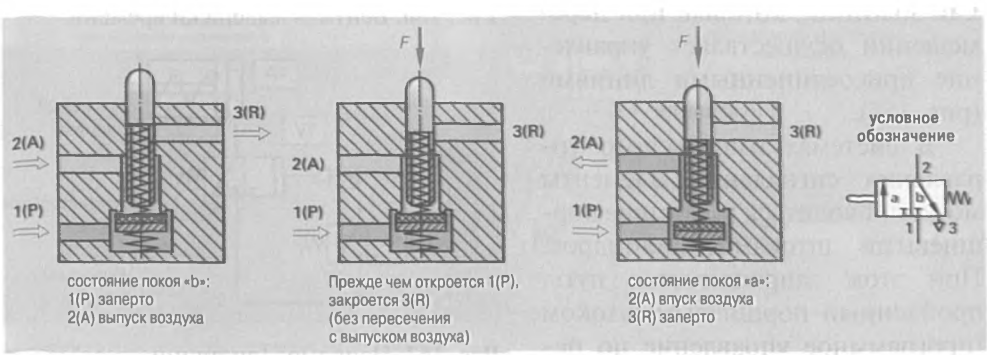


Рис. 154. Цикл переключений распределителя с тарельчатым седлом

Клапаны с седельным затвором практически нечувствительны к грязи. Они могут быть оснащены всеми видами управления. Возврат осуществляется в большинстве случаев с помощью возвратных пружин.

Из-за малой длины хода у клапанов с седельным затвором их путь срабатывания достаточно короток. Но увеличение условных проходов привело бы к резкому повышению управляющих усилий. Поэтому для больших условных проходов и высоких управляющих усилий используются так называемые пилоты управления, при которых главный вентиль приводится в действие через клапан предварительного управления, работающий от электромагнитов или под действием давления (рис. 155).

Вентиль выдержки времени (для задержки сигнала) переключается только в случае повышения давления срабатывания в воздушном резервуаре (рис. 156). Дросселем с обратным клапаном можно установить требуемое время выдержки. Обратное переключение в состояние покоя осуществляется достаточно быстро.

Золотниковые вентили несут на управляющем поршне плоский золотник, который при перемещении осуществляет управление присоединенными линиями (рис. 158).

В системах импульсного управления сигнальные элементы могут приводиться в действие поршневыми штоками цилиндров. При этом запрашивается путь, пройденный поршневым штоком (программное управление по перемещению) (рис. 159).

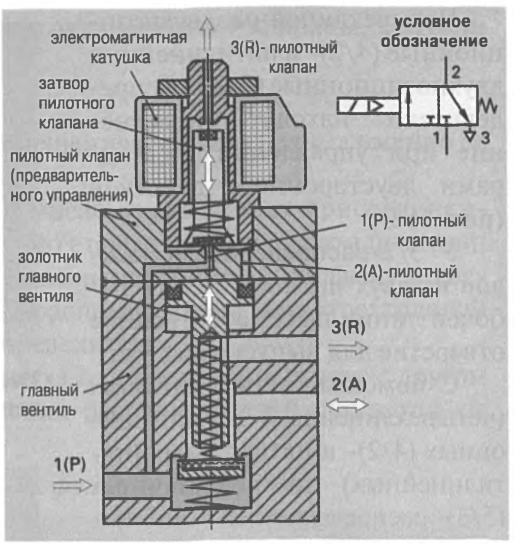


Рис. 155. 3/2-распределитель предварительного управления

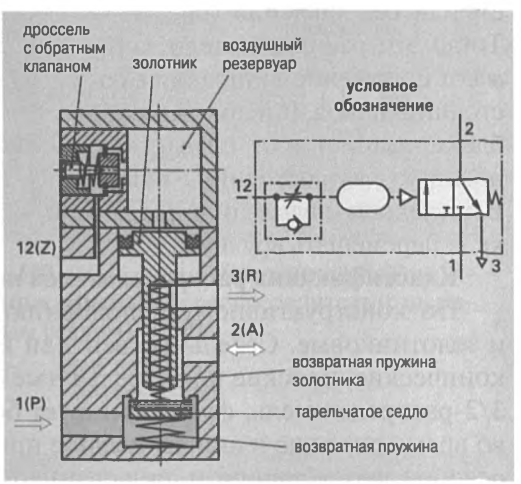


Рис. 156. Вентиль выдержки времени

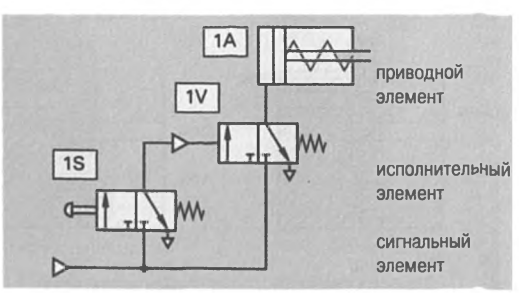


Рис. 157. Непрямое (дистанционное) управление

На основе импульсного управления удается логически связать друг с другом движения нескольких цилиндров.

При программном управлении в зависимости от времени кратковременно приводится в действие сигнальный элемент 1S с реверсом исполнительного элемента 1V1 и выдвижением поршневого штока (рис. 159). Одновременно от нагруженной давлением рабочей линии посылается импульс на вентиль выдержки времени, который по истечении времени, установленного дросселем с обратным клапаном, переключается на расход. Импульсный вентиль возвращается в исходное положение, поршневой шток втягивается (реверс без конечного выключателя).

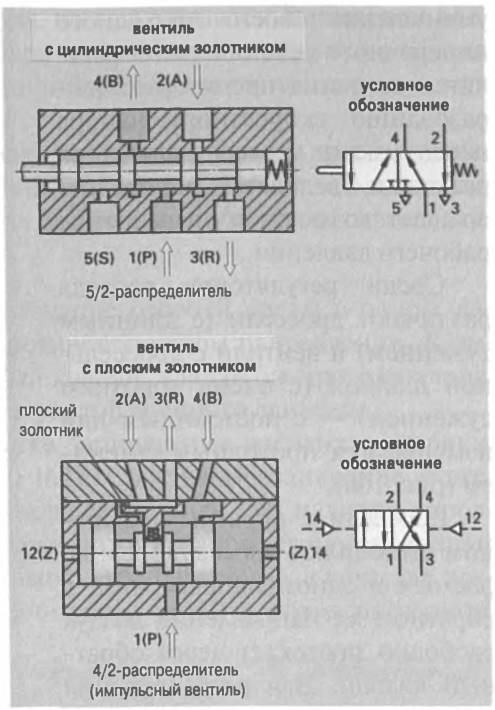


Рис. 158. Золотниковые вентили

2.3.5.3. Регуляторы расхода

Регуляторы расхода действуют по принципу изменения проходного (живого) поперечного сечения с целью изменения потока сжатого воздуха, притекающего к цилиндру или двигателю (дросселирование приточного воздуха), или воздушного потока, отходящего от цилиндра или двигателя (дросселирование отходящего воздуха). Понятно, что при этом соответствующим образом регулируется скорость вращения цилиндра или число оборотов двигателя.

Регулирование расхода осуществляется в унифицированном агрегате подготовки воздуха с помощью регулирующего вентиля, удерживающего рабочее давление в управляющем трубопроводе на постоянном уровне. Путем

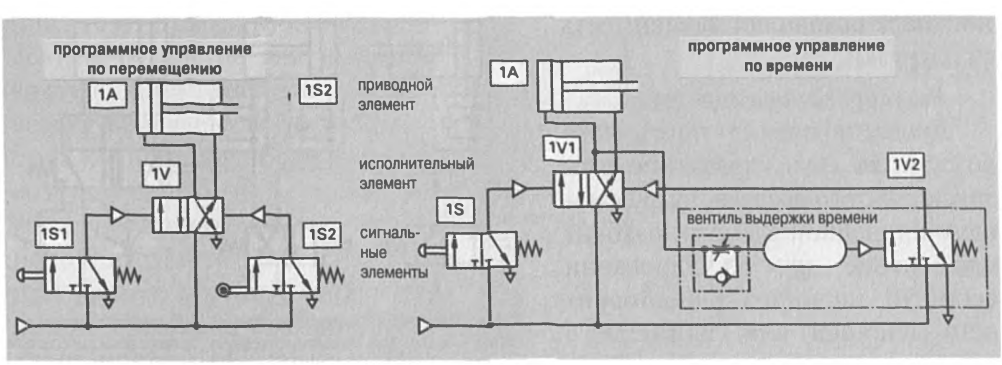


Рис. 159. Импульсное управление

уменьшения своего проходного поперечного сечения такой регулятор давления препятствует образованию скоростного напора перед узким местом регулятора расхода и, следовательно, предотвращает возможное превышение рабочего давления.

Среди регуляторов расхода различают дроссели (с длинным сужением) и вентили с дроссельной шайбой (с очень коротким сужением) — с постоянным или изменяемым проходным сечением (рис. 160).

Дроссели с обратным клапаном выполняют дросселирование расхода в одном направлении; в обратном же направлении воздух свободно протекает через обратный клапан. Для регулирования скорости дроссельные вентили включаются в рабочие трубопроводы цилиндров. Дроссели могут быть в исполнении с кулачковым приводом либо с пружинным возвратом. Управляемые посредством эксцентриковых направляющих, они способны во время хода цилиндра воспринимать разные скорости поршня, а именно: ускоренный ход вперед, рабочий ход, ускоренный ход назад.

Все эти движения в значительной мере сохраняют зависимость от нагрузки.

Регулирование скорости

Дросселирование приточного воздуха, то есть управление расходом сжатого воздуха, нагружающего приводной элемент, находит применение при регулировании скорости цилиндра одностороннего действия или двигателя с одним направлением вращения (рис. 161).

Рис. 160. Регуляторы расхода

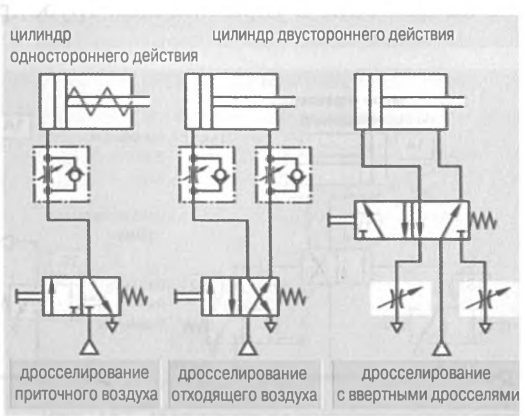


Рис. 161. Регулирование скорости

Дросселирование отходящего воздуха, то есть управление расходом воздушного потока, отходящего от цилиндра или двигателя, используется, как правило, при регулировании скорости цилиндра двустороннего действия или реверсивного двигателя (рис. 161).

В случае пятиходовых (пятилинейных) регуляторов расхода дросселирование отходящего воздуха может достигаться благодаря ввертыванию в выпускные отверстия подходящих для этой цели резьбовых регулируемых дросселей.

2.3.5.4. Запорные клапаны

Запорные клапаны блокируют протекание рабочей среды в одном направлении и открывают ей дорогу в противоположном направлении. К аппаратам такого рода относятся: обратный клапан, клапан быстрого выхлопа, перекидной («челночный») вентиль и регулятор двойного давления.

Обратные клапаны имеют в качестве запирающих элементов шарики, конусы, пластинки и мембраны (рис. 162). Собственно запирание может осуществляться только под действием силы сжатия или при наличии дополнительной упругой опоры. Такой аппарат можно, например, вмонтировать в напорный трубопровод перед исполнительным органом — в качестве предохранительного клапана зажимных цилиндров, чтобы в случае внезапного понижения давления предотвратить резкое ослабление зажима (рис. 162).

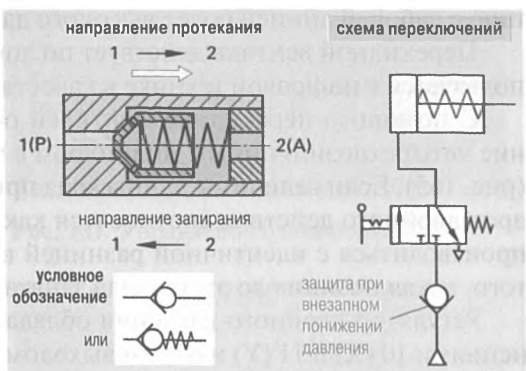


Рис 162. Обратный клапан

Клапаны быстрого выхлопа благодаря стремительному выпуску сжатого воздуха мгновенно повышают скорость движения поршней цилиндров. Поскольку их монтируют непосредственно на цилиндре, они препятствуют дросселированию отходящего воздуха на основе гидравлического сопротивления в рабочем трубопроводе и в исполнительном органе (рис. 163). При нагружении давлением отверстие для выпуска воздуха закрывается, и сжатый воздух получает свободный доступ к цилиндру. Если выпуск воздуха из рабочего трубопровода предусматривается через исполнительный элемент, то при присоединении напорной линии 1 клапана быстрого выхлопа происходит падение давления. Имеющееся уплотнение

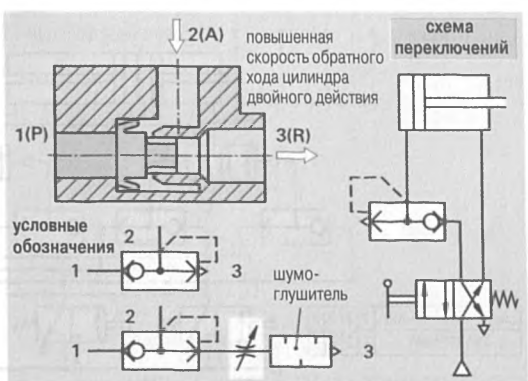


Рис. 163. Клапан быстрого выхлопа

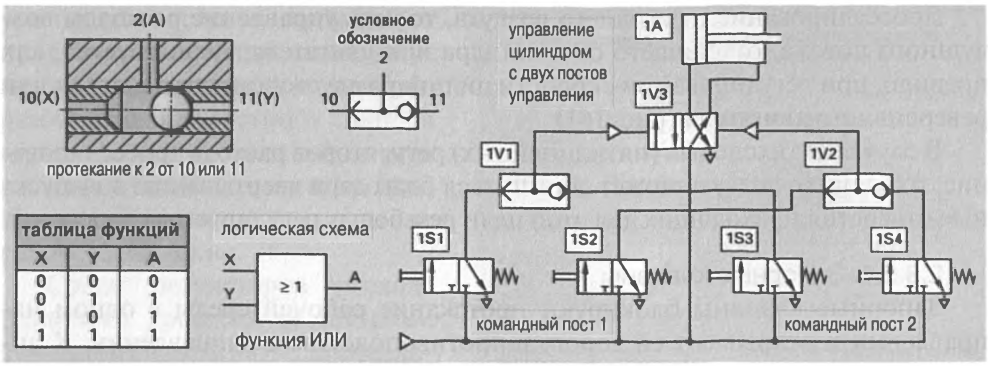


Рис. 164. Перекидной вентиль

закрывает это присоединение и открывает выпускное отверстие 3: отходящий воздух устремляется наружу.

Перекидной вентиль

Перекидной, или челночный, вентиль располагает двумя присоединениями управляющей линии 10 (X) и 11 (Y) и одним присоединением рабочей линии 2 (A). Он соединяет находящуюся под давлением управляющую линию с рабочей линией более высокого давления.

Перекидной вентиль действует по логической схеме функции ИЛИ и используется в цифровой технике в качестве элемента ИЛИ (рис. 164).

С помощью перекидных вентилей осуществляется, например, управление четырехпозиционным цилиндром с четырьмя сигнальными элементами (рис. 165). Если величины длины хода прифланцованных друг к другу цилиндров двойного действия соотносятся как 1:2, запуск четырех позиций может производиться с идентичной разницей в длине хода, причем независимо от того, какая позиция до этого была занята.

Регулятор двойного давления обладает двумя управляющими присоединениями 10 (X) и 11 (Y) и одним выходом 2 (A) (рис. 166). Прохождение потока сжатого воздуха возможно только при наличии обоих управляющих сигналов. Если присутствует всего один управляющий сигнал, расход блокирован.

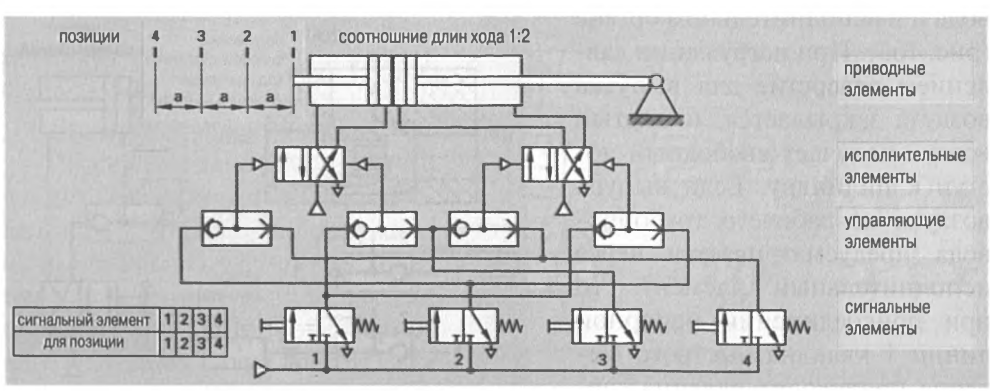


Рис. 165. Управление 4-позиционным цилиндром

Если ввод управляющих сигналов осуществляется со сдвигом по времени, то сигнал, поступивший последним, попадает на выход. При разности давлений более высокое управляющее давление закрывает вентиль, а более низкое направляется к выходу 2.

По своей функции этот аппарат соответствует двум последовательно включенным, управляемым от давления 3/2-распределителям с пружинным возвратом.

Регулятор двойного давления выполняет логическую операцию И и соответственно находит применение в цифровой технике в качестве элемента И (рис. 164).

При управлении блокированием регулятор двойного давления запирает сигнал давления от сигнального элемента до тех пор, пока не поступит второй сигнал. Этот второй сигнал давления может, например, появиться из находящегося под давлением рабочего трубопровода (блокирование в зависимости от давления), или он может запросить положение поршневого штока (блокирование в зависимости от пути перемещения). Возможен также и опрос заготовки (рис. 167).

Если в системе безопасного двухручного управления используется всего один сигнальный элемент, то регулятор двойного давления блокирует прохождение воздушного потока (рис. 168). Если одновременно задействуются оба сигнальных элемента, вентиль двойного давления открывается, управляющий сигнал включает или стабилизирует 3/2-распределитель 1V4 в позиции «а», исполнительный элемент производит

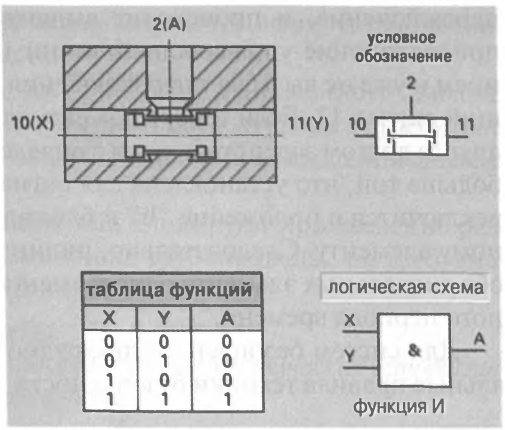


Рис. 166. Регулятор двойного давления

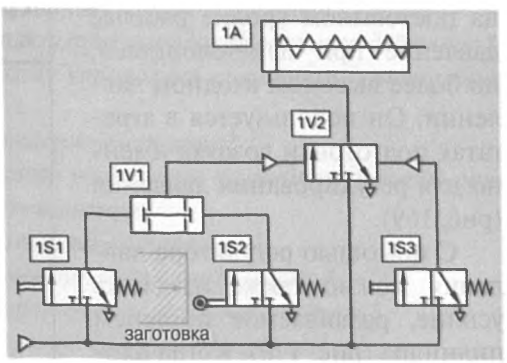


Рис. 167. Управление блокированием

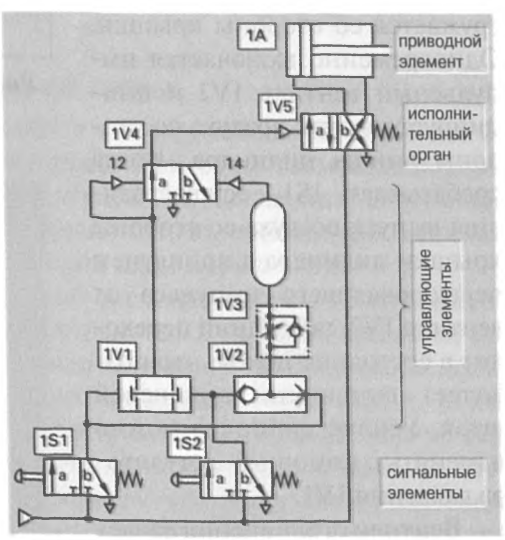


Рис. 168. Безопасная система двухручного управления

переключение, и происходит выдвижение поршневого штока. Сигнал на присоединение управляющей линии 14 распределителя приходит с опозданием и уже не вызывает переключения, поскольку ранее поступил управляющий сигнал 12. Если теперь оба сигнальных элемента будут последовательно друг за другом задействоваться с определенной разницей во времени, которая больше той, что установлена для сигнала 14 на дросселе, то вентиль 1V4 переключится в положение “b” и блокирует управляющий ток к исполнительному элементу. Следовательно, цилиндр выдвигается лишь при условии, что оба сигнальных элемента одновременно срабатывают в пределах установленного периода времени.

Для систем безопасного двухручного управления предусмотрены специальные правила техники безопасности.

2.3.5.5. Регуляторы давления и блокирующие вентили

Регулятор давления удерживает на постоянном уровне рабочее давление при изменяющемся, но более высоком входном давлении. Он используется в агрегатах подготовки воздуха именно для регулирования давления (рис. 169).

Графическое изображение	Наименование
	без отверстия для выпуска воздуха
	с отверстием для выпуска воздуха
	вентиль ограничения давления
	сервоклапан

регулятор давления

Рис. 169. Регуляторы давления

С помощью регулятора давления можно также изменять усилие, развиваемое поршнем цилиндра (рис. 170). Когда блокирующий вентиль 0V1 закрыт, цилиндр через вентиль 1S1 нагружается со стороны крышки. Одновременно включается импульсный вентиль 1V2 и инициирует выпуск воздуха со стороны днища цилиндра. Когда срабатывает 1S1, осуществляется выпуск воздуха со стороны крышки цилиндра с принятием переключающего импульса от вентиля 1V2; последний переходит в состояние покоя, что позволяет выдвинуть поршневой шток. Усилие цилиндра можно изменять с помощью регулятора давления 1V1.

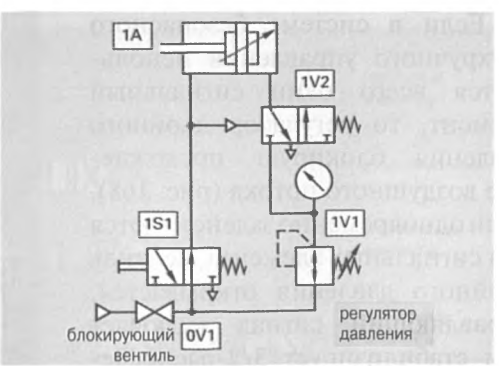


Рис. 170. Изменение усилия, развиваемого поршнем

Вентили ограничения давления находят применение чаще всего в качестве предохрани-

тельных клапанов. Если давление на входе возрастает выше установленной величины, клапан стравливает воздух наружу.

Следящие (серво)клапаны при достижении установленного давления производят подключение к управляющей линии последующих потребителей; так, цилиндр подачи подключается только при условии повышения давления сжатия в зажимном механизме.

Блокирующие вентили освобождают или блокируют прохождение рабочей среды. Они встраиваются в управляющие трубопроводы, не требующие выпуска воздуха при блокировании (рис. 170).

Повторение и закрепление материала

1. *Что показывают графические изображения пневматических устройств — конструктивное исполнение или функцию?*
2. *На каких полях вентильной схемы отображаются трубопроводы?*
3. *Объясните принцип переключения вентилей.*
4. *Что означает термин «пятилинейный трехпозиционный клапан»?*
5. *Как выглядит схема управления цилиндром одностороннего действия?*
6. *Опишите коммутационную схему управления цилиндром двустороннего действия.*
7. *Как функционирует вентиль выдержки времени?*
8. *Как выглядит схема программного управления цилиндром двустороннего действия в зависимости от перемещения?*
9. *Какие вентили относятся к запорным аппаратам?*
10. *В каких случаях используется клапан быстрого выхлопа?*
11. *Какую логическую функцию выполняет перекидной вентиль?*
12. *Каков принцип действия регулятора двойного давления?*
13. *Что означает «управление блокированием по пути перемещения»?*
14. *Перечислите области применения регуляторов давления, вентилей ограничения давления и сервоклапанов.*

2.3.6. Топология переключательной схемы

В переключательной схеме отображаются конструкционные элементы без учета их пространственного расположения. При этом элементы и блоки представлены преимущественно в горизонтальном положении, а трубопроводы располагаются вертикально или горизонтально, причем по возможности без пересекающихся участков (см. общий план на рис. 172).

Общий план (рис. 172) демонстрирует в схематическом представлении размещение приводных элементов в пространстве. В переключательной схеме конструкционные элементы, например вентили и цилиндры, показаны в их исходном положении. Если вентили приводятся в действие из состояния покоя как исходного положения, например с помощью кулачка поршневого штока, то соответствующая позиция обозначается здесь вместе с относящимися сюда трубопроводами. Переключательные схемы разделены на несколько контуров, каждый из которых включает в себя конструкционные элементы для управления одним приводным механизмом. Отдельные конструкционные элементы одного контура расположены — в соответс-

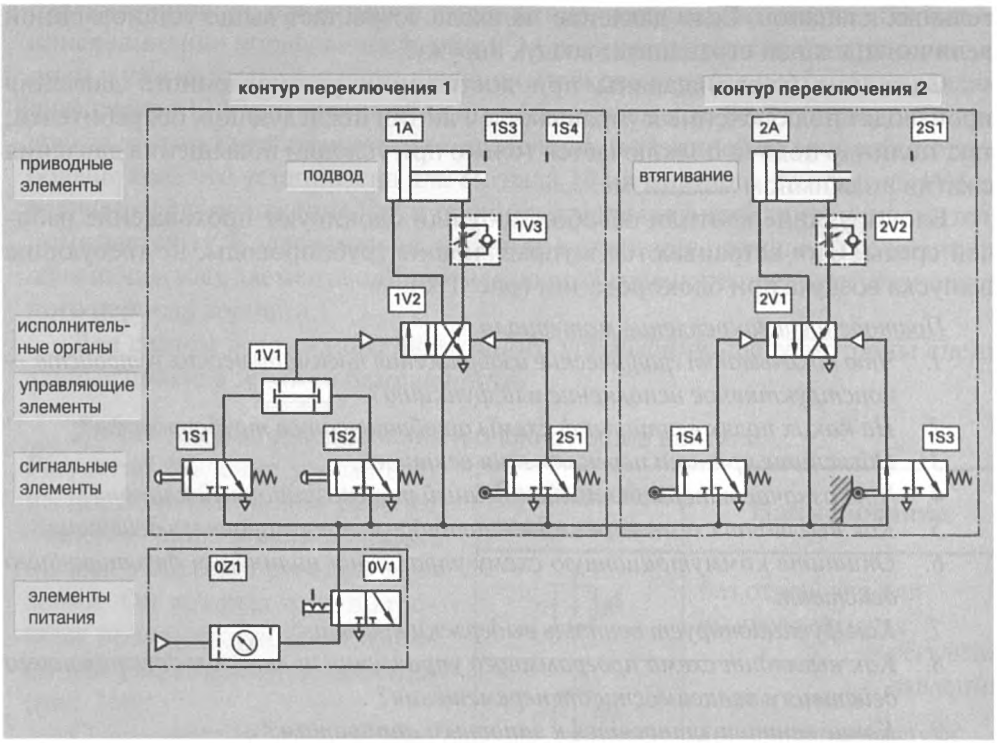


Рис. 171. Топология переключательной схемы

твии с прохождением сигналов — в направлении снизу вверх. Многие переключательные контуры скомпонованы в последовательности выполнения процесса управления рядом друг с другом, в направлении слева направо. Соответствующая позиция цилиндров и вентилей определяется после включения установки, но до подачи пускового сигнала.

Каждый конструкционный элемент снабжается заключенным в рамку условным обозначением. Такое обозначение состоит из номера установки, номера переключательного контура, названия элемента и номера этого элемента (рис. 173). Если деталь того или иного вида лишь однажды встречается в данной схеме, то ее можно оставить без номера (рис. 172). Детали или блоки, функция которых отнесена ко всем переключательным контурам (например агрегат воздухоподготовки), получают 0 (нуль) вместо указания контура. В условном обозначении устройства для приема сигналов обязательно учитывается место его монтажа.

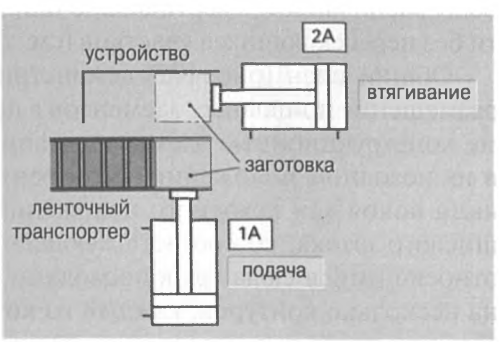


Рис. 172. Общий план

Трубопроводы в переключательной схеме в зависимости от их функции показаны разными линиями. Рабочие (основные) и соединительные трубопроводы, ведущие к пневмосети, обозначены сплошной линией. Управляющие трубопроводы могут быть отмечены штриховой или тоже сплошной линией. По этим линиям управляющие сигналы направляются для выполнения функции переключения вентилей. Соединения трубопроводов выделены жирными точками.

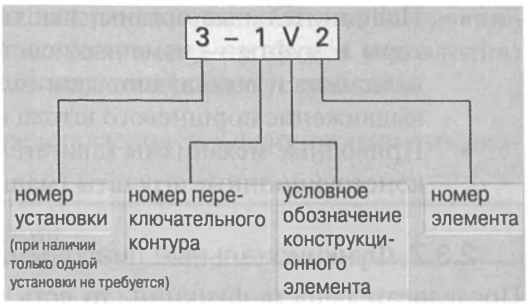


Рис. 173. Условные обозначения конструкционных элементов

Таблица 19

Буквенное обозначение	Конструкционный элемент	Примеры
P	Насосы и компрессоры	Поршневой компрессор
A	Приводы	Цилиндр
M	Приводные двигатели	Электродвигатель
S	Датчики сигналов	Пусковая клавиша
V	Вентили	Регулятор двойного давления
Z	Любая другая деталь	Агрегат воздухоподготовки

Конструкционные элементы цепи управления (VDI 3260)

- Сигнальные элементы, как то: электрические, гидравлические и пневматические предельные клавишные выключатели, реле времени и реле давления — относятся (с учетом направления действия потока сигналов и энергии) к первым элементам переключательного контура. Если сигнальные элементы, например, в системах программного управления в зависимости от пути перемещения, срабатывают от поршневого штока цилиндра через командный кулачок, то в переключательной схеме место срабатывания отмечается соответствующим маркировочным штрихом с указанием номера конструкционного элемента (рис. 172). Если сигнальный элемент действует только в одном направлении, например через ролик обратного холостого хода, то направление его действия указывается стрелкой на маркировочном штрихе.

  Управляющие элементы, как то: распределители, запорные вентили и регуляторы расхода — связывают отдельные сигналы, изменяя затем состояние исполнительных органов.

Исполнительные органы, как то: распределители, силовые контакторы и муфты — изменяют состояние приводных механизмов. Они включают и выключают двигатель либо обеспечивают втягивание и выдвижение поршневого штока цилиндра.

Приводные механизмы (двигатели и цилиндры) приводят в действие конструкционные агрегаты (машины, устройства и проч.).

2.3.7. Функциональные диаграммы

Последовательность функций, то есть программа перемещений и взаимодействие конструкционных элементов машины или технологической установки, графически отображается в функциональных диаграммах. Такие диаграммы призваны облегчить проектирование, конструирование и разработку систем управления; кроме того, они являются важным вспомогательным средством при поиске ошибок в случае сбоев и неисправностей.

Итак, функциональные диаграммы используются для представления последовательности выполнения функций как механических, так и пневматических, гидравлических, электрических и электронных систем управления, а также сочетаний этих способов управления.

Функциональные диаграммы принято разделять на диаграммы пути и диаграммы состояния.

Средства представления

Для графического изображения любого технологического процесса нормами VDI 3260 установлены определенные условные обозначения и символьные знаки, в том числе для путей перемещения и отдельных движений, линий функциональной зависимости, ограничений путей и движений, сигнальных элементов, линий прохождения сигналов, логических связей сигналов (см. табл. 20).

Рабочие пути и движения: рабочий ход, подача, движение зажима или поворота для изменения положения заготовки или включения двигателя, движение вращения либо движение копирования — обозначаются широкими сплошными линиями.

Соответствующие пути или движения холостого хода: ускоренный ход, обратный ход, снятие зажимного усилия — обозначаются широкими штриховыми линиями.

При ограничениях пути перемещения и любых движений линии для обозначения пути получают на концах стрелку либо дополнительно точку, поперечную черточку или две таких черточки.

Сигнальные элементы могут приводиться в действие мускульной энергией, механическим способом или с помощью давления. Передача сигнала отображается специальной сигнальной линией.

Линии прохождения сигналов и их логические связи демонстрируют взаимную зависимость конструкционных элементов. Они начинаются от сигнального элемента или соответственно на выходе сигнала и заканчиваются в том месте, где в зависимости от действия сигнала начинается изменение состояния. Здесь выбираются узкие сплошные линии со стрелкой, указываю-

щей направление сигнала. Вблизи выхода сигнала может быть добавлен символ функции (в частности в случае пневматических процессов управления) или условное обозначение сигнального элемента (номер устройства).

Таблица 20. Графические способы представления для функциональных диаграмм (согласно нормам VDI 3260)

Рабочие пути и рабочие движения	
	Прямолинейное движение
	Движение поворота
	Движение вращения ВКЛ.
	Путь перемещения в двух осях координат
Пути и движения в режиме холостого хода	
	Прямолинейное движение
	Движение поворота
Ограничения пути перемещения и движения	
	Общее обозначение (стрелка)
	Движение поворота
	Движение вращения — останов ($^3/_4$ круга)
	Ограничение посредством сигнального элемента (точка)
	Ограничение посредством неподвижного упора (стрелка и поперечная черточка)
	Ограничение посредством управления на основе измерения пути перемещения (стрелка и 2 поперечных черточки)

Сигнальные элементы (приводимые в действие вручную)			
	ВКЛ.		Двухручное управление
	ВЫКЛ.	E A	Многопозиционный переключатель
	ВКЛ. / ВЫКЛ.	2 3 4 1 5	
	Стартстопный режим		

Таблица 20. (окончание)

	Автоматический режим		Отключение в случае опасности
Сигнальные элементы (с механическим управлением или с использованием давления)			
	Предельный выключатель, срабатывающий в конечном положении	t 2s	Реле времени
	Предельный выключатель, срабатывающий на длинном участке пути перемещения	p 6 bar	Реле давления
Линии прохождения сигнала и логические связи сигналов			
	Линии прохождения сигналов		Условия совпадения (И)
	Разветвление сигналов	$\overline{S3}$	Условия НЕ
	Условие ИЛИ		Сигнал к другой машине / от машины

2.3.7.1. Диаграмма пути перемещений

С помощью диаграммы пути удается графически отобразить любые простые движения отдельных рабочих элементов, например перемещения инструментального суппорта, ползуна пресса или цилиндра (рис. 175). Пути перемещений в режиме холостого хода (например при ускоренном движении) и пути рабочих движений обозначаются разными линиями.

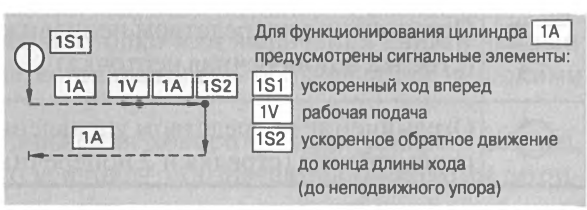


Рис. 174. Диаграмма пути перемещений

Диаграмму пути используют, в частности, в предложениях на машины и станки или привлекают в качестве средства программирования.

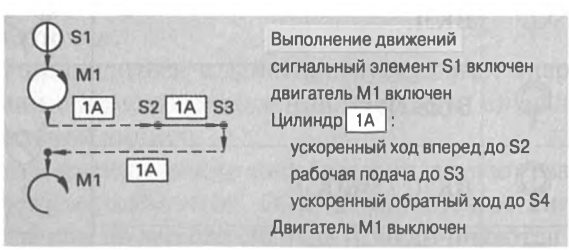


Рис. 175. Расширенная диаграмма пути перемещений

С дополнительными условными обозначениями для сигнальных элементов, управляющих элементов

или движений вращения и поворота двигателей можно представить такую диаграмму в расширенном виде (рис. 175).

2.3.7.2. Диаграмма состояния

Диаграмма состояния описывает в двухкоординатной системе последовательность выполнения функций (рабочий цикл) одного или нескольких рабочих элементов и их связи с точки зрения техники автоматического управления.

На вертикальную ось координат наносят определенное состояние, например путь перемещения, давление, угол поворота или число оборотов, а на горизонтальной оси отображают рабочие шаги и/или временную последовательность. В качестве состояния любого элемента конструкции показывают его позицию (цилиндр выдвинут или втянут), его движение (вращение двигателя вправо или влево) или его коммутационное положение (распределитель в позиции a, b или 0).

Если подключена энергия и созданы предпосылки для запуска, значит, унифицированная силовая головка находится в исходном положении, и можно начинать производственный процесс.

Производственный (технологический) процесс, или автоматический рабочий цикл, разделяется на отдельные шаги (пошаговые операции). При этом каждое изменение состояния: включение вентиля или двигателя либо переход с ускоренного движения цилиндра на рабочую скорость — начинает новый шаг и заканчивает предыдущий (рис. 176, 177, 178). Эти шаги пронумерованы в соответствующей последовательности, начиная с шага 1 и заканчивая последней выполняемой операцией. Таким образом, один рабочий цикл включает в себя все операции рабочей машины, необходимые, например, для обработки той или иной заготовки.

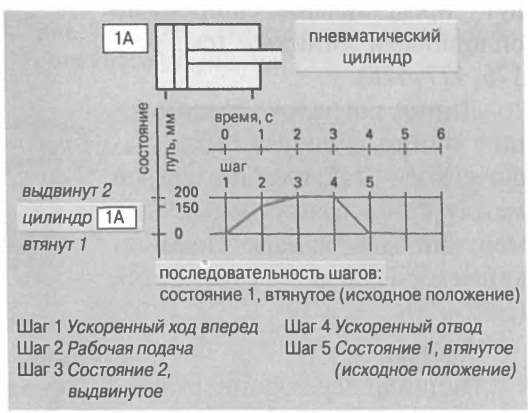


Рис. 176. Движение цилиндра, представленное в диаграмме состояния

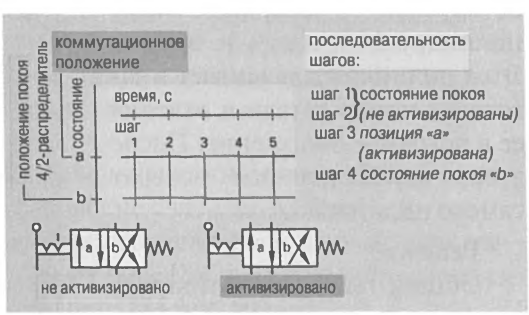


Рис. 177. Двухпозиционный вентиль в диаграмме состояния

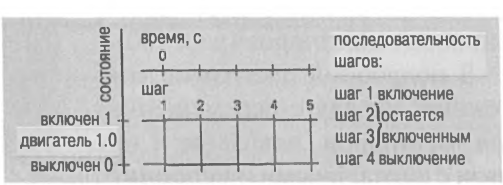


Рис. 178. Двигатель в диаграмме состояния

Цифровое обозначение шаговой операции дополнено указанием времени. Некие короткие мгновения (например моменты включения распределителей), как правило, в диаграмме не отображаются.

Состояние конструкционных элементов графически отображается в виде функциональных линий.

Узкие сплошные линии соответствуют состоянию исходного положения (двигатель выключен, цилиндр втянут, вентили в состоянии покоя, то есть не активизированы).

Если устройства активизированы и приведены в действие (двигатель включен, цилиндр выдвигается, втягивается или уже выдвинут, вентиль срабатывает), то эти функции будут представлены широкими сплошными линиями (см. рис. 176, 177, 178).

Линии сигналов, соединяющие линии функций, есть графическое отображение связей между конструкционными элементами на уровне техники автоматического управления (рис. 179).

Рис. 179. Логическое соединение конструкционных элементов

Задача:

Цилиндр двустороннего действия 1А должен переместить приспособление для фиксации изделия, куда оно закладывается вручную, к калибровочному цилиндру 2А и надежно зажать. Этот цилиндр выдавливает в заготовке номер детали и отводит ее в исходное положение. После этого осуществляется возврат самого цилиндра 1А.

Решение:

Общий план демонстрирует монтажное положение приводных элементов в устройстве. На упрощенной диаграмме состояния отображен цикл перемещений обоих цилиндров (рис. 180).

В подробной диаграмме состояния, наряду с перемещениями цилиндров, показаны и их связи с сигнальными и исполнительными элементами (рис. 181).

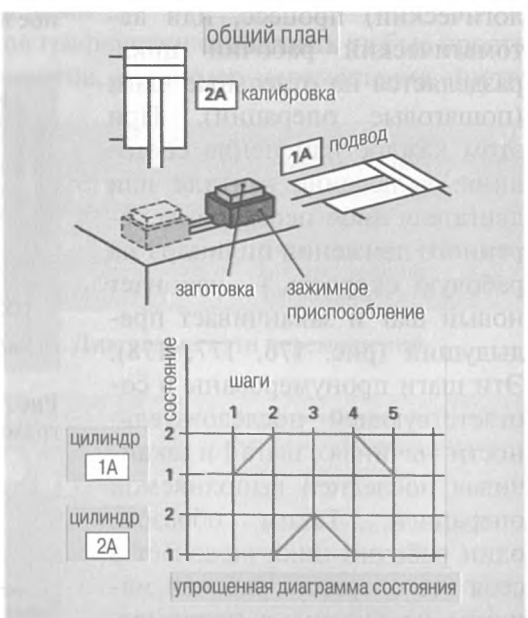


Рис. 180. Общий план и упрощенная диаграмма состояния калибровочного устройства

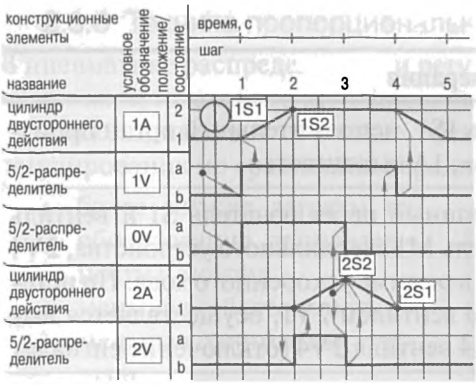


Рис. 181. Диаграмма состояния калибровочного устройства

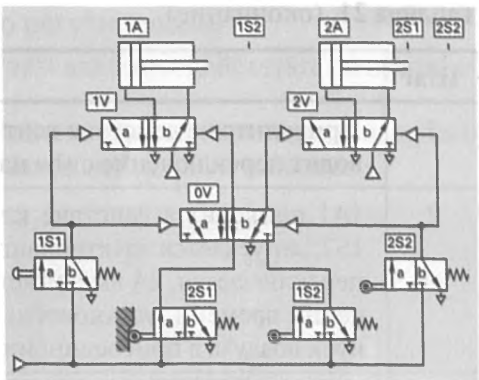


Рис. 182. Переключательная схема калибровочного устройства

В переключательной схеме системы управления наличие распределителя 0V позволяет обойтись без сигнальных элементов с приведением в действие роликов возврата в режиме холостого хода (рис. 182).

Для подробной диаграммы состояния используются обычно специальные формуляры, где строки первой колонки пронумерованы по порядку номеров, чтобы с указаниями шагов в растровом поле легче было найти требуемую информацию. Следующие колонки содержат данные о конструкционных элементах: их название, условное обозначение и состояние. В растровом поле отображаются функциональные линии элементов с определением их взаимной зависимости (логические связи сигналов).

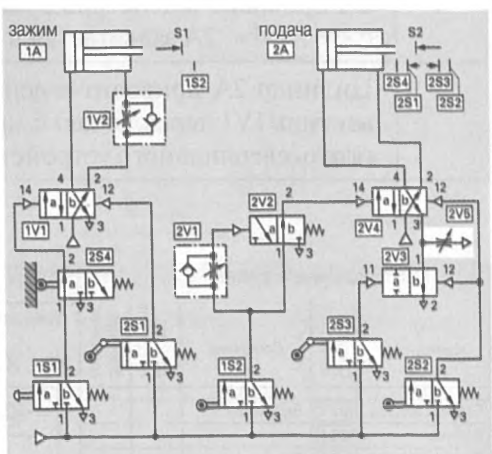


Рис. 183. Схема переключений сверлильного устройства

Пример: С помощью системы управления сверлильным устройством, переключательная схема которого показана на рис. 183, подробно объясняется структура диаграммы состояния согласно рис. 184 (см. табл. 21).

Таблица 21. Рабочий цикл сверлильного устройства

Шаг	Операция
X0	Исходное положение
X1	Главный вентиль 0V1 включен
X2	Должен сработать вентиль 2S4 (контроль исходного положения цилиндра 2A)

Таблица 21. (окончание)

Шаг	Операция
1	Приводится в действие вентиль 1S1, исполнительный орган производит переключение с «b» на «a», 1A выдвигается
2	1A1 приводит в действие клавишный переключатель S1 и вентиль 1S2, запускается электродвигатель M1 сверлильного устройства, 2V4 переключается, 2A выдвигается в режиме ускоренного хода. По истечении времени, установленного вентилем 2V1, осуществляется выпуск воздуха в присоединении 14 вентиля 2V4 (отключение сигнала)
3	Вентиль 2S3 приводится в действие цилиндром 2A, а 2V3 производит переключение с «b» на «a», цилиндр 2A замедляет ход
4	2A приводит в действие 2S2; 2V4 и 2V3 производят переключение с «a» на «b», 2A задвигается в режиме ускоренного хода
5	Цилиндр 2A приводит в действие вентиль 2S1 и выключатель S2, вентиль 1V1 переключает с «a» на «b», цилиндр 1A втягивается, двигатель сверлильного устройства выключается

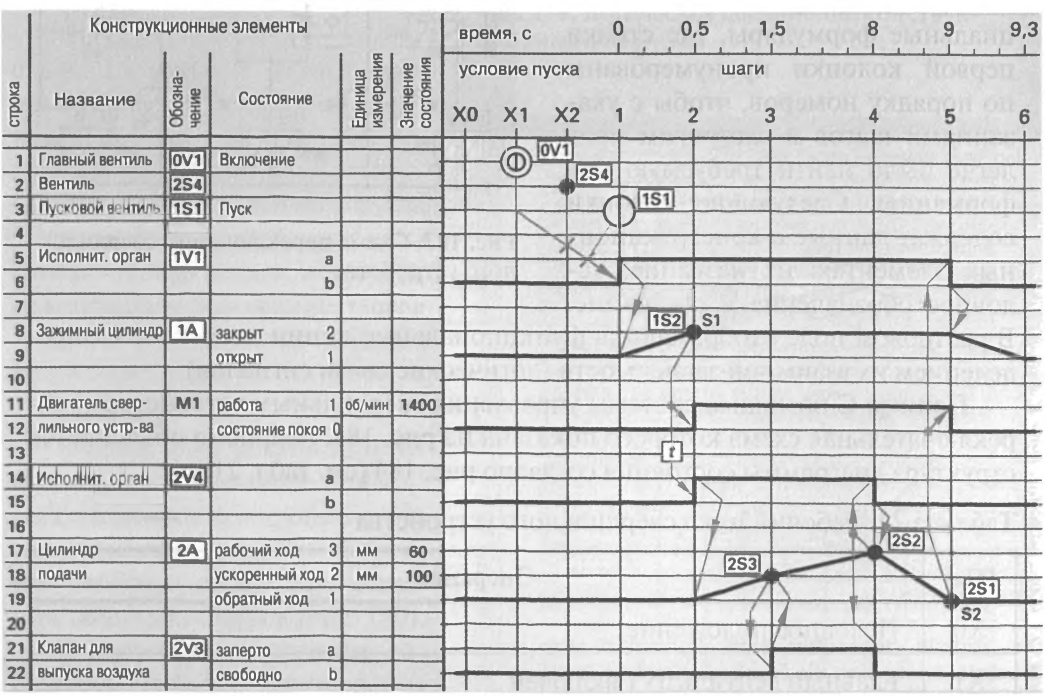


Рис. 184. Функциональная диаграмма (диаграмма состояния) сверлильного устройства

2.3.8. Техника пропорционального регулирования

В пневматике распределители и регуляторы давления действуют по принципу пропорционального регулирования.

Ниже приведены основные преимущества техники пропорционального регулирования по сравнению с традиционной вентильной техникой:

- более низкие затраты на оборудование, принадлежности и монтаж,
- меньшая себестоимость,
- меньшая занимаемая площадь,
- заданные значения для давлений и расходов с бесступенчатым регулированием в зависимости от времени,
- возможность дистанционного регулирования заданных параметров (рис. 185).

Для управления пневматическими клапанами могут использоваться электромагнитные и электронные системы, идентичные таковым для гидравлических клапанов.

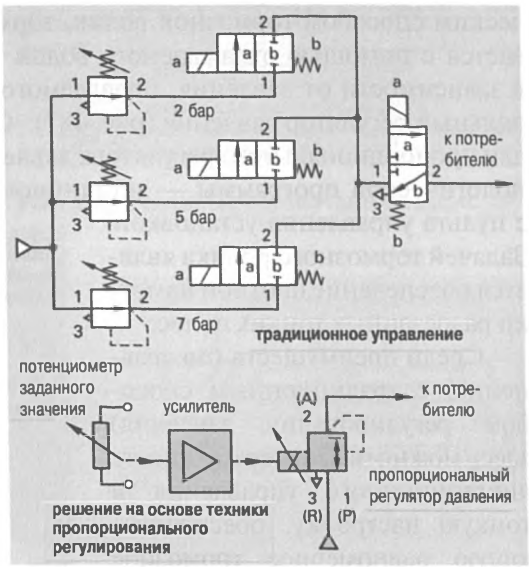


Рис. 185. Настройка трех определенных рабочих давлений

2.3.8.1. Пропорциональные регуляторы давления

Для управления небольшими объемами воздуха используются пропорциональные регуляторы давления прямого действия, для управления более высокими расходами — пропорциональные регуляторы непрямого действия. При этом П-регулятор прямого действия служит в качестве пилотного клапана (в функции предварительного управления). Для понижения гистерезиса до значений < 0,5% используются и регулируемые пропорциональные регуляторы давления (рис. 186).

Пример: Пневматический тормоз на установке для резки металлических листов на мерные части. Разматывающей мо-

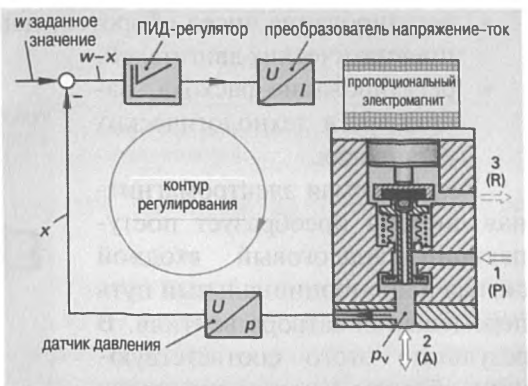


Рис. 186. Пропорциональные регуляторы давления с встроенным электромагнитом

талкой (разматывателем) из рулона вытягивается лист шириной 1500 мм и толщиной 0,8 мм. Эта металлическая лента разрезается дисковыми ножницами на продольные полосы шириной не менее 20 мм со скоростью резки макс. 250 м/мин. Отрезанные куски зажимаются в транспортной тележке для полос и перемещаются к фиксирующей выемке в оправке наматывателя.

На транспортере предусмотрен, кроме прочего, откидываемый гидравлическим способом тормозной ролик, тормозное действие которого обеспечивается с помощью охлаждаемого водой тормоза пневматического действия, в зависимости от давления, подаваемого через пневматический пропорциональный регулятор давления (рис. 187). Соответствующая заданная величина для пропорционального регулятора давления устанавливается — с учетом технологической программы — дистанционным способом через потенциометр с пульта управления установкой. Задачей тормозного ролика является обеспечение плотной намотки разрезанных тонких полос.

Среди преимуществ (по сравнению с традиционным способом регулирования давления) здесь можно назвать возможность дистанционного управления и тонкую настройку, обеспечивающую равномерное тормозное действие.

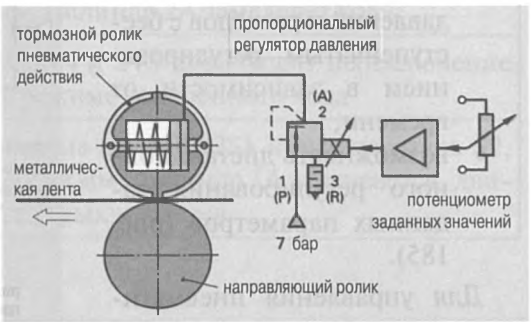


Рис. 187. Пневматический тормоз установки для резки металлических листов на мерные части

2.3.8.2. Пропорциональные распределители

Пропорциональные распределители используются чаще всего в пневматических контурах регулирования в качестве исполнительных органов (рис. 188). При этом они могут выполнять разные задачи, в том числе:

- позиционирование, например, пневматических линейных приводов,
- регулирование скорости, например, пневматических приводов,
- регулирование чисел оборотов, например, поворотных цилиндров или пневматических двигателей,
- регулирование расхода, например, в технологических установках.

Регулируемая электромагнитная система преобразует поступающий аналоговый входной сигнал в пропорциональный путь перемещения затвора вентиля. В результате этого соответствующим образом изменяются поперечные сечения отверстий на выходах вентиля. Электромагнитная

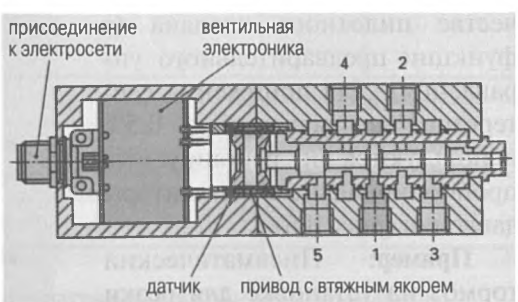


Рис. 188. Пропорциональный 5/3-распределитель

система с регулируемым током имеет по сравнению с управляемыми системами заметно меньший гистерезис (< 0,5%) (рис. 189).

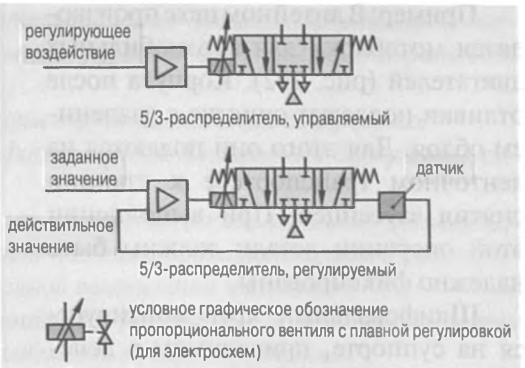


Рис. 189. Условные обозначения в схеме

С помощью пневматических линейных приводов и пропорциональных распределителей в качестве исполнительных органов можно собирать — по принципу агрегатирования — точные системы позиционирования с высокой реакционной способностью (рис. 190). При этом получаются недорогие и надежные системы, используемые преимущественно в тех случаях, где требуются большое число тактов и высокая рабочая динамика. Точность позиционирования составляет здесь до ± 0,1 мм при производственной скорости макс. 3 м/с. Линейные приводы можно компоновать, например, в трехкоординатные системы в целях достижения подвода к любым точкам в пространстве. Каждая ось управляется осевым контроллером. Линейный привод может обладать длиной хода до 2000 метров. Камеры цилиндров нагружаются сжатым воздухом через два присоединения к пневмосети. Под действием постоянных магнитов на поршне и в суппорте достигается силовое замыкание салазок суппорта, в связи с чем приходится ограничивать производственную скорость во избежание разрыва электромагнитной муфты.

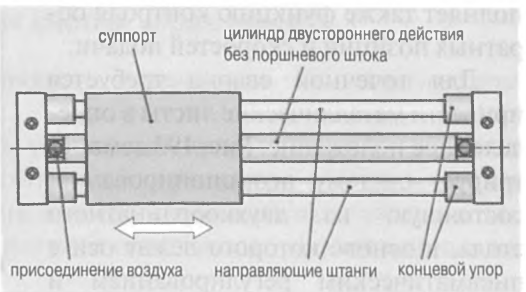


Рис. 190. Пневматическая ось

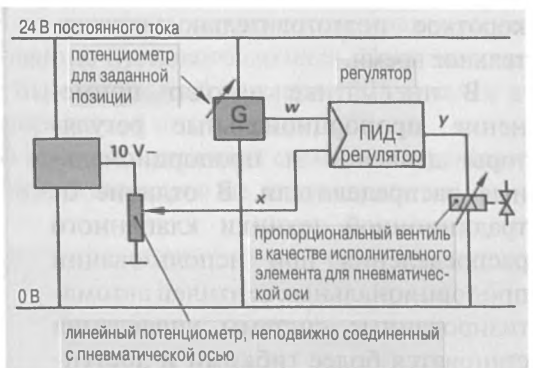


Рис. 191. Регулирование пневматической оси

Так как при пневматических осях всегда приходится преодолевать определенное трение, а оси в процессе работы могут нагружаться разными массами, для достаточной точности позиционирования требуется определенное регулирование (рис. 191). На роль регулятора для пневматических осей вполне годится и регулятор состояния. Последний к тому же способен несколько улучшить характеристики скорости и ускорения.

Пример: В литейном цехе производятся мотоблоки для автомобильных двигателей (рис. 192). Корпуса после отливки подлежат очистке с удалением облоя. Для этого они подаются на ленточном транспортере к станции снятия заусенцев. При выполнении этой операции детали должны быть надежно фиксированы.

Шлифовальный круг монтируется на суппорте, приводимом в действие регулируемой линейной осью. Круг проводится по кромкам корпуса. Система осевого регулирования выполняет также функцию контроля обратных позиций и скоростей подачи.

Для точечной сварки требуется привести металлические листы в определенное положение. Рис. 193 демонстрирует систему позиционирования, состоящую из двухкоординатного стола, в основе которого лежат оси с пневматическим регулированием и цифровое программное управление. Этим обеспечивается высокая гибкость технологического процесса и короткое подготовительно-заключительное время.

В пневматике находят применение пропорциональные регуляторы давления и пропорциональные распределители. В отличие от традиционной техники клапанного распределения при использовании пропорциональных вентилей автоматизированные системы управления становятся более гибкими и доступными по цене.

Повторение и закрепление материала

1. *Каков принцип нумерации конструкционных элементов системы управления в переключательной схеме?*
2. *Как выглядит общий план?*

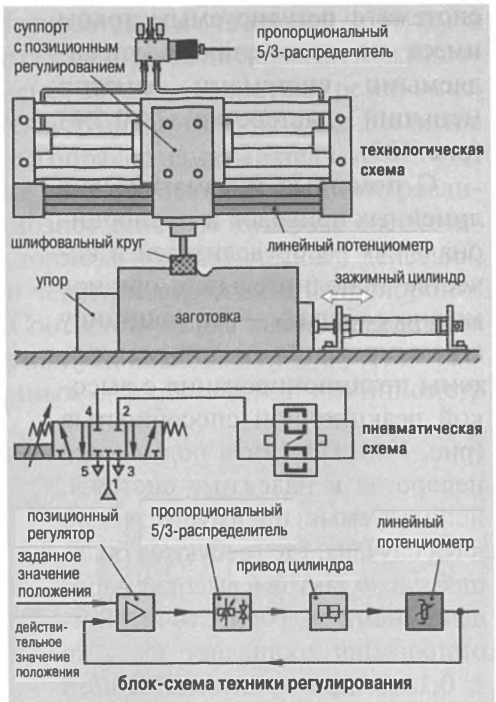


Рис. 192. Станция снятия заусенцев

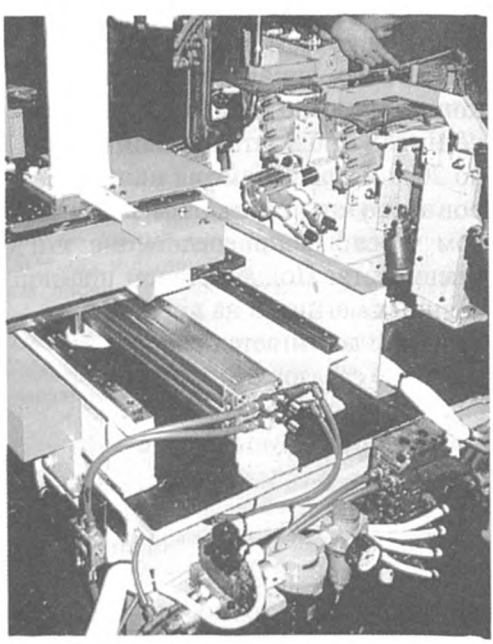


Рис. 193. Система позиционирования для точечной сварки металлических листов

3. *Как отображают в переключательной схеме процесс срабатывания сигнального элемента под действием управляющего кулачка поршневого штока?*
4. *Какие зависимости представлены в функциональных диаграммах?*
5. *Как выглядит стандартный формуляр для построения диаграммы состояния?*
6. *На какие группы можно разделить пневматические логические элементы?*
7. *Какие преимущества предлагает техника пропорционального регулирования по сравнению с традиционной вентильной техникой?*
8. *Перечислите некоторые достоинства регулируемых пропорциональных вентилей по сравнению с управляемыми распределителями.*
9. *Какие задачи выполняют пропорциональные распределители?*
10. *Из каких компонентов можно собрать систему позиционирования?*

2.3.9. Примеры пневматических систем управления

Программное управление гибочным механизмом в зависимости от пути перемещения

В коммутационной схеме системы управления представлены сигнальные элементы 1S2 и 2S1, оснащенные контактными роликами с возможностью возврата в режиме холостого хода; они способны перемещаться только в показанном на схеме направлении и действуют от кулачков, расположенных на поршневых штоках (рис. 194).

Если бы сигнальным элементом 2S1 запрашивалось конечное положение цилиндра 2A (поршневой шток втянут), система управления не могла бы функционировать при срабатывании сигнального элемента 1S1, поскольку на импульсном вентиле 1V идентичное по величине управляющее давление от 2S1 противодействовало бы формированию пускового сигнала. Невозможно было бы и выполнение шага 3, если бы сигнальный элемент 1S2 оказался в конечном положении цилиндра 1A (поршневой шток выдвинут).

Решение, предложенное в данной переключательной схеме, имеет следующий недостаток: конечные положения цилиндров не запрашиваются сиг-

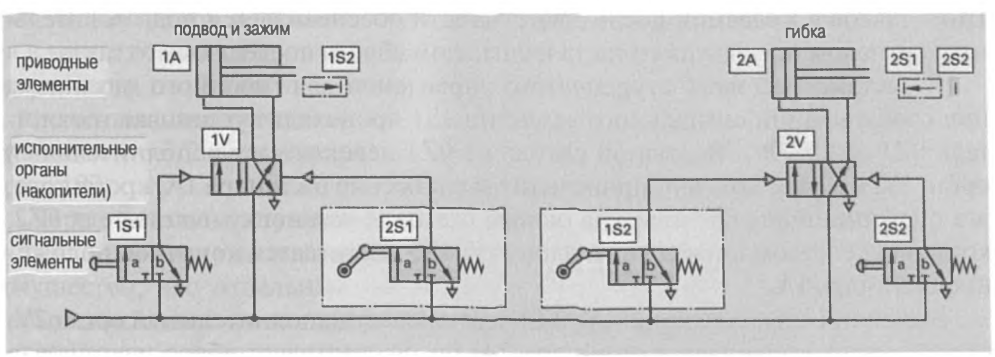


Рис. 194. Программное управление гибочным механизмом в зависимости от пути перемещения

нальными элементами 1S2 и 2S1, в результате чего гибочный цилиндр готов выполнить рабочую операцию даже при не полностью закрытом зажимном приспособлении, что в принципе недопустимо.

Автоматическое программное управление гибочным механизмом (с отключением сигналов)

Контроль конечного положения движущегося цилиндра с помощью сигнальных элементов 1S2 и 2S1 возможен при условии отключения сигналов через реле времени 1V1 и 2V1 (рис. 195), причем время отключения может регулироваться. Четырехходовые двухпозиционные импульсные вентили 1V2 и 2V2 по своей функции являются двоичными накопителями. Запуск таких накопителей осуществляется посредством сигнальных элементов 1S1 или соответственно 1S2, в результате чего начинается выдвижение поршневого штока; сброс накопителей (с втягиванием поршневого штока) происходит под действием возвратных импульсов, поступающих от сигнальных элементов 2S1 и 2S2.

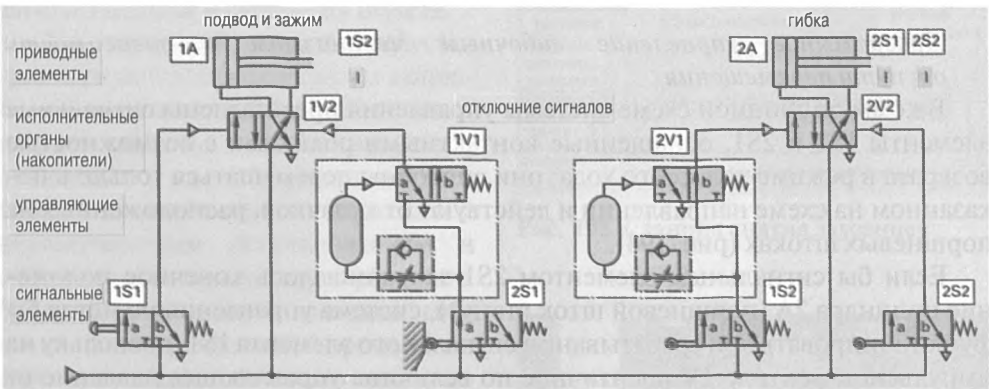


Рис. 195. Автоматическое программное управление гибочным механизмом (с отключением сигналов)

Тактовое ступенчатое управление

При тактовом ступенчатом управлении коммутационные сигналы включаются или отключаются при каждом шаговом перемещении (такте движения). Цикл тактов в желаемой последовательности обеспечивается подготовительным сигналом предыдущего такта и сигналом сброса последующего такта.

В системе тактового ступенчатого управления для гибочного механизма при срабатывании сигнального элемента 1S1 происходит установка накопителя 0Z1 (рис. 196). Выходной сигнал от 0Z1 переключает исполнительный орган 1V, в результате чего происходит выдвижение цилиндра 1A; кроме того, эта операция подготавливает на основе схемы И установку накопителя 0Z2, когда посредством сигнального элемента 1S3 достигается конечное положение цилиндра 1A.

Выходной сигнал накопителя 0Z2 переключает исполнительный орган 2V, что вызывает выдвижение цилиндра 2A; он осуществляет сброс накопителя 0Z1, отключая таким образом сигналы для предшествующего, уже выполненного такта и подготавливая через схему И выполнение следующего такта.

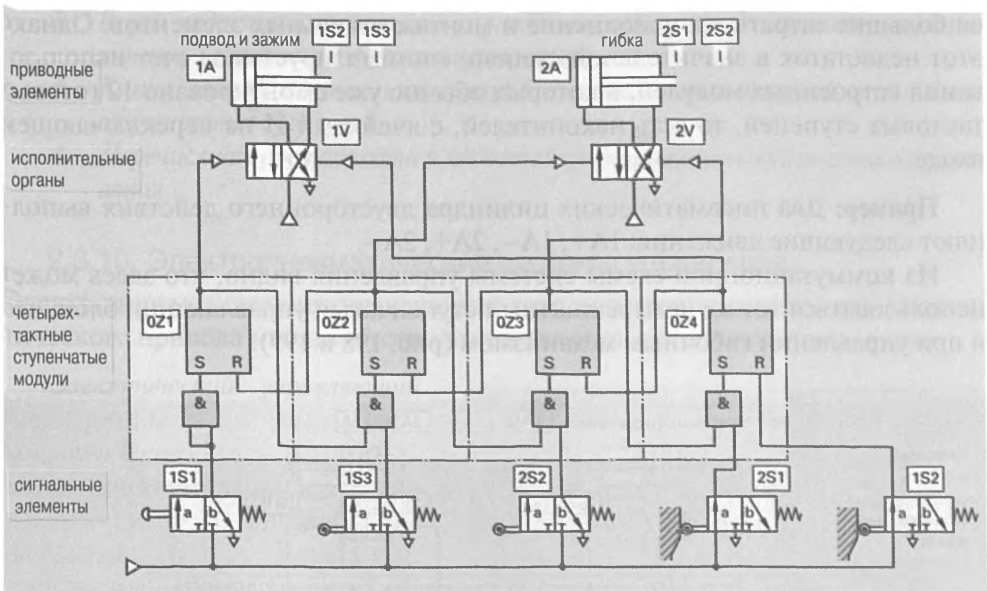


Рис. 196. Тактовое ступенчатое управление гибочным механизмом

Накопитель 0Z3 устанавливается, когда поршневой шток 2A достигает конечного положения и там приводит в действие сигнальный элемент 2S2. Выходной сигнал от 0Z3 переводит исполнительный орган 2V в исходное положение, и цилиндр 2A вновь втягивается; затем он осуществляет сброс накопителя 0Z2 и подготавливает установку накопителя 0Z4.

Накопитель 0Z4 устанавливается при втянутом поршневом штоке цилиндра 2A и активизированном сигнальном элементе 2S1. Его выходной сигнал сбрасывает накопитель 0Z3 и переводит исполнительный орган 1V в исходное положение. Цилиндр 1A осуществляет втягивание и приводит в действие сигнальный элемент 1S2, который гасит накопитель 0Z4. Теперь управляющая система вновь находится в исходном положении.

При тактовом ступенчатом управлении в тактовых ступенчатых модулях могут использоваться в качестве ячеек И, например, регуляторы двойного давления, а в качестве накопителей — импульсные 3/2-распределители (рис. 197).

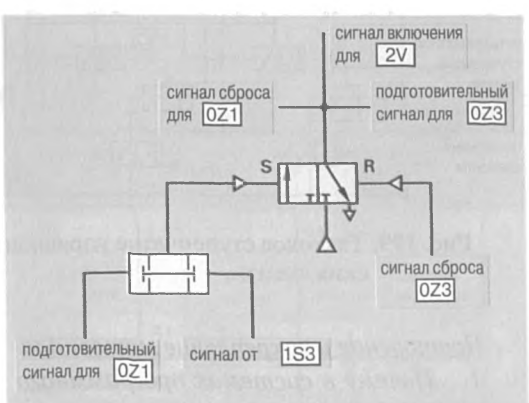


Рис. 197. Тактовый ступенчатый модуль 0Z2

При тактовом ступенчатом управлении достигается то преимущество, что отдельные шаговые движения выполняются, не испытывая помех со стороны предыдущего или последующего шагов. Недостатком же являют-

ся большие затраты на исполнение и монтаж отдельных элементов. Однако этот недостаток в значительной степени минимизируется за счет использования встроенных модулей, в которых обычно уже смонтировано 12 готовых тактовых ступеней, то есть накопителей, с ячейками И на переключающем входе.

Пример: Два пневматических цилиндра двустороннего действия выполняют следующие движения: 1А+, 1А–, 2А+, 2А–.

Из коммутационной схемы системы управления видно, что здесь может использоваться тот же четырехтактный ступенчатый управляющий блок, что и при управлении гибочным механизмом (рис. 198 и 199).

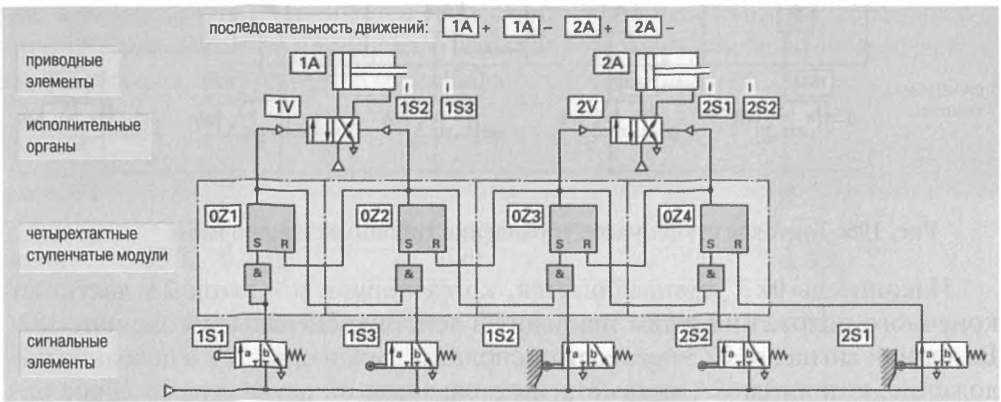


Рис. 198. Тактовое ступенчатое управление (с обозначениями для логических схем)

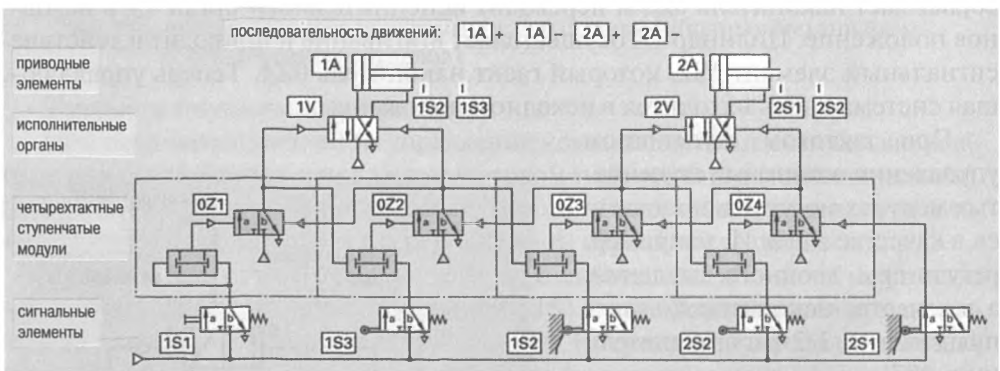


Рис. 199. Тактовое ступенчатое управление (с обозначениями для пневматических схем)

Повторение и закрепление материала

1. *Почему в системах программного управления по перемещению сигнальные элементы оснащаются контактными роликами с возвратом на холостом ходу?*

2. ***В чем недостаток системы управления, оснащенной контактными роликами с возвратом в режиме холостого хода?***
3. ***Какие задачи выполняют выходные сигналы накопителей тактового ступенчатого модуля?***
4. ***Перечислите достоинства и недостатки тактового ступенчатого управления.***

2.3.10. Электропневматические системы управления

Электропневматические управляющие системы предназначены для пневматического привода машин и устройств и электрического управления ими.

Электрический управляющий блок принимает импульсы, проходящие через сигнальные элементы (кнопки, клавиши, выключатели, датчики). Управляющие элементы (реле, контакторы, программы, хранимые в памяти) обрабатывают эти импульсы (соединяют, замедляют, усиливают) и выдают соответствующие коммутационные сигналы на пневматические распределители электромагнитного действия (рис. 200). В пневматическом энергоблоке исполнительные элементы (3/2-, 4/2- или 5/2-распределители электромагнитного действия) управляют цилиндрами и двигателями, приводящими в действие стандартные конструкционные модули (машины, станки, приспособления).

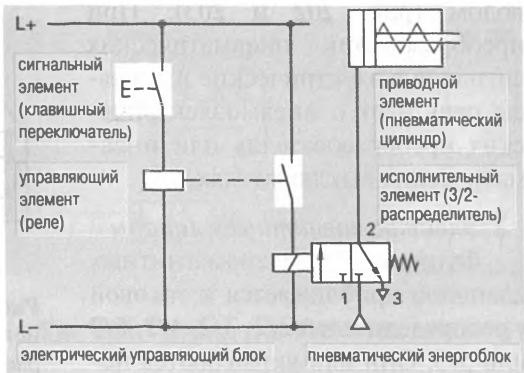


Рис. 200. Схема электропневматического управления

Если в управляющем блоке используются элементы управления при помощи контактов (выключатели, реле, контакторы), то электрические сигналы генерируются путем замыкания и размыкания переключающих контактов. При использовании систем программного управления от ЗУ электрические сигналы формируются электронным, то есть бесконтактным способом. Энергетический блок выполняется в виде пневматической распределительной схемы.

В графическом представлении электропневматических систем управления пневматический энергоблок отображается отдельно от электрического управляющего блока.

Электрический управляющий блок представлен в виде

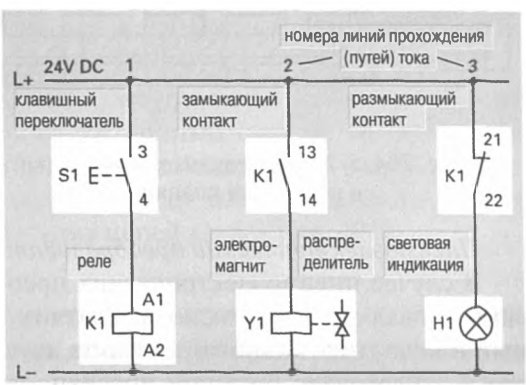


Рис. 201. Схема цепей тока

схемы цепей тока, демонстрирующей последовательность прохождения сигналов управления (рис. 201).

Электрический управляющий блок соединяется с пневматическим энергоблоком соответствующими электропневматическими средствами: это могут быть, например, пневматические распределители с электромагнитным приводом (рис. 202 и 203). При преобразовании пневматических сигналов в электрические импульсы речь идет о пневмоэлектрических преобразователях или пневматических выключателях.

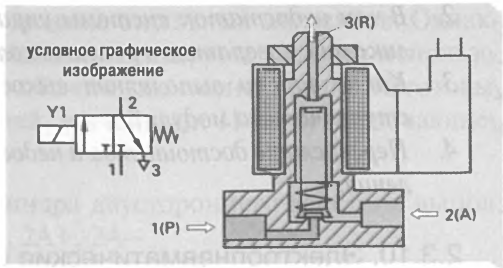


Рис. 202. 3/2-распределитель с прямым действием через электромагнит

Рис. 203. 5/2-распределитель одностороннего действия — через электромагнит и распределитель предварительного регулирования

Электромагнитные клапаны

Функция электромагнитных клапанов приближается к таковой у распределителей 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 или 5/3. Они или управляются непосредственно электромагнитом с пружинным возвратом (рис. 202), или имеют двустороннее электромагнитное управление. В большинстве случаев электромагнитные клапаны приводятся в действие электромагнитом через пилотный распределитель с предварительным регулированием (рис. 203 и 204).

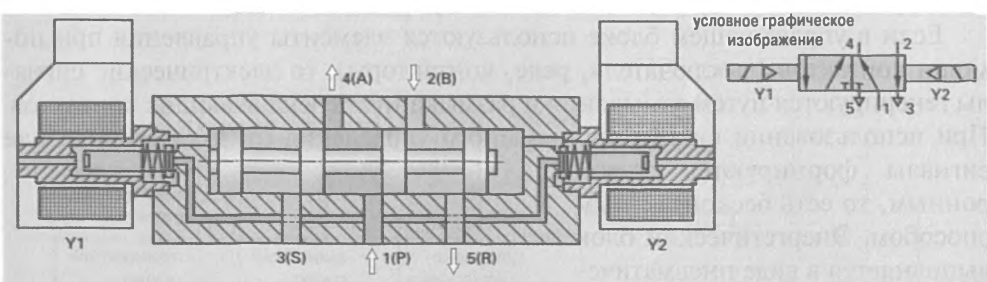


Рис. 204. 5/2-распределитель двустороннего действия (через электромагнит и пилотный клапан)

Пневмоэлектрический преобразователь

В случае пневмоэлектрических преобразователей сигналов пневматический сигнал давления включает датчик электрического сигнала, выполненный в виде (перекидного) контакта двустороннего действия (рис. 205). При этом — благодаря большой поверхности мембраны — возможно усиление воздействия со стороны давления.

При прямом управлении цепь тока вентиля управляется непосредственно через выключатель с ручным управлением.

Задача:

Поршневой шток цилиндра одностороннего действия должен выдвигаться при нажатии клавишного переключателя S1 и втягиваться обратно при отпуске этой клавиши. С учетом этого требуется составить пневматическую распределительную схему и схему цепей тока.

Решение:

В пневматической распределительной схеме цилиндр управляется трехходовым двухпозиционным (3/2)- распределителем электрического действия (Y1) с пружинным возвратом (рис. 206). В схеме цепей тока, пока нажата клавиша S1, замкнута цепь тока для катушки Y1.

При непрямом управлении органы управления присоединены к системе релейного управления, электронного управления или к системе программного управления от ЗУ.

При непрямом управлении в линии тока 1 путем нажатия клавиши S1 замыкается цепь тока реле K1. В линии тока 2 замыкающий контакт реле K1 замыкает цепь тока для электромагнитной катушки Y1, и электромагнитный вентиль срабатывает (схема цепей тока 1, рис. 207).

Рис. 205. Пневмоэлектрический преобразователь, пневматический выключатель

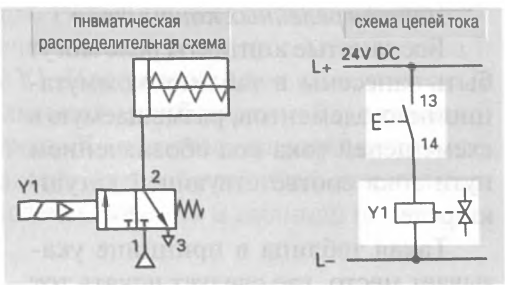


Рис. 206. Прямое управление цилиндром

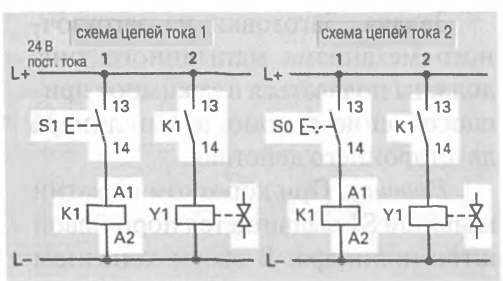


Рис. 207. Непрямое управление цилиндром

Если цилиндр должен оставаться в выдвинутом положении до тех пор, пока его не вернет назад второй коммутационный сигнал, то, например, вместо клавишного переключателя S1 можно вмонтировать командоконтроллер S0, который при первой активизации будет замыкать цепь тока, а при второй активизации — размыкать ее (схема цепей тока 2, рис. 207).

Схема самоблокировки

При схеме самоблокировки (самоудержания) кратковременно действующий сигнал клавишного переключателя, управляющий операцией выдвижения цилиндра, сохраняется до тех пор, пока его действие не будет прекращено выключающим сигналом (рис. 208).

При этом с помощью включающей клавиши S1 замыкается цепь тока реле K1. Замыкающий контакт реле K1, смонтированный параллельно S1, поддерживает ток катушки реле до тех пор, пока такое самоудержание не будет прекращено нажатием выключающей клавиши S2, после чего вновь начнется втягивание цилиндра.

Таблица коммутационных элементов релейных контактов

Все занятые контакты реле могут быть занесены в таблицу коммутационных элементов, размещаемую в схеме цепей тока под обозначением пути тока соответствующей катушки реле.

Такая таблица в принципе указывает место, где следует искать тот или иной контакт реле (рис. 209).

Контактная схема

Задача. Заготовки из загрузочного механизма магазинного типа должны подаваться в зажимное приспособление с помощью цилиндра двустороннего действия.

Решение. При коротком нажатии клавиши S1 выдвигается поршневой шток цилиндра. В своем конечном положении он приводит в действие предельный клавишный выключатель S2 и снова втягивается.

Пневмоэлектрическая схема и схема цепей тока показывают управление магазином такого типа на рис. 210.

Управление на основе электрических контактов можно также представить в виде контактной схемы с горизонтально проходящими путями тока (рис. 211).

Электрические контакты отображаются в схеме в виде квадратных скобок (замыкающие контакты) и

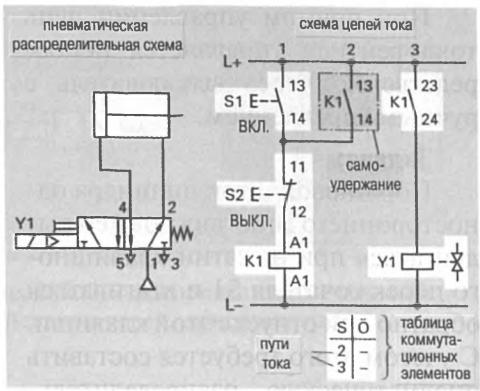


Рис. 208. Схема самоблокировки

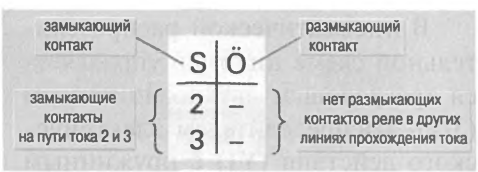


Рис. 209. Таблица коммутационных элементов

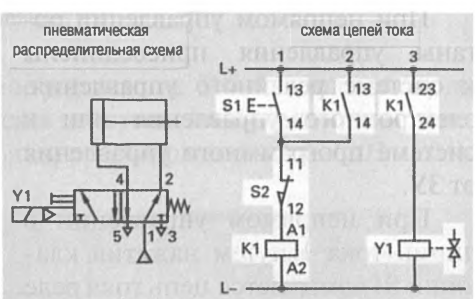


Рис. 210. Магазинный загрузочный механизм

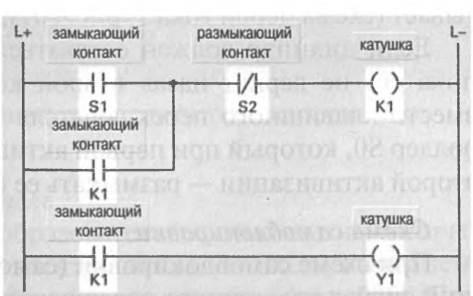


Рис. 211. Контактная схема (для магазина заготовок)

соответственно дополнительной косой черточкой между скобками (размыкающие контакты). Для обозначения электромагнитных катушек используются круглые скобки. Квадратные и круглые скобки, как и косая черточка, входят в набор знаков клавиатуры; поэтому контактные схемы можно составлять на мониторе и распечатывать на принтере.

Привод непрерывного действия

Система управления привода непрерывного действия запускается нажатием клавиши S1, замыкающей цепь тока реле K1 (с самоблокировкой) (рис. 212). В линии тока 3 реле K1 последовательно соединено с выключателем приближения B1 с язычковым контактом (логическая операция И). Этот выключатель из своего исходного положения приводится в действие постоянным магнитом поршня цилиндра. Реле K1 и бесконтактный выключатель с язычковым контактом B1 включают реле K2, которое в линии тока 7 возбуждает электромагнитную катушку Y1. Поршневой шток выдвигается. В конечном положении срабатывает выключатель приближения B2, замыкающий цепь тока для реле K3. В свою очередь, K3 включает электромагнитную катушку Y2, и поршневой шток втягивается. Этот рабочий цикл повторяется до тех пор, пока не будет нажата клавиша выключения и цилиндр не остановится в исходном положении.

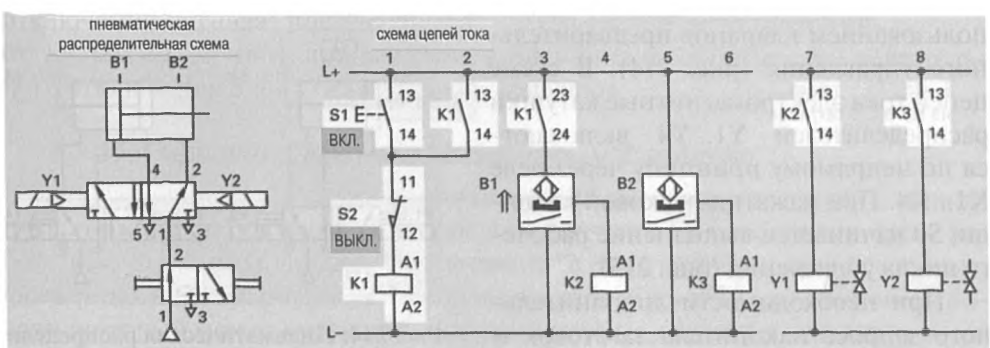


Рис. 212. Пневматическая и электрическая распределительные схемы для привода непрерывного действия

Автоматическое программное управление

Пример: Подъемный механизм.

Заготовки, поступающие на рольганге, должны подниматься цилиндром 1A на высоту второго роликового транспортера (рис. 213). Цилиндр 2A подает заготовки ко второму транспортеру и возвращается назад только после того, как снова произойдет втягивание цилиндра 1A.

Общий план демонстрирует пространственное расположение описанной системы, а диаграмма состояния показывает последовательность шагов при движении обоих цилиндров.

Из диаграммы состояния следует, что предельный клавишный выключатель S3 является условием начала движения цилиндра 1A. Предельный вы-

ключатель S2 инициирует движение цилиндра 2А, предельный выключатель S4 переключает цилиндр в исходное положение, а предельный выключатель S1 вызывает возврат цилиндра 2А.

Диаграмма состояния показывает также, что ни предельные выключатели S3 и S4, ни предельные выключатели S2 и S1 не выдают одновременно коммутационные сигналы, которые могли бы противодействовать работе распределителей и выключать их. Этого не может быть еще и потому, что возвратное движение цилиндров осуществляется в той же последовательности, в какой происходит их выдвижение.

В пневматической распределительной схеме оба цилиндра управляются каждый 5/2-распределителем, которые приводятся в действие с обеих сторон посредством электромагнитов с использованием клапанов предварительного управления (рис. 214). В схеме цепей тока электромагнитные катушки распределителей Y1...Y4 включаются по непрямому принципу через реле K1...K4. При нажатии пусковой клавиши S0 начинается выполнение рабочего цикла управления (рис. 215).

При необходимости дополнительного запроса накопителя заготовок и для достижения длительной работы системы управления распределитель-

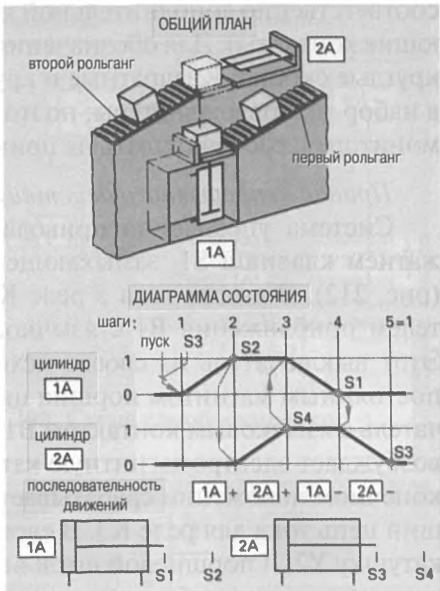


Рис. 213. Общий план и диаграмма состояния подъемного механизма

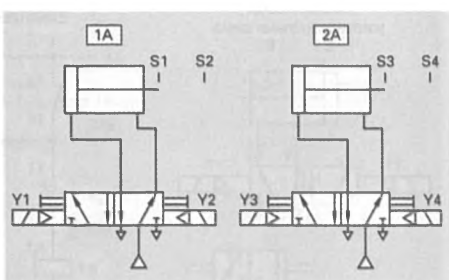


Рис. 214. Пневматическая распределительная схема подъемного механизма

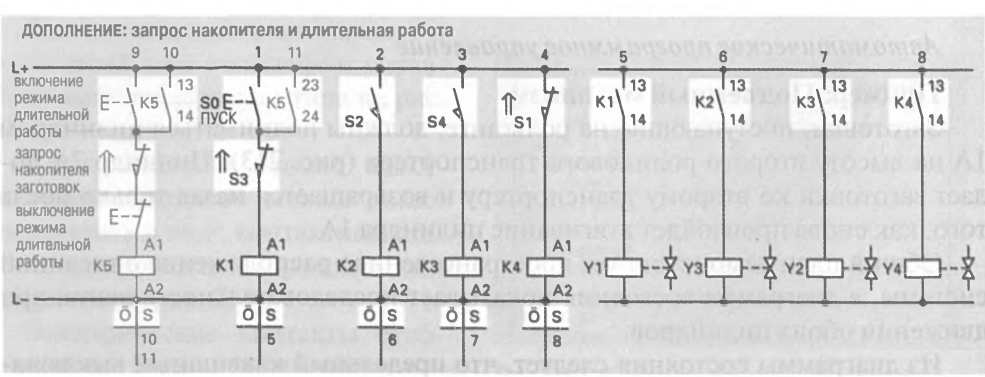


Рис. 215. Схема цепей тока подъемного механизма

ную схему придется расширить за счет клавиши включения/выключения длительного режима работы, предельного выключателя запроса накопителя заготовок и реле K5.

Пример: Гибочный механизм.

В гибочном механизме (см. п. 2.3.10) цилиндры 1A и 2A выполняют следующие движения: 1A+ 2A+ 2A– 1A–. В диаграмме состояния эти движения обозначены сигнальными элементами (рис. 216). В конце шага 1 срабатывает сигнальный элемент S2 от цилиндра 1A1 и остается в активизированном состоянии до конца шага 3. Цилиндр 2A в конце шага 2 запускает сигнальный элемент S4.

Следовательно, сигнальные элементы S2 и S4 срабатывают одновременно в начале шага 3, то есть их сигналы противостоят друг другу на распределителе цилиндра 2A, выдвижение и втягивание которого они должны инициировать. Коммутационный сигнал от сигнального элемента S4 может действовать лишь при условии предварительного отключения сигнала, поступающего от S2. Таким образом, при решении этой задачи не обойтись без обязательного отключения одного из названных сигналов.

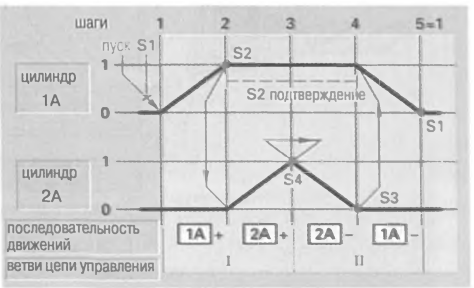


Рис. 216. Упрощенная диаграмма состояния для гибочного механизма

2.3.11. Гидропневматические системы управления

В силу сжимаемости воздуха пневматический цилиндр не способен выполнять движения с постоянной скоростью. Он часто не годится для таких работ, как, например, подача инструмента в сверлильных, шлифовальных, фрезерных или токарных станках. Если монтаж гидравлического привода подачи, который может выполнять эти равномерные движения, представляется слишком затратным, то иногда пытаются достичь поставленной цели путем сочетания пневматических и гидравлических силовых головок.

Приводы подачи

Гидропневматические приводы подачи состоят из управляемого сжатым воздухом рабочего цилиндра и гидравлического цилиндра, посредством которого осуществляется регулирование скорости и торможение движения.

При управлении подачей, скажем, сверлильного станка два цилиндра располагаются в тандеме (рис. 217). После запуска через сигнальный элемент 1S1 осуществляется ускоренная подача — до тех пор, пока кулачок подачи удерживает открытым двухходовой распределитель и масло через резервный бак может беспрепятственно перетекать от левой стороны поршня гидроцилиндра к правой стороне. Как только кулачок освобождает контактный ролик, начинается рабочая подача, скорость которой устанавливается регулируемым дросселем. В конечном положении возвратный кулачок приводит в действие сигнальный элемент 1S2, происходит реверс блока цилиндров и начинается

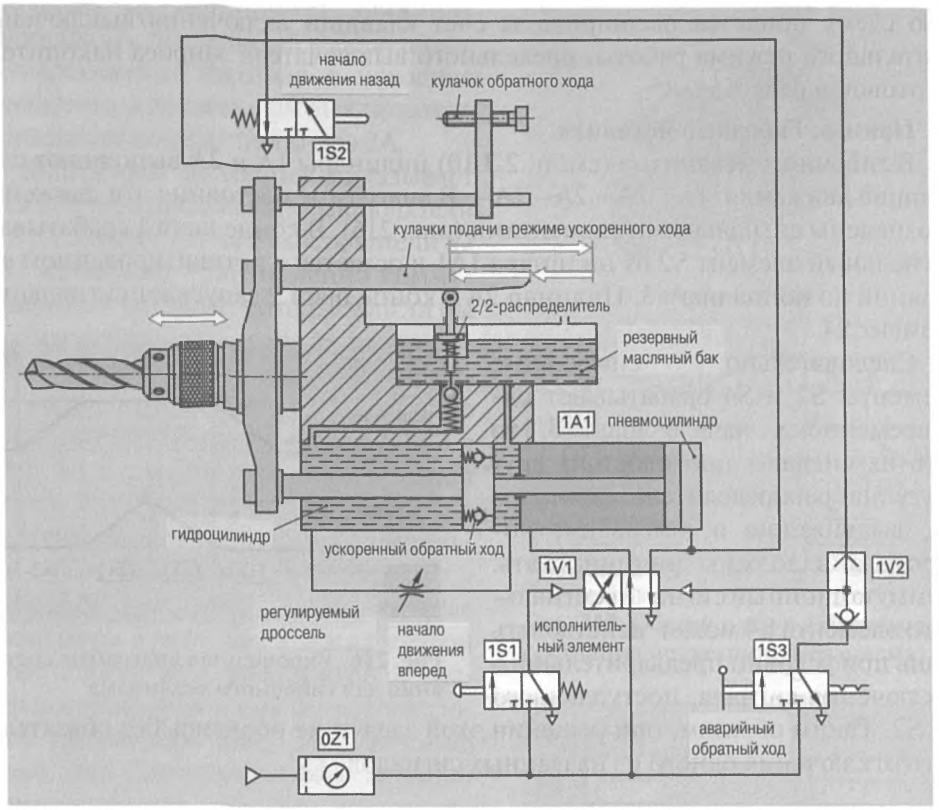


Рис. 217. Гидропневматическое управление подачей сверлильного станка (тандемный блок цилиндров)

ускоренный ход назад, поскольку обратные клапаны в поршне гидроцилиндра открыты с возможностью беспрепятственного протекания масла. Посредством сигнального элемента 1S3 можно при необходимости выполнить аварийный обратный ход из любого текущего положения.

В камере весьма экономичных и не требующих большого ухода гидропневматических цилиндров поршневой цилиндр для выполнения движения подачи нагружается со стороны днища сжатым воздухом, и масло через регулируемый дроссель с обратным клапаном 1V2 вытесняется в кольцевое пространство между поршневым цилиндром и наружным корпусом (рис. 218). Там посредс-

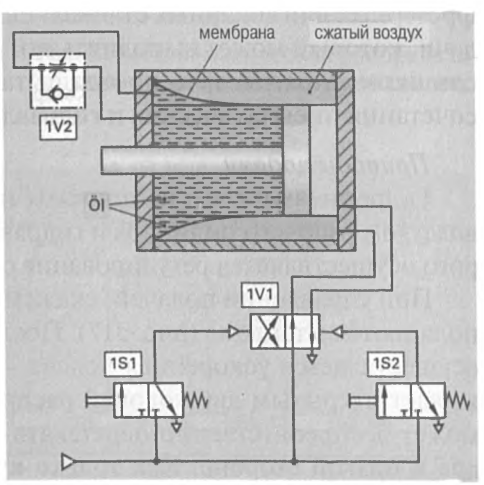


Рис. 218. Гидропневматическое управление подачей (концентрическое расположение цилиндров)

твом концентрически расположенной упругой мембраны масло отделяется от воздушной стороны. Для обратного хода мембрана нагружается сжатым воздухом. Возвращающееся в цилиндр масло вновь смещает поршень назад в исходное положение.

При параллельном расположении гидравлического тормозного цилиндра относительно пневматического цилиндра оба они обладают двусторонними поршневыми штоками, механически соединенными друг с другом (рис. 219). Если поршневой шток пневматического цилиндра частично выполняется в виде зубчатой рейки, то посредством звездочки достигается ограниченное равномерное движение вращения.

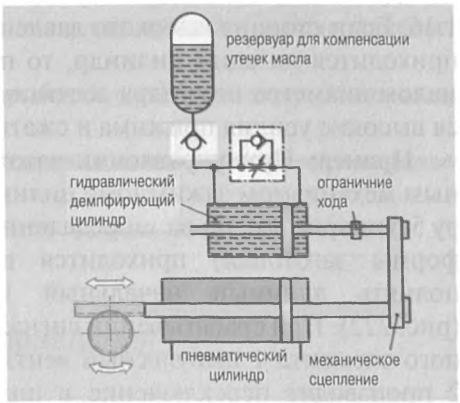


Рис. 219. Гидропневматическое управление подачей (параллельное расположение цилиндров)

Итак, гидропневматические блоки цилиндров могут, например, быстро подводить рабочий инструмент к заготовке, выполнять медленное равномерное движение для операции обработки и возвращаться назад в режиме ускоренного хода.

Преобразователи рабочих сред

Равномерное движение подачи может быть достигнуто также с помощью соответствующих преобразователей рабочих сред (рис. 220).

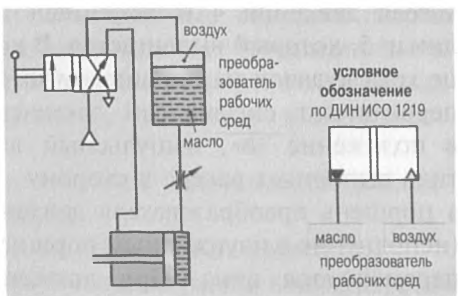


Рис. 220. Управление цилиндром с преобразователем рабочих сред

Преобразователи рабочих сред представляют собой находящиеся под давлением маслосборники, а именно заполненные маслом (примерно на $^2/_3$) баки, в которых сжатый воздух давит на поверхность масла либо непосредственно, либо через плавающий поршень.

Масло протекает через регулируемый дроссель в цилиндр и заставляет его поршневой шток выдвигаться с равномерной скоростью. Обратный ход осуществляется или в результате подачи в цилиндр соответствующего давления, или с помощью второго преобразователя рабочих сред.

При монтаже следует иметь в виду, что из-за опасности подсоса воздуха масляный бак всегда должен размещаться выше рабочего цилиндра.

С учетом возможных утечек преобразователь рабочих сред рассчитывается таким образом, чтобы его емкость минимум на 50% превосходила объем цилиндра.

Преобразователь давления

Преобразователь давления, состоящий из скомпонованных по принципу тандема пневмоцилиндра с большой поверхностью поршня A_1 и гидравличе-

ского цилиндра с малой поверхностью поршня A_2, повышает рабочее давление пневмосети в соотношении $A_2 : A_1$ в гидравлическом блоке (рис. 221).

Повышение давления часто происходит в соотношении 1:4, 1:8 или 1:16. Если сторона высокого давления приходится на один цилиндр, то при малом диаметре цилиндра достигаются высокие усилия прижима и сжатия.

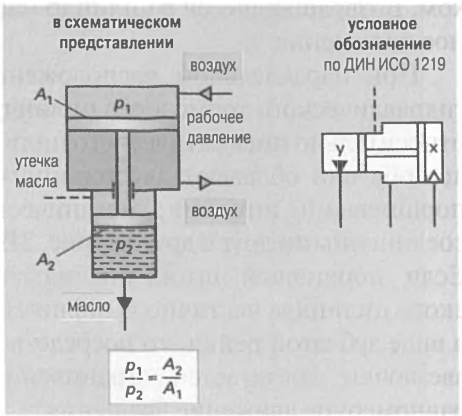


Рис. 221. Преобразователь давления

Пример: При управлении зажимным механизмом зажимному цилиндру 5 (например, из-за определенной формы заготовки) приходится выполнять длинный начальный ход (рис. 222). При срабатывании сигнального элемента 1 импульсный вентиль 2 производит переключение в положение «b»; в результате этого преобразователь рабочей среды 3 нагружается сжатым воздухом, его масло течет по гидравлической стороне преобразователя давления 4 в зажимный цилиндр 5, который выдвигается. В конце хода кулачок на поршневом штоке переключает сигнальный элемент 6 в положение «b», импульсный вентиль выполняет реверс в сторону «b», а поршень преобразователя давления (исполнение с плунжерным поршнем) перемещается вниз. При движении вниз выравнивается объем масла между гидравлической стороной преобразователя давления и преобразователем рабочих сред 3 при одновременном завершении начального хода зажимного цилиндра. Как только поршневой шток преобразователя давления погружается в нижнюю часть гидравлической стороны, в зажимном цилиндре возрастает давление. Заготовка зажата.

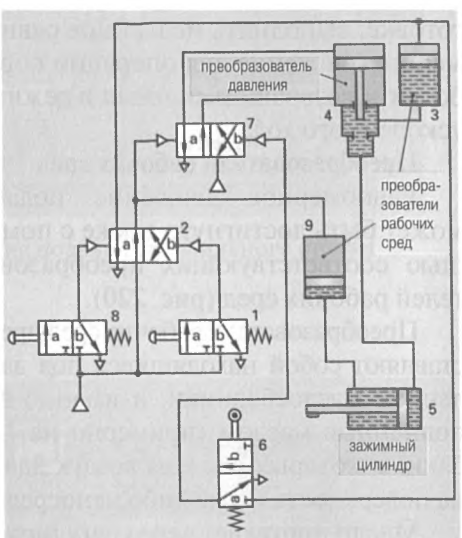


Рис. 222. Управление зажимным механизмом с помощью преобразователей рабочих сред и преобразователя давления

Обратное движение инициируется через сигнальный элемент 8. Импульсный вентиль 2 переключается назад в положение «a»; из трубопровода, ведущего к преобразователю рабочих сред 3 и сигнальному элементу 6, выпускается воздух, и преобразователь рабочих сред 9 оказывается под давлением. Импульсный вентиль 7 может теперь вернуться в положение «a», в результате чего приходит в движение поршень преобразователя давления; зажимный цилиндр втягивается.

Повторение и закрепление материала

1. *Какие задачи выполняют гидропневматические приводы подачи?*
2. *Назовите три конструктивных исполнения гидропневматических приводов подачи.*
3. *Как можно с помощью гидропневматических приводов подачи добиться ограничения движений вращения?*
4. *Происходит ли в преобразователе рабочих сред повышение давления на масляной стороне?*
5. *Каким образом в преобразователе давления возникает повышение давления на гидравлической стороне?*
6. *Назовите конструктивные исполнения преобразователей давления.*

2.4. Гидравлические системы управления

2.4.1. Общие сведения

Гидравлика как технология регулирования и управления на основе рабочей жидкости (масла) находит применение прежде всего в тяжелом машиностроении, прессостроении, в производстве крановых установок и строительных машин. Еще одна важная область применения гидравлики — металлообрабатывающие станки, где гидравлические конструкционные элементы широко используются для зажима инструментов или заготовок и, не в последнюю очередь, для транспортировки тяжелых деталей. Основные свойства гидравлики:

- высокая удельная мощность, позволяющая достаточно компактное конструктивное исполнение,
- быстрые, чувствительные и бесступенчато регулируемые движения,
- возможность передачи высоких усилий,
- надежная защита от перегрузок за счет ограничения давления.

Передача энергии осуществляется посредством жидкости в неподвижном (спокойном) состоянии (гидростатика) или посредством текущей жидкости, то есть находящейся в подвижном состоянии (гидродинамика).

2.4.2. Физические аспекты

2.4.2.1. Гидростатика

Когда на находящуюся в спокойном состоянии жидкость оказывается усилие, создаваемое поршнем, возникает давление (рис. 223), величина которого одинакова в любом месте системы.

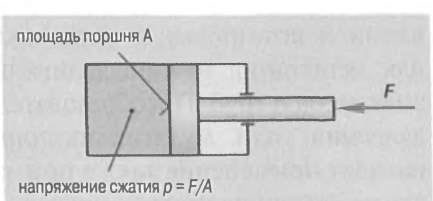


Рис. 223. Гидравлическое давление

$$p = \frac{F}{A}$$

p — давление, F — сила, A — площадь поршня

Единицей давления является бар (1 бар = 10 Н/см^2).

Давление на основание (рис. 224) составляет:

$$P_{\text{основания}} = \delta \cdot g \cdot h$$

δ — давление, g — ускорение силы тяжести, h — высота.

Давление на основание или грунт не зависит от площади. Оно зависит только от высоты столба жидкости (парадокс Паскаля) (рис. 225).

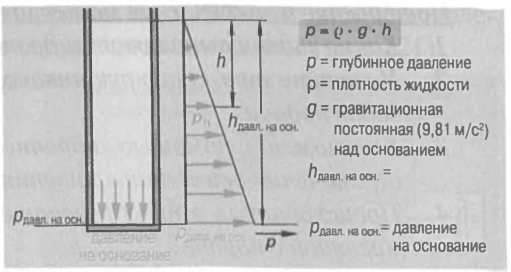


Рис. 224. Глубинное давление и давление на основание

Распространение давления (рис. 226)

Если спокойная жидкость в цилиндре с площадью A_1 оказывается под давлением в результате создаваемого поршнем усилия F_1, то это давление распространяется во все стороны, обеспечивая в другом цилиндре с площадью A_2 усилие F_2.

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \text{или} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

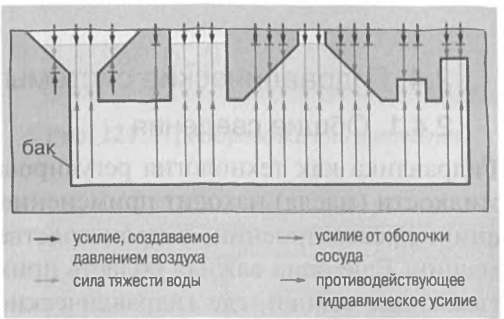


Рис. 225. Давление на основание бака

Преобразование давления

На практике преобразование давления имеет огромное значение, например при создании усилия замыкания прессформ в машинах для литья под давлением, при прессовании для генерации конечного усилия, при внутреннем обратном выдавливании, формовании и штамповке, в установках для испытания на продавливание змеевиков и труб. Преобразователи давления, или мультипликаторы, находят применение также при замене рабочих сред, например при переходе с пневматики на гидравлику.

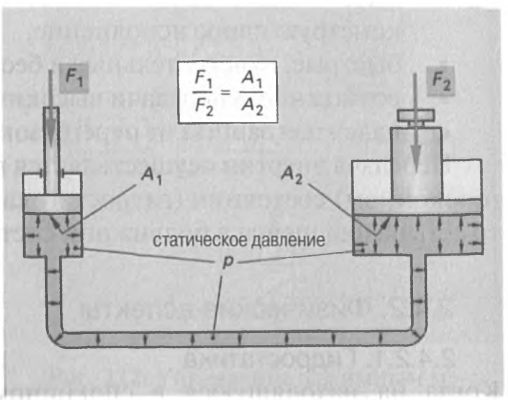


Рис. 226. Распространение давления в неподвижной жидкости

Принцип действия преобразователей давления основан на том, что используемый поршень имеет разные площади и с его помощью удается увеличивать либо уменьшать величину давления.

В статичной системе величина давления в любом месте одинакова. Следовательно, имеют силу уравнения:

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

p_1, p_2 – давление в системах 1, 2; F_1, F_2 – усилие в системах 1, 2; A_1, A_2 – площадь поршня в системах 1, 2.

При равном усилии (рис. 227) величины давления обратно пропорциональны площади поршня, то есть: $F_1 = p_1 \ A_1$ и $F_2 = p_2 \ A_2$ с $F_1 = F_2 =>$

$$p_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot p_1$$

p_2 – давление, на стороне выхода, A_2 – площадь поршня, на стороне выхода, p_1 – давление, на стороне входа, A_1 – площадь поршня, на стороне входа.

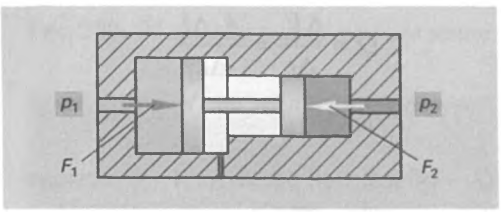


Рис. 227. Принцип преобразования давления

Пример:

С помощью гидравлического автомобильного домкрата требуется развить усилие $F_2 = 65$ кН (рис. 224). С какой силой F_1 придется давить ногой на педаль домкрата? Возможные потери на трение оставим без внимания.

Решение:

Гидравлика

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}; \ \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{144}; \ F_1 = \frac{1}{144} \cdot F_2; \ F_1 = 451{,}4 \text{ Н};$$

Рычажная передача

$$F_1 = \frac{1}{5} \cdot F_1; \ F_1 = 90{,}3 \text{ Н}.$$

Упражнение: Преобразование давления

Преобразователь давления согласно рис. 229 имеет коэффициент трансформации 1:4. К присоединению А будет притекать масло в объеме, обеспечивающем показанное на рисунке положение рабочего поршня. Тогда на присо-

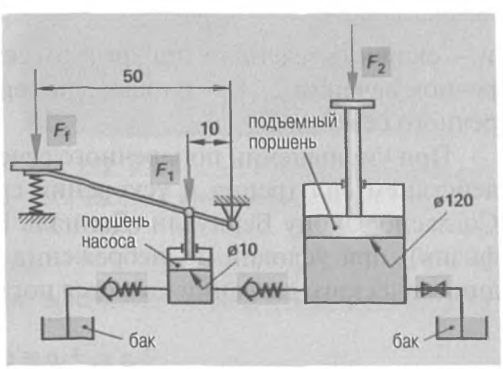


Рис. 228. Гидравлический домкрат

единении B срабатывает преобразователь давления, действующий с первичным давлением (на B), равным 100 бар.

Какое усилие способен создать рабочий поршень, если он обладает диаметром D = 100 мм?

Решение:

$$p_{\text{вторичн.}} = 4 \cdot p_{\text{первичн.}} = 100 \text{ бар} \cdot 4 = 400 \text{ бар}$$

$$F = p \cdot A = 400 \frac{H}{см^2} \cdot 78{,}5 \text{ см}^2 = 314 \text{ кН}$$

2.4.2.2. Гидродинамика

Жидкости могут течь по трубе только при наличии разности давлений. В закрытой системе объемный расход остается постоянным. Следовательно:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \Delta l}{\Delta t}$$

$$Q = A \cdot v$$

Q — объемный расход, ΔV — элемент объема, Δt — отрезок времени, A — площадь поперечного сечения, Δl — длина элемента объема, v — скорость течения.

Жидкость вынуждена быстрее протекать в тех местах, где площадь поперечного сечения A меньше (рис. 230), то есть скорости объемного потока обратно пропорциональны поперечным сечениям.

$Q_1 = v_1 \cdot A_1$, $Q_2 = v_2 \cdot A_2$ с $Q_1 = Q_2 \Rightarrow$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

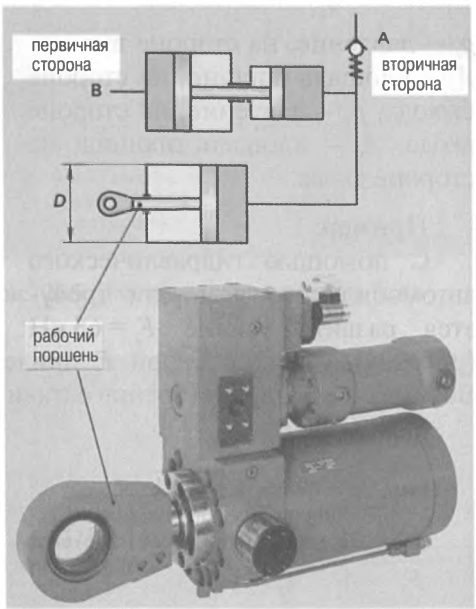


Рис. 229. Преобразователь давления с рабочим поршнем

v_1 — скорость течения в поперечном сечении 1, v_2 — скорость течения в поперечном сечении 2, A_1 — площадь поперечного сечения 1, A_2 — площадь поперечного сечения 2.

При уменьшении поперечного сечения скорость течения возрастает. Под действием сил трения и ускорения среды давление в узких местах падает. Согласно закону Бернулли (Даниэль Бернулли, 1700-1782 гг., швейцарский физик), при условии пренебрежения силой тяжести сумма статического и динамического давлений является постоянной. Таким образом,

$$\frac{1}{2}\rho\, v_2 + p = \text{const.}$$

ρ — плотность жидкости, v — скорость течения, p — статическая разность давлений.

По закону сохранения энергии температура среды при протекании ее через сужение возрастает (рис. 230).

Следует различать ламинарный и турбулентный режимы течения. В случае медленного протекания по гладким трубам имеет место ламинарное течение. При увеличении скорости течения возникает турбулентность. Критерием оценки здесь служит число Рейнольдса (Рейнольдс Осборн, 1842–1912 гг., английский физик, открывший в 1883 г. названный его именем закон подобия) (рис. 231):

$$\mathrm{Re} = \frac{v_m \cdot d}{\nu}$$

Re — число Рейнольдса, v_m — средняя скорость течения, ν — кинематическая вязкость, d — длина обтекания.

Начиная с *Re* 2300-2800 наблюдается переход с ламинарного режима течения на турбулентный.

Кавитация

При очень высоких скоростях падение давления может быть столь велико, что жидкость как бы разрывается, образуя мельчайшие пузырьки пара. Они стремительно растут, теряя устойчивость и в конце концов обрушиваются у граничащих с ними стенок — происходит кавитация (рис. 232).

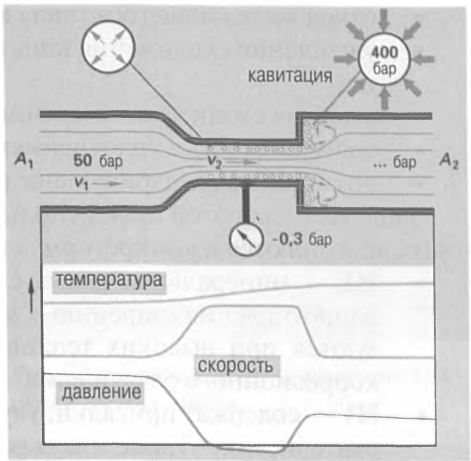


Рис. 230. Объемный расход в узком месте

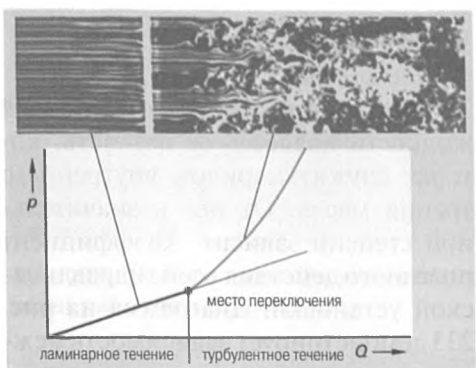


Рис. 231. Ламинарное и турбулентное течение

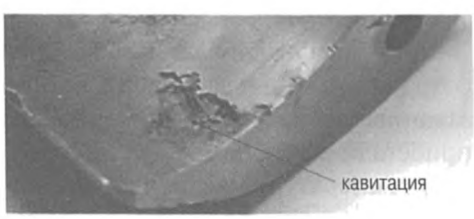


Рис. 232. Кавитация при работе шестеренного насоса с внутренним зацеплением

2.4.3. Гидравлические жидкости

Задача гидравлической жидкости состоит в передаче гидравлической энергии.

Требования к рабочим жидкостям на масляной основе (гидравлическим маслам):

- обеспечение смазки подвижных деталей, снижение трения,
- защита металлических частей от коррозии,

отвод выделяющегося тепла из рабочих агрегатов,
улучшение скольжения конструкционных элементов в процессе работы,

- высокая стойкость к старению,
- совместимость с уплотнениями,
- оптимальная деаэрирующая (антивспенивающая) способность.

Чаще всего для этой цели используются минеральные масла, свойства которых подгоняются к конкретному случаю применения.

- **HL** — минеральные масла с содержанием присадок для повышения сопротивления старению и улучшения защиты от коррозии; используются при высоких тепловых нагрузках или серьезной опасности коррозионного разрушения.

  HV — содержат присадки, улучшающие вязкостно-температурную характеристику. Такие масла рекомендуются для случаев с резко колеблющимися температурами (мобильная гидравлика).

Помимо этого, существуют трудновоспламеняемые рабочие жидкости (**HF**), а также синтетические гидравлические масла для специального применения.

Вязкость

Важнейшим свойством рабочей жидкости является ее вязкость, которая служит мерилом внутреннего трения масла. От нее в значительной степени зависит коэффициент полезного действия всей гидравлической установки. Диаграмма на рис. 233 демонстрирует зависимость между вязкостью, температурой и давлением в случае типичного масла для гидросистем. С повышением температуры вязкость понижается, а с ростом давления она возрастает.

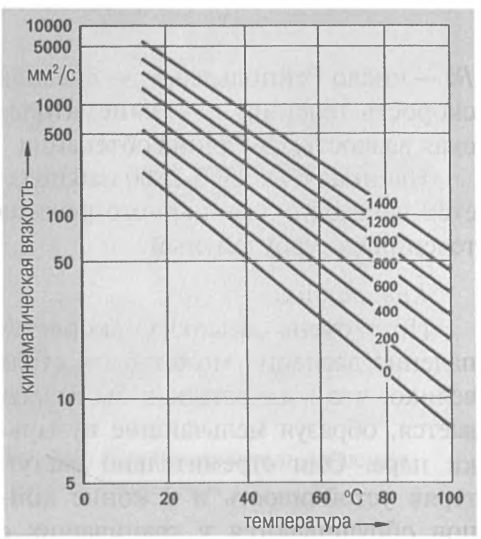


Рис. 233. Характеристика зависимости вязкости масла от температуры и давления

Чтобы гидравлические установки сохраняли в процессе эксплуатации заданные характеристики, нередко прибегают к настройке на постоянную температуру масла, для чего используются специальные холодильные агрегаты.

Изменение объема масла

По мере роста температуры масло увеличивается в объеме. Так, повышение температуры на 10°С приводит к увеличению объема масла примерно на 0,65%. В замкнутых системах при этом возможны повышения давления. При росте давления объем масла, напротив, сокращается, как это видно на рис. 234. Эти свойства приводят иногда к нежелательным колебаниям в гидравлических системах.

Пример (рис. 235):

Масло в объеме V = 100 литров нагружается давлением 100 бар и нагревается с 10°С до 20°С.

Уход за рабочими жидкостями

В результате износа металлических элементов гидравлических насосов, гидравлических двигателей, клапанов и вентилей, а также уплотнений разного рода в масло попадают частицы грязи и прочие посторонние вещества. Для определения степени загрязненности масла существует способ измерения размера и концентрации проникших в него частиц. Это достигается с помощью специального прибора для подсчета частиц (рис. 236), показывающего уровень чистоты масла. При этом непрерывный поток масла проходит мимо источника лазерного излучения. Частицы грязи дают тень, преобразуемую в электронные сигналы, которые и подсчитываются.

Классы чистоты масел

Согласно ИСО 4406 при указании чистоты масла используется два или три значения: например 14/11 либо 17/14/11. В случае двух значений первое из них действительно для частиц > 5 мкм, второе — для частиц > 15 мкм в 100 мл жидкости. В отношении трех значений имеет силу градация 2 мкм — 5 мкм — 15 мкм. См. здесь таблицу 22.

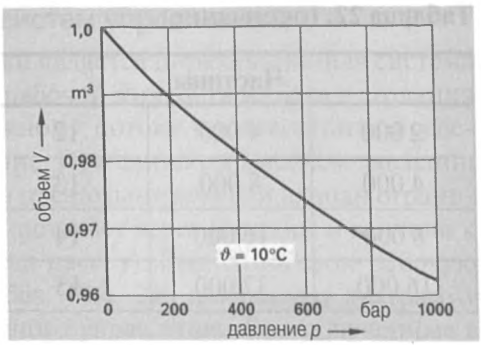


Рис. 234. Кривая объема-давления гидравлического масла

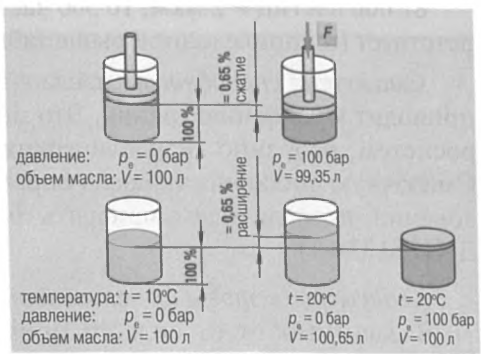


Рис. 235. Влияние давления и температуры на рабочую жидкость

Рис. 236. Прибор для подсчета частиц грязи в масле

Таблица 22. Классы чистоты масел (ИСО 4406)

Частицы			Частицы		
от	*до*	*Код*	*от*	*до*	*Код*
500	1 000	10	32 000	64 000	16
1 000	2 000	11	64 000	130 000	17

Таблица 22. (окончание)

Частицы			Частицы		
2 000	4 000	12	130 000	250 000	18
4 000	8 000	13	250 000	500 000	19
8 000	16 000	14	500 000	1 000 000	20
16 000	32 000	15	1 000 000	2 000 000	21

Пример: Определение класса чистоты масла.

(Число частиц в 100 мл масла):

82 000 частиц > 2 мкм, 10 500 частиц > 5 мкм, 1 200 частиц > 15 мкм соответствует (по приведенной выше таблице) классу чистоты 17/14/11.

Смазочная способность масла в процессе эксплуатации понижается, что приводит к усилению трения. Это может стать причиной сбоев в работе гидросистем, особенно гидравлических насосов и гидравлических двигателей. Смазочную способность масла определяют с помощью специального оборудования, позволяющего измерять имеющуюся степень износа (контроль по ДИН 51374-1).

Классы фильтров и их использование

В зависимости от области применения требуется масло определенного класса чистоты. Это достигается обычно благодаря правильно выбранным фильтрам, например с учетом рекомендаций ИСО (рис. 237). Для поддержания чистоты масла встраиваются специальные масляные фильтры (рис. 238).

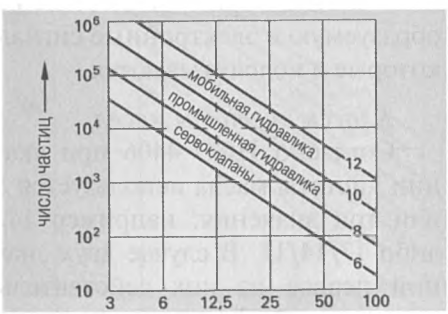


Рис. 237. Классы фильтров

Вакуум-фильтр встраивается перед насосом. Как правило, это фильтры довольно грубой очистки, что позволяет удерживать падение давления при протекании масла на достаточно низком уровне. После насоса можно установить фильтры высокого давления. Нередко используют также фильтры в сливной линии. Все они исполнены с таким расчетом, чтобы при большом загрязнении масло могло протекать в обход, минуя фильтрацию. В этом случае иногда прибегают к помощи электрического сигнала, указывающего на необходимость замены фильтра.

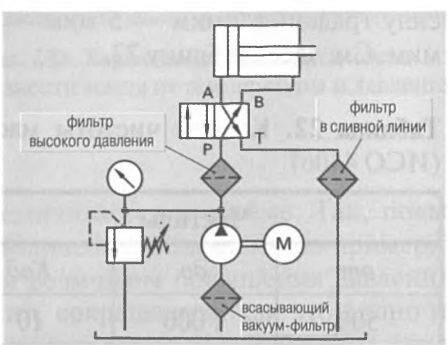


Рис. 238. Фильтры в гидросистеме

2.4.4. Структура гидравлических систем управления

Основой любой гидравлической установки является циркуляционная система (рис. 239). Она начинается с всасывания рабочей жидкости из бака и создания насосом объемного расхода. Если объемному потоку противостоит определенное сопротивление, возникает давление. При слишком высоком давлении объемный поток отводится в бак — через предохранительный клапан ограничения давления. В другом случае масло протекает через клапаны и вентили к исполнительным агрегатам (цилиндру или насосу). Выполнив свою рабочую задачу, масло возвращается обратно в бак. Рис. 240 показывает диаграмму изменения давления на примере первичного управления. Все включенные в контур конструкционные элементы представляют собой сопротивления, которые при текущей рабочей жидкости преобразуют энергию давления в тепловую или соответственно в механическую энергию (цилиндр или двигатель), так что масло стекает в бак уже без давления. Конструкционные элементы действуют примерно так же, как и резисторы в электротехнике. Основная часть энергии в виде кинетической или потенциальной энергии предлагается для выполнения рабочей задачи.

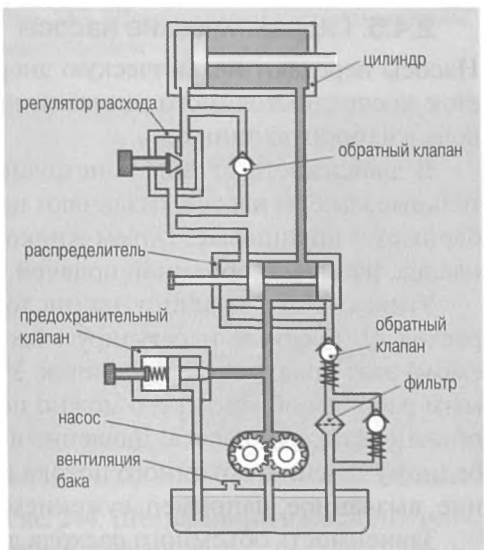


Рис. 239. Принцип действия первичного управления

Распределители служат для реверсирования гидравлического объемного потока и включаются электрическим либо механическим способом.

Регуляторы расхода являются в принципе «узким местом», где часть гидравлической энергии преобразуется в тепло. Они используются для регулирования скорости.

В цилиндрах или гидравлических двигателях гидравлическая энергия преобразуется в механическую энергию.

Масляный фильтр в сливной линии производит очистку масла, прежде чем оно (без давления!) сливается в бак.

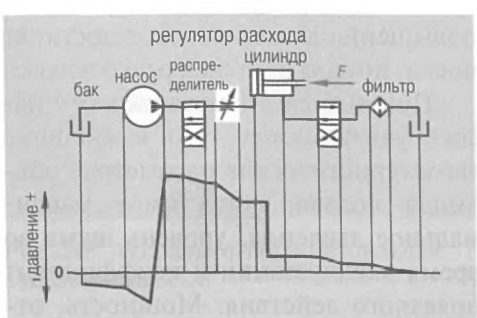


Рис. 240. Изменение давления при первичном управлении

Гидростанция

Гидростанции (рис. 241) предлагаются часто в виде комплектных стандартизованных блоков, которые легко и быстро пристраиваются к машине. Электродвигатель через

муфту соединен с гидронасосом. Подача масла осуществляется по всасывающему трубопроводу, который должен быть как можно короче.

Для поддержания небольшого вакуума во всасывающем трубопроводе его выполняют достаточно большого диаметра. Он должен быть абсолютно герметичным во избежание подсоса воздуха. Воздушный фильтр в заправочной горловине защищает от проникновения пыли с воздухом, попадающим в бак при каждом выдвижении штока поршня.

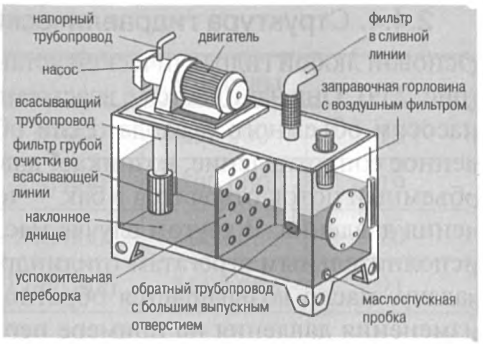


Рис. 241. Гидростанция

2.4.5. Гидравлические насосы

Насосы передают механическую энергию в рабочую жидкость. Это достигается за счет постоянного вытеснения жидкости из всасывающего трубопровода в напорную линию.

В зависимости от типа конструкционных деталей, образующих вытеснительные камеры насоса, различают насосы шестеренные, пластинчатые (шиберные) и поршневые. Объем жидкости, вытесненный за один рабочий ход насоса, называют объемной подачей V.

Умножив эту величину на число оборотов насоса, получаем объемный расход Q. В случае нерегулируемых насосов (с постоянным рабочим объемом) этот показатель не меняется. У регулируемых же насосов (с регулируемым рабочим объемом) его можно постоянно варьировать путем изменения объемной подачи насоса. Давление в напорной линии возникает, когда свободному течению объемного потока препятствует определенное сопротивление, вызванное, например, сужением трубопровода.

Зависимость объемного расхода демонстрирует кривая на рис. 242. Такая характеристика регистрируется при постоянном числе оборотов, причем насос гонит жидкость в бак, преодолевая сопротивление клапана ограничения давления. Путем соответствующей настройки этого клапана повышают давление и измеряют полученную при этом объемную подачу насоса. По мере повышения давления насос достигает наконец предела нагрузочной способности, потери от утечек резко возрастают, а объемная подача падает.

При выборе гидравлического насоса учитываются его важнейшие характеристические параметры: объемная подача, допустимое максимальное давление, уровень шума во время эксплуатации и коэффициент полезного действия. Мощность, отдаваемая насосом в рабочую жидкость, составляет:

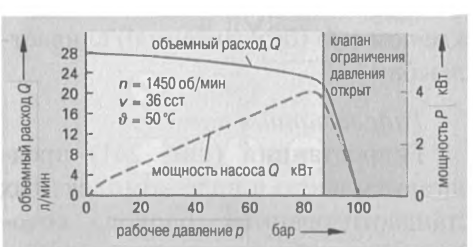


Рис. 242. Характеристика насоса

$$P = p \cdot Q \cdot \eta$$

P — отдаваемая выходная мощность, p — давление, Q — объемная подача, η — коэффициент полезного действия

Шестеренные насосы

Шестеренный насос с внешним зацеплением содержит пару сопряженных зубчатых колес, которые и приводят его в действие (рис. 243). В результате вращательного движения зубчатых колес рабочая жидкость во впадинах между зубьями вытесняется вдоль стенки корпуса от стороны всасывания к напорной стороне.

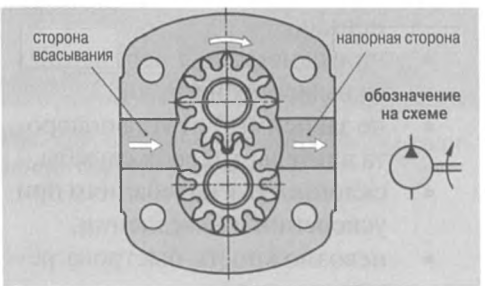


Рис. 243. Шестеренный насос с внешним зацеплением

Находящиеся в зацеплении зубья препятствуют обратному протеканию потока жидкости, перекрывая впадины, еще до того, как остаточная жидкость полностью выйдет из них, создавая там то самое сжатие, которое и является причиной жесткой и шумной работы.

У шестеренного насоса с внутренним зацеплением малая шестерня приводит в действие просверленное по межзубным впадинам колесо с внутренними зубьями (рис. 244), для фиксации которого используются специальная вставка и вкладыш подшипника. Рабочая жидкость течет по межзубным впадинам между вставкой и малой шестерней или соответственно между вставкой и колесом с внутренними зубьями от стороны всасывания к напорной стороне. Следует особо подчеркнуть, что благодаря большой длине линии зацепления зубчатых колес и движению без бокового зазора такой насос работает почти бесшумно.

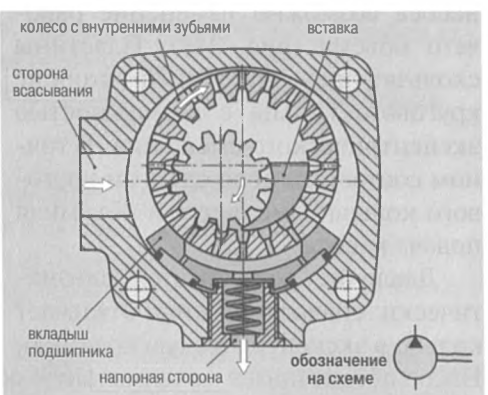


Рис. 244. Шестеренный насос с внутренним зацеплением

Аксиально-поршневые насосы

В таких насосах поршни располагаются по оси в подшипниках с шаровым вкладышем, получая дополнительную осевую опору и увлекая за собой барабан в радиальном направлении (рис. 245).

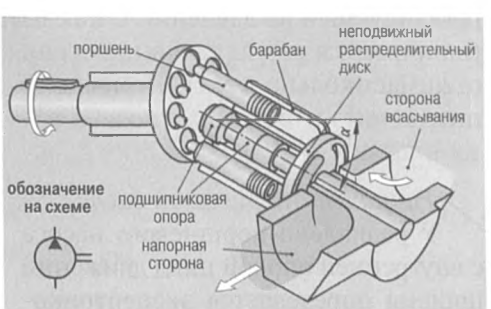


Рис. 245. Аксиально-поршневой насос с наклонной осью

Характерные преимущества и недостатки насосов с наклонной осью:

- возможность самовсасывания и легкий запуск,
  нечувствительность к загрязнению,
  пригодность для переменных сжимающих нагрузок,
  не зависимый от угла поворота длительный срок службы,
  склонность к колебаниям при ускорении и замедлении,
  невозможность быстрого регулирования.

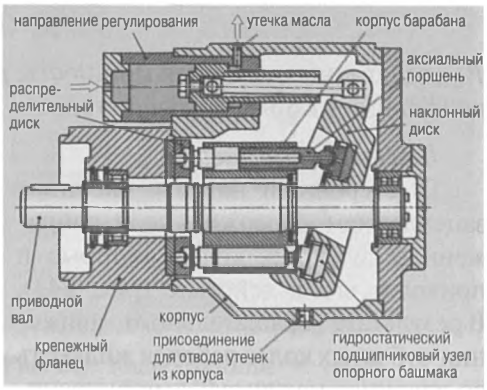


Рис. 246. Аксиально-поршневой насос с наклонным диском

Пластинчатый (шиберный) насос

У регулируемого пластинчатого насоса возможно изменение рабочего объема (рис. 247). Пластины скользят по внутренней стороне кругового кольца с возможностью эксцентрического смещения. В точном соответствии со сдвигом кругового кольца изменяется и объемная подача насоса

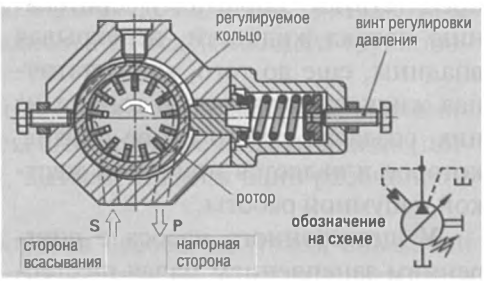


Рис. 247. Регулируемый пластинчатый насос

Давление регулируется автоматически: сначала пружина отжимает кольцо в эксцентрическую позицию. Насос обеспечивает максимальную объемную подачу и заполняет присоединенную установку рабочей жидкостью до тех пор, пока происходит рост давления. Это повышающееся давление прижимает кольцо к пружине, устраняя эксцентриситет. Объемная подача приближается к нулю (мы имеем насос, регулируемый по давлению). Как только рабочее давление в установке падает (например, в результате выдвижения цилиндра), упомянутая пружина вновь отжимает кольцо в эксцентрическое положение, и объемная подача возобновляется.

Радиально-поршневой насос

У радиально-поршневого насоса с внутренней опорой цикл движений поршня определяется эксцентриковым валом (рис. 248). Управление рабочей жидкостью на стороне всасывания и напорной стороне посредством автоматически действующих обратных клапанов (внешнее нагружение)

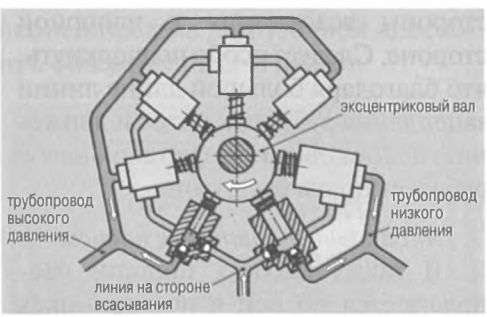


Рис. 248. Радиально-поршневой насос с внутренней опорой

имеет то преимущество, что насосный агрегат может быть скомпонован из индивидуально действующих отдельных насосов. Благодаря этому удается — путем включения и отключения насосных элементов — ступенчато регулировать объемную подачу. Поршни располагаются по типу звезды или последовательно друг за другом (рис. 249). Оба этих конструктивных исполнения вполне можно комбинировать друг с другом.

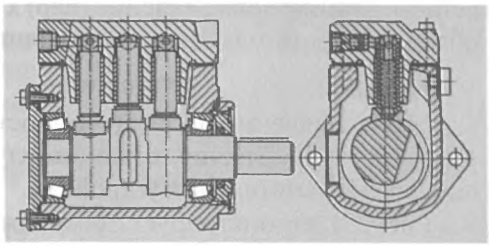


Рис. 249. Секционная конструкция радиально-поршневого насоса

2.4.6. Гидроаккумуляторы

Гидравлическая энергия может накапливаться за счет натяжения пружины или подъема груза, которые при необходимости могут вновь отдать рабочей жидкости свою потенциальную энергию. Однако в большинстве случаев аккумулирование достигается путем сжатия объема газа.

Гидроаккумуляторы призваны выполнять следующие основные задачи:

- аккумулировать энергию,
- гасить вибрацию,
- компенсировать колебания объемной подачи,
- создавать резервный объем масла на случай утечек,
- держать наготове запас энергии для аварийных ситуаций.

Гидроаккумуляторы бывают разных исполнений (рис. 250).

Мембранный аккумулятор. Мембранные аккумуляторы служат для аккумулирования небольших объемов порядка 0,1–4 литров и имеют открытую на газовую сторону мембрану в форме полусферы.

Баллонный аккумулятор. В баллонном аккумуляторе азот отделен от рабочей жидкости закрытым пластиковым баллоном. Тарелка клапана препятствует возможному при опорожнении аккумулятора разрушению баллона. Емкость такого аккумулятора достигает 200 литров.

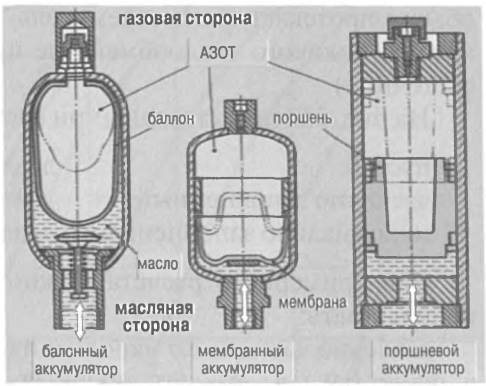


Рис. 250. Гидроаккумуляторы

Поршневой аккумулятор. В поршневом аккумуляторе подвижный поршень отделяет газовую камеру от полости с жидкостью. Для повышения аккумулирующей способности к газовой камере могут быть присоединены баллоны с азотом.

На гидроаккумуляторы распространяются правила техники безопасности, действующие на месте их установки. В Германии имеет силу следующая

регламентация: если давление (бар) х номинальный объем (литров) > 200, необходимо принимать соответствующие меры безопасности.

Пример:

Макс. давление 150 бар, емкость аккумулятора 2,8 литра. Получаем: 150 × 2,8 = 420. Значит, в данном случае требуется установка соответствующих предохранительных устройств.

Рис. 251 демонстрирует схему зажимного приспособления с предохранительным оборудованием

1. Манометр для непрерывной индикации давления,
2. Испытанный вентиль ограничения давления,
3. Запорный элемент,
4. Спускной кран для снятия давления.

Расчет аккумулятора

Здесь за основу берется закон газовой динамики:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1}$$

p_0 и p_1 — давление до — после, V_0 и V_1 — объем до — после, T_0 и T_1 — температура до — после.

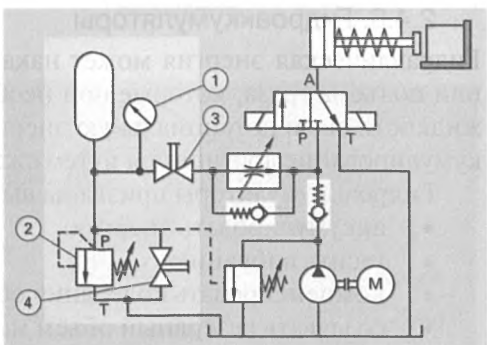


Рис. 251. Схема аккумулятора с предохранительным оборудованием

При выполнении расчета нередко исходят из самой неблагоприятной ситуации, когда изменение объема протекает столь стремительно, что никакого теплообмена не происходит (изменение адиабатического состояния).

На рис. 252 представлены три состояния аккумулятора:

пустой:	давление p_0 и объем V_0 (номинальный объем)
частично заполненный:	давление p_1 и объем V_1
максимально заполненный:	давление p_2 и объем V_2.

Для примерного расчета можно использовать:

давление частичного наполнения p_0 около 0,9 p_1; емкость аккумулятора 2 · требуемый объем масла.

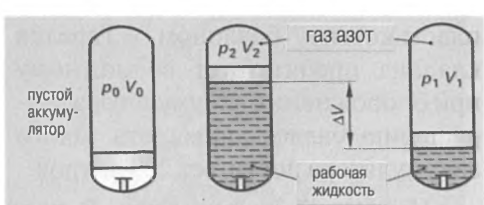


Рис. 252. Емкость аккумулятора V_0 и полезный объем ΔV

На рис. 253 показан баллонный аккумуляторный блок, состоящий из собственно баллонного аккумулятора, пристроенного к нему предохранительного модуля с запорным клапаном и разгрузочным вентилем. В таком виде этот блок можно устанавливать прямо на машине.

Пример: Расчет аккумулятора.

Для управления движением с повышенной скоростью требуется давление не ниже 60 бар. Для рабочего хода из аккумулятора забирается 1,5 литра масла.

1. Примерный расчет емкости аккумулятора

• номинальный объем = 2·1,5 л = 3,0 л.

Выбирается стандартный аккумулятор с номинальным объемом 4 литра.

2. Давление при частичной загрузке:

• давление при частичной загрузке = 0,9 минимальное давление:

• давление при частичной загрузке = 0,9 60 бар = 54 бар.

3. Максимальное давление.

Максимальное давление можно считать из номограммы на рис. 254 (см. линии 1, 2, 3, 4, 5). Получаем максимальное давление p_2 = 140 бар.

Рис. 253. Баллонный аккумулятор

Результат:

В начале рабочего хода система должна иметь p_2 = 140 бар, чтобы после отбора 1 литра масла сохранить еще p_1 = 60 бар.

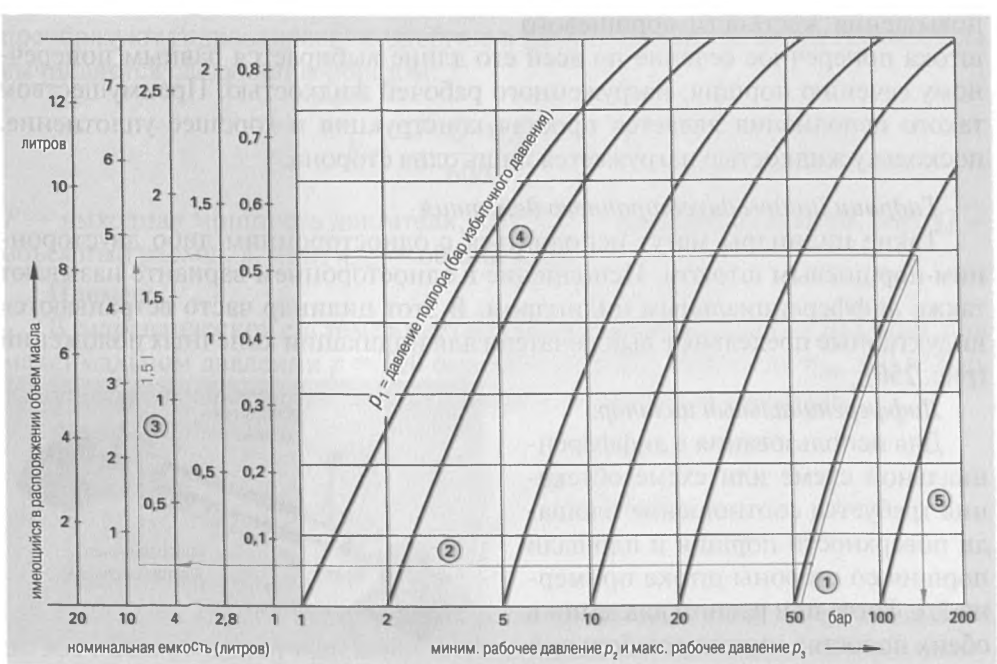


Рис. 254. Характеристика давления—объема (адиабата)

Упражнение:

Вычислить максимальное давление, предполагая, что для приведенного выше примера используется аккумулятор с номинальной емкостью 10 литров. Объяснить полученный результат.

2.4.7. Приводные механизмы

К гидравлическим приводным механизмам относятся цилиндры, поворотные двигатели и гидромоторы. Их задачей является преобразование гидравлической энергии в механическую энергию линейного или вращательного движения.

Гидроцилиндры

На рис. 255 представлено несколько видов цилиндров, из которых наибольшей популярностью пользуются гидроцилиндры двустороннего действия, предлагаемые в исполнении с одно- или двусторонним поршневым штоком.

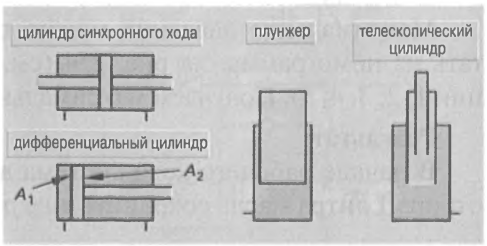


Рис. 255. Разные виды цилиндров

Гидроцилиндры одностороннего действия

Цилиндр одностороннего действия, чаще именуемый плунжером, нагружается с одной стороны рабочей жидкостью и под действием внешнего усилия, например, собственного веса, отводится назад. В целях повышения жесткости поршневого штока поперечное сечение по всей его длине выбирается равным поперечному сечению поршня, нагруженного рабочей жидкостью. Преимуществом такого исполнения является простая конструкция и хорошее уплотнение, поскольку жидкостью нагружается лишь одна сторона.

Гидроцилиндры двустороннего действия

Такие цилиндры могут исполняться с односторонним либо двусторонним поршневым штоком. Исполнение в одностороннем варианте называют также дифференциальным цилиндром. В этот цилиндр часто встраиваются индуктивные предельные выключатели для индикации конечных положений (рис. 256).

Рис. 256. Цилиндр двустороннего действия

Дифференциальный цилиндр.

Для использования в дифференциальной схеме или схеме обтекания требуется соотношение площади поверхности поршня и площади поршня со стороны штока примерно 2:1. Тогда при равном давлении в обеих полостях цилиндров большее усилие создается в направлении выдвигающегося поршневого штока

(рис. 257). Такая разность усилий между двумя полостями цилиндра используется для подачи рабочей жидкости к стороне поршневого штока в байпасной линии противоположной стороны. В результате в эту полость цилиндра нагнетаются масло и жидкость, выходящие из штоковой полости. Таким образом, при соотношении площадей 2:1 цилиндр имеет возможность перемещаться вправо и влево с одинаковой скоростью подачи.

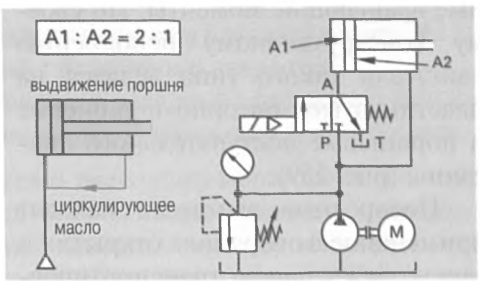


Рис. 257. Схема обтекания с дифференциальным цилиндром

Для целей позиционирования поршня цилиндры оснащаются системами измерения пути перемещения, вентилем и специальной электроникой. Блок в такой компоновке можно напрямую присоединять к системе программного управления от ЗУ (рис. 258).

Рис. 258. Цилиндр с оснащением для позиционирования поршня

Гидравлические двигатели

Если рассматривать с точки зрения потока энергии, гидравлические двигатели являются своеобразной противоположностью насосам, ибо преобразуют гидравлическую энергию в механическую. Мощность двигателя вычисляется следующим образом:

$$P = \frac{\Delta P \cdot Q \cdot \eta_{общ.}}{600}$$

P — выходная мощность двигателя, кВт, ΔP — разность давлений, бар, Q — объемный расход, л/мин, $\eta_{общ.}$ — общий КПД.

Пример:

В гидравлической системе имеет место объемный расход $Q = 20$ л/мин. при максимальном давлении $p = 120$ бар. Общий КПД двигателя $\eta_{общ} = 0{,}85$ бар. Какую максимальную мощность способен отдать такой двигатель?

Решение:

$$P = \frac{120 \cdot 20 \cdot 0{,}85}{600} = 3{,}4 \text{кВт}.$$

Поворотные двигатели

Такие двигатели используются для движений вращения в диапазоне от 50 до 360° Они обладают надежной конструкцией и способны передавать на небольшом пространстве, независимо от угла поворота, достаточно значитель-

ные вращающие моменты. По своему конструктивному исполнению двигатели такого типа делятся на пластинчатые, роторно-поршневые и поршневые поступательного движения (рис. 259).

Поворотные двигатели находят применение в операциях открытия и закрытия клапанов, транспортировках разного рода и в процессах зажима и фиксации.

Быстроходные гидравлические двигатели

У пластинчатых (шиберных) гидродвигателей (рис. 260) в исполнении с четырьмя камерами сжатия, расположенными попарно друг против друга, потребляемый поток может подаваться ступенчато. С помощью присоединенного распределителя подключаются камеры 1 или несколько более обширные камеры 2, либо все камеры вместе. Таким способом удается ступенчато согласовывать вращающий момент двигателя с имеющейся на данный момент нагрузкой. К преимуществам пластинчатых гидравлических двигателей относят также их спокойный, тихий ход, длительный срок службы, малый монтажный объем и доступную цену Недостатками же считаются: низкое число оборотов, необходимость тонкой фильтрации масла и верхний предел давления на уровне 200 бар.

Тихоходные гидравлические двигатели

Тихоходные (низкоскоростные) гидравлические двигатели в силу благоприятной характеристики вращающего момента при низких числах оборотов (ниже 150 в минуту) обычно предпочитаются механическим и электрическим приводам. Поэтому вращающий момент гидро-

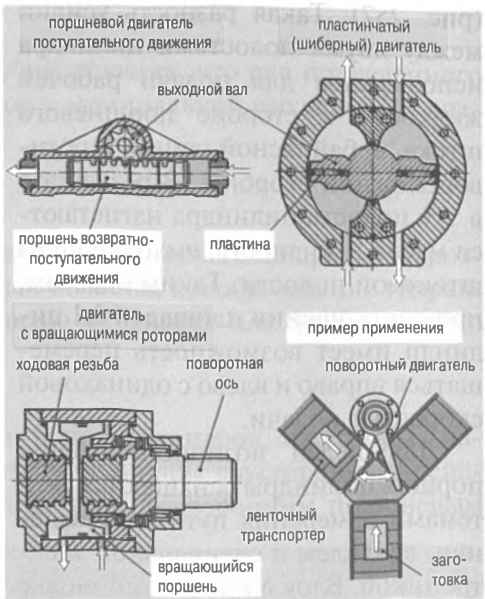


Рис. 259. Поворотные двигатели

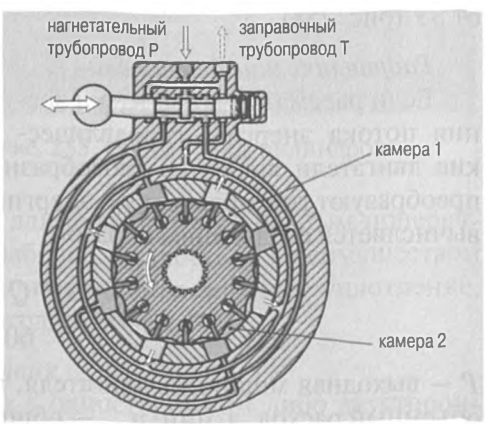


Рис. 260. Регулируемый пластинчатый гидродвигатель

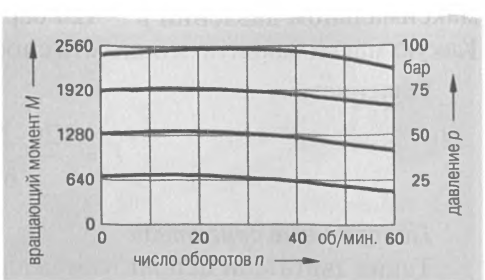


Рис. 261. Характеристики гидравлического двигателя

двигателя уже в состоянии останова достигает своего максимума и остается практически постоянным по всему диапазону скорости вращения (рис. 261).

Величина вращающего момента зависит от рабочего давления.

Среди тихоходных гидравлических приводов различают радиально-поршневые гидромоторы и гидравлические двигатели с встроенными редукторами.

Радиально-поршневые гидромоторы, как и радиально-поршневые насосы, исполняются с внешней или внутренней опорой гидравлического поршня. Двигатели с внутренней опорой обладают особенно низким инерционным моментом, пригодны для весьма значительных нагрузок и обладают более высоким пределом чисел оборотов, чем двигатели с внешней опорой (рис. 262). Последние же — благодаря их валу с гидростатическим уравновешиванием — отличаются повышенным сроком службы и замечательной эксплуатационной надежностью. Для обоих конструктивных исполнений характерен большой пусковой момент при очень высоком КПД и спокойном равномерном ходе.

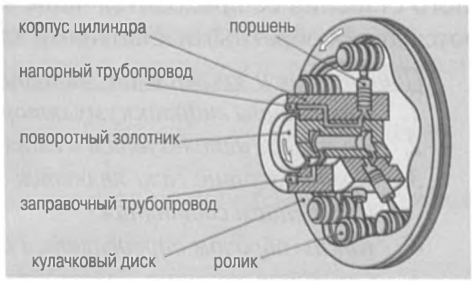


Рис. 262. Гидромотор с внешней опорой

Гидравлические двигатели с встроенными редукторами при изготовлении большими партиями оказываются гораздо дешевле радиально-поршневых гидромоторов и — с учетом многообразия возможных вариантов сочетания двигателя и передачи — могут быть пригодны для множества самых разных случаев применения. В этой связи особенно следует отметить успешную эксплуатацию быстроходного регулируемого двигателя в комбинации со ступенчатой передачей. Приходится, тем не менее, признать, что в отношении пусковой характеристики и плавности хода такие гидромоторы уступают радиально-поршневым двигателям. На рис. 263 представлен аксиально-поршневой двигатель со встроенным редуктором.

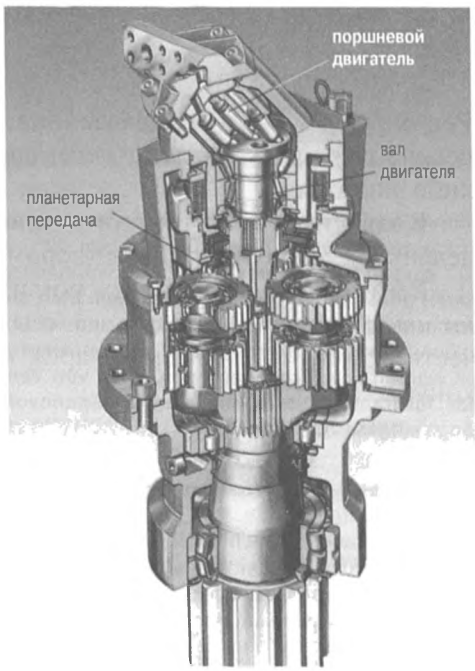


Рис. 263. Аксиально-поршневой двигатель с встроенным редуктором

Замкнутый и разомкнутый циклы

Монтаж гидравлических двигателей в установку или систему осуществляется в замкнутом или разомкнутом циклах (рис. 264). В разомкнутом контуре циркуляции насос осуществляет подачу только в одном направлении. Направление вращения двигателя регулируется с помощью

соответствующего распределителя. Рабочая жидкость возвращается в бак и там охлаждается. Здесь же отфильтровываются частицы истирания и грязи. В замкнутом цикле направление вращения двигателя изменяется с помощью регулируемого насоса, способного осуществлять подачу в обоих направлениях. Распределитель в данном случае не нужен, так что реверс происходит очень быстро. Однако рабочая жидкость нагревается здесь сильнее, чем в разомкнутом цикле, и из-за ускоренного старения ее приходится чаще заменять. Потери от утечек компенсируются двумя обратными клапанами за счет подсасывания жидкости из бака.

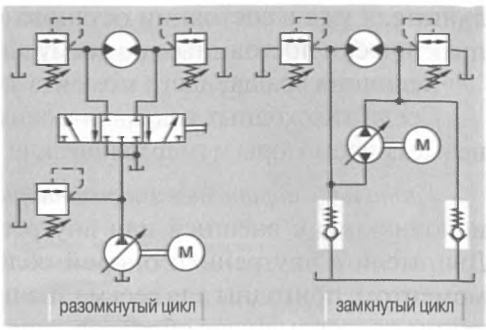


Рис. 264. Разомкнутый и замкнутый циклы

Повторение и закрепление материала

1. *Какие виды гидроаккумуляторов существуют?*
2. *Какой газ используется в гидроаккумуляторах для накопления энергии?*
3. *Когда сжатие газа является изотермическим и когда адиабатическим изменением состояния?*
4. *Каким образом определяется рабочий объем гидроаккумулятора?*
5. *Опишите принцип действия схемы обтекания для дифференциального цилиндра.*
6. *Какими свойствами обладает телескопический цилиндр?*

2.4.8. Гидроаппараты

Регулируя величину, направление и давление объемного расхода, гидравлические вентили управляют перемещением, скоростью и усилием цилиндра либо двигателя.

В зависимости от конструктивного исполнения различают вентили с седельным или плунжерным затвором.

Вентили с седельным затвором имеют круговую поверхность седла и в качестве корпуса — тарелку, шарик или конус (рис. 265).

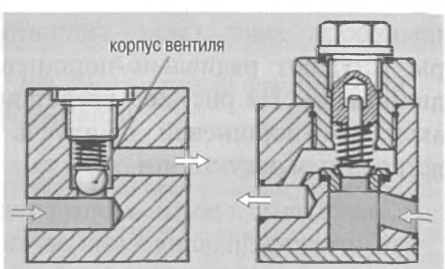


Рис. 265. Вентили с седельным затвором

Характерные свойства вентилей с седельным затвором:

- они обеспечивают плотное закрытие и показывают очень низкие потери от утечек,
- пригодны в том числе для рабочих жидкостей HF (в гидравлических системах, работающих на воде), поскольку не нагружаются трением скольжения,
- практически нечувствительны к загрязнениям,
- требуют достаточно больших усилий на переключение.

Вентили с плунжерным затвором закрывают и открывают присоединения цилиндрической боковой поверхностью золотника, смещающегося в высверленных отверстиях или окружных канавках в корпусе вентиля (рис. 266). Края золотника, переходящие за присоединительные отверстия, именуются «управляющими кромками».

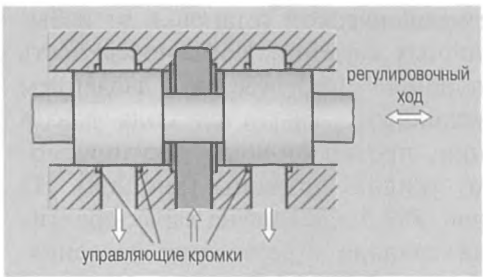


Рис. 266. Вентиль с цилиндрическим золотником

Характерные достоинства и недостатки вентилей с цилиндрическим золотником:

- они не нагружаются давлением по торцовым поверхностям золотника и поэтому не требуют большого усилия для переключения,
  такие исполнения способны приобретать новые функции за счет совсем простых конструктивных средств, например путем установки другого затвора вентиля,
  в результате особенностей кинематического цикла на боковой поверхности возможно возрастание потерь из-за утечек масла,
  при высоких скоростях течения на кромках развиваются импульсные усилия, способные вызвать эффект нестабильности.

Перекрытия на управляющих поршнях (рис. 267)

При положительном перекрытии (a) протекание в момент включения кратковременно прерывается. Это приводит к резкому переключению с повышением давления в процессе коммутации. При отрицательном перекрытии (b) на короткое время соединяются друг с другом все линии, чем обеспечивается плавное переключение. Нулевое перекрытие (c) находит применение исключительно в случае сервоклапанов.

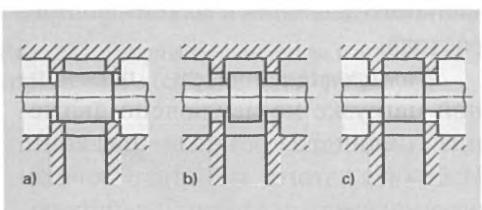


Рис. 267. Перекрытия на управляющих поршнях

2.4.8.1. Регуляторы давления

Регулирующие вентили предназначены для выполнения задач регулирования: ограничения давления, включения и отключения исполнительных органов, удержания рабочего давления на постоянном уровне.

Клапан ограничения давления. Основной задачей этого предохранительного клапана является защита

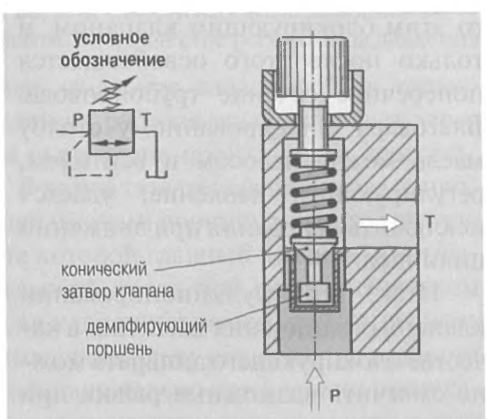


Рис. 268. Клапан ограничения давления

гидравлической установки от избыточных давлений. Когда поверхность поршня нагружается давлением установки, образуется сила давления, противостоящая регулируемому усилию пружины (рис. 268). На рис. 269 представлена характеристика клапана ограничения давления. Фактически регулируемое давление зависит от объема протекающего масла. Изгиб кривой определяется характеристикой пружины клапана, а образующийся гистерезис — трением конического затвора клапана. При полностью отпущенной пружине клапан ограничения давления функционирует по типу регулятора расхода.

При выборе предохранительного клапана следует обращать внимание прежде всего на величины максимального давления и максимального расхода.

Блокирование. При переменной нагрузке не исключено движение цилиндра резкими рывками. Избежать этого помогает клапан ограничения давления, действующий по принципу блокирования (рис. 270). Вытекающая из цилиндра рабочая жидкость должна сначала достичь давления, установленного этим блокирующим клапаном, и только после этого освобождается поперечное сечение трубопровода. Благодаря фиксированному столбу масла между насосом и вентилем, регулирующим давление, удается исключить колебания при движении цилиндра.

Итак, при функционировании клапана ограничения давления в качестве блокирующего аппарата можно смягчить возможные рывки при выдвижении цилиндра и соответственно при перемещении поршня.

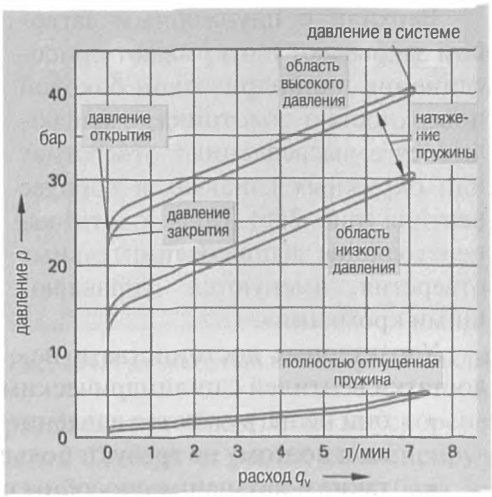


Рис. 269. Диаграмма давления предохранительного клапана

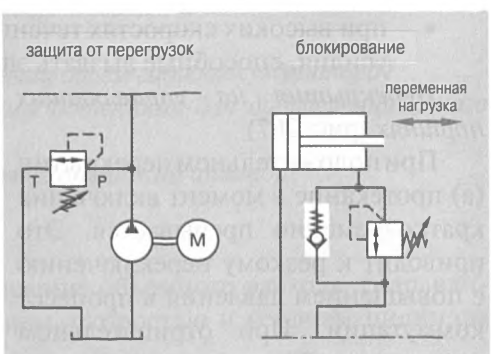


Рис. 270. Защита от перегрузок и схема блокирования

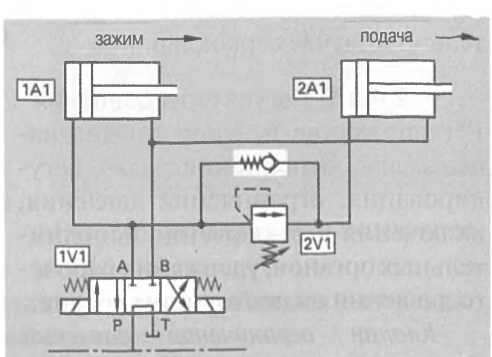


Рис. 271. Подпор

Подпор. В процессе эксплуатации металлообрабатывающих станков нередко случается так, что операции зажима заготовки и последующей подачи инструмента могут управляться и исполняться только с использованием распределителя (рис. 271). Как только распределитель 1.1 переходит в левую позицию переключения, он открывает объемный расход для зажимного цилиндра 1.0. После зажима заготовки возрастает давление, которое открывает клапан подпора 2.1 (в функции клапана ограничения давления) и позволяет выполнить подачу.

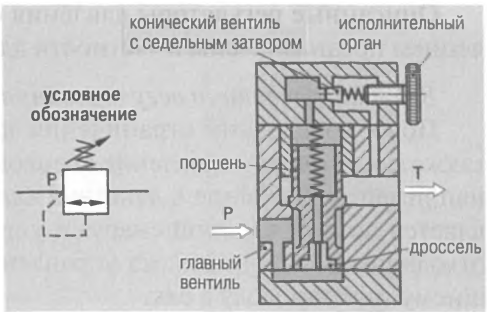


Рис. 272. Клапан ограничения давления непрямого действия

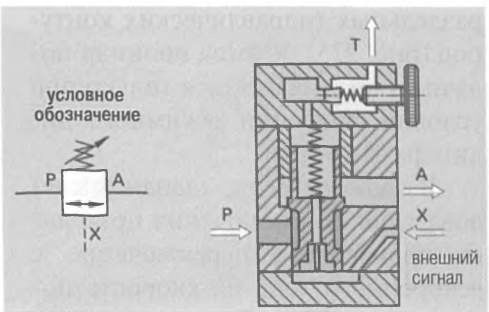


Рис. 273. Регулятор давления с внешним управлением (следящий вентиль)

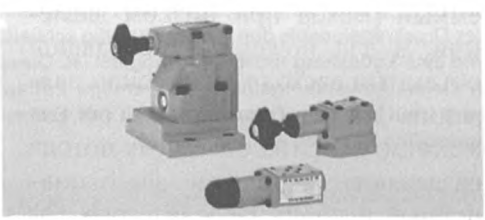


Рис. 274. Конструктивные исполнения вентилей в качестве регуляторов давления

Клапан ограничения давления непрямого действия

Для больших объемных расходов или при наличии повышенных требований к точности регулирования давления предохранительный клапан прямого действия более не годится, ибо пружина такого клапана чрезмерно велика для этой цели. На такой случай предлагаются клапаны непрямого действия, состоящие из малого конического вентиля с седельным затвором для регулирования давления и большого главного вентиля для управления объемной подачей насоса (рис. 272). С помощью конического вентиля с седельным затвором устанавливается допустимое максимальное давление. Как только установка достигает этого основного давления, рабочая жидкость течет через указанный вентиль в бак. При этом она вынуждена пройти через дроссель, встроенный в поршень главного вентиля. В результате гидравлического сопротивления дросселя между нижней и верхней частями поршня главного вентиля возникает разность давлений, в результате которой главный вентиль открывается, преодолевая усилие пружины. Объемный поток при гидростатическом уравновешивании направляется в бак. Если клапан непрямого действия вновь закрывается, закрывается и главный вентиль, поскольку образование разности давлений на дросселе поршня возможно исключительно при условии протекания жидкости. Клапаны, предназначенные для регулирования давления, могут быть разных конструктивных исполнений (рис. 274).

Описанные регуляторы давления с предварительным (пилотным) управлением предназначены в частности для больших объемных расходов.

Вентили следящего регулирования

Подобно клапану ограничения давления, другие регуляторы давления также могут иметь управление с серводействием. В случае следящего вентиля, например, приведение в действие клапана с коническим затвором осуществляется по подведенной снаружи управляющей линии X (рис. 273). Масло, отходящее от такого пилота управления, без давления направляется по внешнему трубопроводу в бак.

С помощью клапана последовательного включения удается, например, добиться согласования двух раздельных гидравлических контуров (рис. 275), и тогда цилиндр подачи будет выдвигаться только при условии фиксации зажимного цилиндра заготовки.

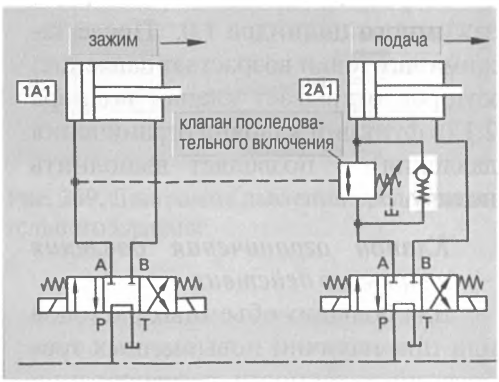


Рис. 275. Клапан последовательного включения

В свою очередь, клапан последовательного отключения позволяет производить переключение с ускоренного хода на скорость подачи (рис. 276). Для ускоренного хода гидравлической установке требуется достаточно большой объемный расход при низком давлении, а для подачи — небольшой объемный расход при высоком давлении. По экономическим соображениям, два этих объемных потока разделяют, используя высоконапорный насос и насос быстрых ходов. Последний отключается через следящий клапан, как только — вследствие начавшейся обработки детали — возрастает сопротивление инструмента механизму подачи с неизбежным повышением давления в насосной линии. Это давление переключает следящий клапан на расход, и тогда насос быстрых ходов без давления гонит жидкость в бак.

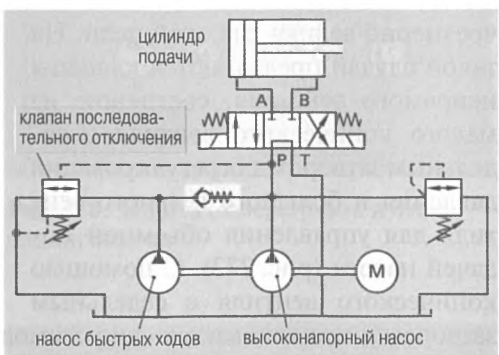


Рис. 276. Клапан последовательного отключения

Регуляторы давления

Описанные выше вентили регулирования давления все без исключения закрыты в исходном положении и открываются только в момент срабатывания. Но существуют и регуляторы давления (в частности редукционные клапаны), открытые в неактивизированном состоянии.

У регулятора давления без разгрузочного отверстия рабочее давление трубопровода В позади клапана удерживается на постоянном уровне (рис. 277). По трубопроводу А рабочая жидкость устремляется в регулирующий вентиль с дросселированием через кольцевой зазор. В силу этого давление в трубопроводе В будет ниже, чем в трубопроводе А. Если давление в трубопроводе В возрастает, сразу поднимается затвор клапана: кольцевой зазор сужается, и давление в трубопроводе В вновь падает. В обратном случае кольцевой зазор расширяется, компенсируя потерю давления. Под действием силы, направленной на присоединенный к линии В цилиндр, давление в этом трубопроводе может возрасти настолько, что затвор клапана полностью закроет кольцевой зазор, и тогда разгрузка уже будет невозможна. Эта, необходимая во многих случаях применения, разгрузка может быть достигнута с помощью клапана регулировки давления с разгрузочным отверстием (рис. 278).

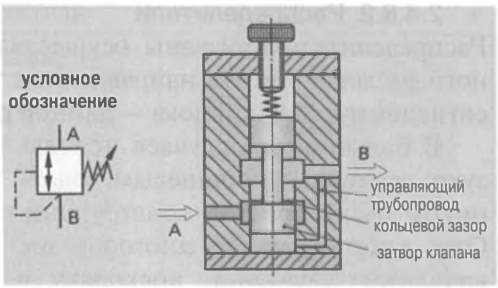


Рис. 277. Регулятор давления без разгрузочного отверстия

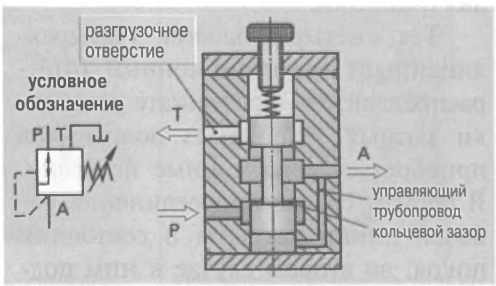


Рис. 278. Регулятор давления с разгрузочным отверстием

Регуляторы давления нередко используются в целях ограничения прижимного усилия (рис. 279): это бывает необходимо, например, для защиты от разрушения тонкостенной заготовки в зажимном приспособлении.

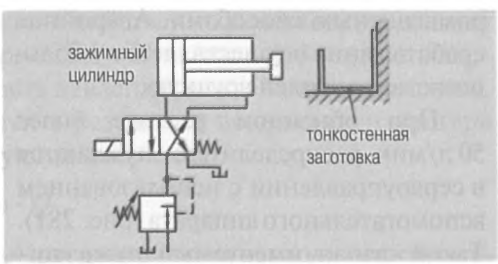


Рис. 279. Регулируемое давление зажима

Реле давления преобразуют гидравлические показатели давления в электрические сигналы, используемые в том числе и для индикации давления.

Повторение и закрепление материала

1. *Какую задачу выполняют предохранительные вентили?*
2. *Для чего регуляторам давления требуются вентили предварительного управления?*
3. *Какова функция регуляторов давления?*
4. *В чем состоит преимущество регулятора давления с разгрузочным отверстием?*
5. *Перечислите области применения вентилей, регулирующих давление.*

2.4.8.2. Распределители

Распределители призваны осуществлять управление направлением объемного расхода, то есть направлением выдвижения цилиндра, и посредством сигналов пуска и останова — длиной рабочего хода.

В большинстве случаев используют вентили с поршневым золотником очень простой конструкции. Они дают огромное многообразие клапанных функций, поскольку в один и тот же корпус могут быть вставлены затворы самых разных форм для выполнения различных задач (рис. 280).

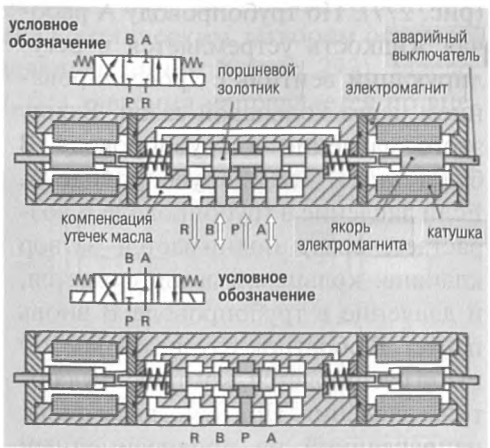


Рис. 280. Распределители

Так, четырехходовой (четырехлинейный) трехпозиционный (4/3)-распределитель в результате установки разных поршневых золотников приобретает совсем иные функции. В первом случае присоединения рабочей линии закрыты в состоянии покоя, во втором случае к ним подведен заправочный трубопровод. Распределители могут приводиться в действие механическим, пневматическим, гидравлическим или электромагнитным способами. Аварийное срабатывание осуществляется у большинства вентилей вручную.

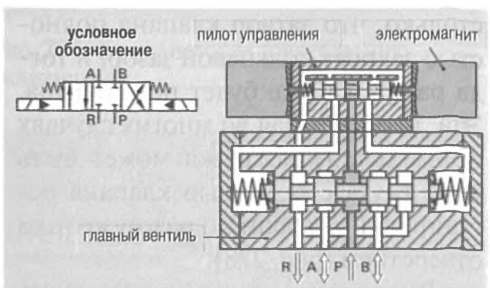


Рис. 281. Распределитель с сервоуправлением

При объемном расходе более 50 л/мин распределители нуждаются в сервоуправлении с использованием вспомогательного аппарата (рис. 281). Такой клапан, именуемый также «пилотом управления», создает гидравлическое перестановочное усилие, с помощью которого при включении преодолеваются большие гидродинамические силы на управляющих кромках главного вентиля.

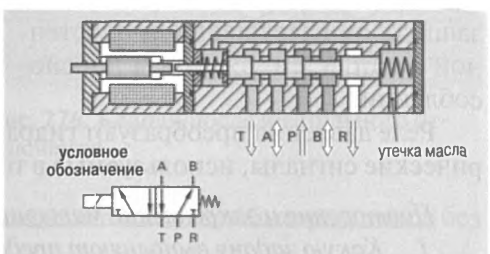


Рис. 282. Пятиходовой двухпозиционный (5/2)-распределитель

В отличие от четырехходовых вентилей в случае пятиходовых распределителей обратный поток рабочей жидкости направляется в бак через два отдельных присоединения R и T (рис. 282). Такое разделение дает то преимущество, что при наличии нескольких систем гидравлического управления заметно упрощаются схемы переключений (см. табл. 23).

Таблица 23. Пятиходовые распределители

ускоренная разгрузка	схема обтекания	разная скорость в обоих направлениях
блокирование при разных усилиях	применение малогабаритных клапанов	двигатель вращается только в одном направлении

Характеристика вентиля

Изгибы труб, колена, ответвления, сужения или иные места дросселирования в гидравлической установке, как и собственно клапаны, оказывают сопротивление объемному потоку Q (рис. 283). При этом происходит падение давления Δp, измеряемое как разность давлений до клапана и после него. При этом рабочая жидкость нагревается в результате возникающих потерь мощности, которые вычисляются следующим образом:

$$P_{\text{потерь}} = \Delta p \cdot Q$$

На основе характеристики Q — Δp распределителя можно определить мощность потерь при заданном номинальном размере и известном объемном расходе Q (рис. 283).

Пример:

Для большой скорости гидравлического цилиндра требуется объемный расход 100 л/мин. На выбор предлагаются распределители с номинальными размерами 15 и 24. Какова будет потеря давления в выбранном аппарате?

Решение:

По схеме на рис. 283 можно при объемном расходе 100 л/мин опре-

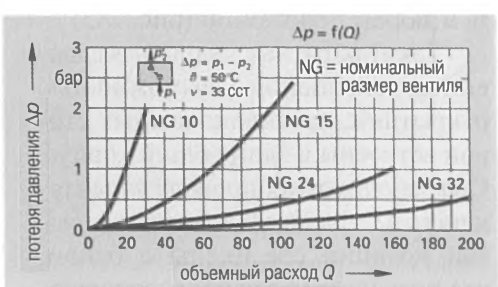


Рис. 283. Характеристика вентиля

делить для номинального размера 24 потерю давления Δp_1 около 0,35 бар, а для номинального размера 15 — потерю давления Δp_2 около 2,1 бар. Таким образом, в аппарате с номинальным размером 15 можно ожидать в 6 раз более значительные потери энергии, чем в аппарате с номинальным размером 24.

2.4.8.3. Запорные клапаны

Перестановка запорных клапанов осуществляется в зависимости от имеющегося объемного расхода. Они не нуждаются в управляющих сигналах и предназначены для запирания прохождения потока рабочей жидкости в одном направлении. Важнейшим среди аппаратов такого рода считается обратный клапан, выполняющий в гидравлике ту же функцию, что и в пневматике. Этот седельный клапан с уплотняющим элементом в виде шарика или конуса обеспечивает почти герметичное закрытие.

Деблокируемый обратный клапан

Распределители в исполнении с поршневым золотником в закрытой позиции не способны удержать нагруженный цилиндр в силу возникающих потерь из-за утечек масла. В случае автомобильного гидродомкрата, например, это может привести к тому, что тот начнет постепенно проседать. Избежать этого удается с помощью открываемого обратного клапана, вмонтированного в рабочий трубопровод цилиндра (рис. 284). При выдвижении цилиндра объемный поток беспрепятственно проходит через обратный клапан. Когда распределитель переключается в среднее (нейтральное) положение, обратный клапан плотно закрывается, удерживая нагруженный цилиндр в занятой позиции. При отводе назад это блокирование прекращается в результате подачи давления в управляющую линию Z. При этом золотник клапана перемещается влево и открывает небольшой клапан с седельным затвором в запирающем элементе. В результате происходит выравнивание давления до этого элемента и позади него, а сам запирающий элемент с минимальными затратами энергии отводится назад.

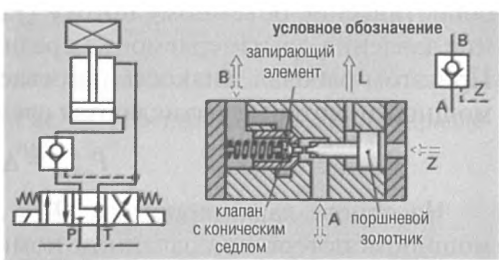


Рис. 284. Деблокируемый обратный клапан

С помощью двух обратных клапанов удается успешно фиксировать нагруженный цилиндр или т. п. в любом положении (рис. 285).

Такие обратные клапаны в сдвоенном исполнении с возможностью открытия с противоположных сторон встроены в один общий корпус. Оба рабочих трубопровода управляющего 4/3-распределителя в закрытой позиции соединены с баком, что повышает надежность запирающего элемента.

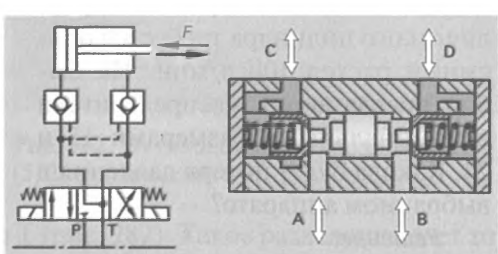


Рис. 285. Сдвоенный обратный клапан

Повторение и закрепление материала

1. *В силу каких причин в гидроагрегатах чаще всего используются вентили с поршневым золотником?*
2. *В каких случаях рекомендуется применение распределителя с сервоуправлением?*
3. *Приведите три примера использования пятиходовых распределителей.*
4. *Каково назначение деблокируемого обратного клапана?*
5. *Почему в случае деблокируемых обратных клапанов ведущие к распределителям трубопроводы должны разгружаться обязательно в закрытой позиции?*

2.4.8.4. Регуляторы расхода

Объемный расход гидравлической жидкости уменьшается при прохождении через сужения поперечного сечения трубопровода, и скорость срабатывания исполнительных органов понижается. В зависимости от конструктивного исполнения различают дроссельные вентили (дроссели) и дроссельные заслонки (рис. 286). При этом заслонки в меньшей степени зависят от вязкости рабочей жидкости, чем вентили. Рис. 287 демонстрирует техническое исполнение дроссельной заслонки, при протекании через которую возникает разность давлений на входе и выходе:

$$\Delta p = p_1 - p_2$$

Объемный поток, проходящий через сужение, составляет:

$$q_v = a \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2\,\Delta p}{\rho}}\text{, где:}$$

a есть коэффициент расхода (0,6...0,9), A_0 — площадь дроссельной заслонки, ρ — плотность среды, q_v — объемный поток.

На рис. 288 показаны расходные характеристики регулятора расхода. При этом каждая кривая отображает иное живое сечение потока: чем меньше это сечение, тем круче из-

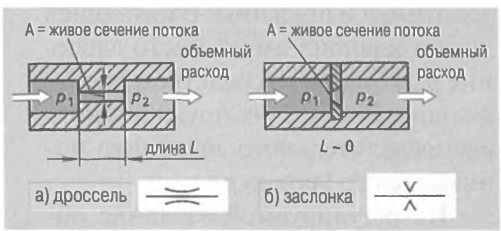


Рис. 286. Дроссельный вентиль и дроссельная заслонка

Рис. 287. Регулируемая дроссельная заслонка

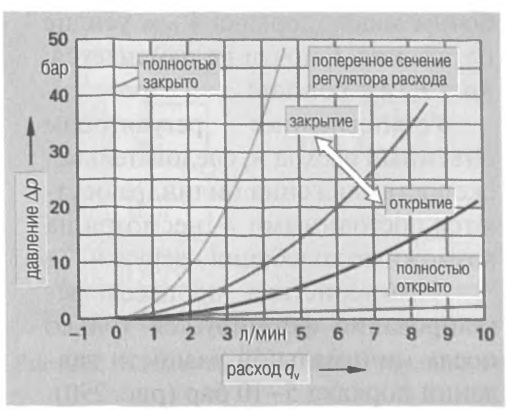


Рис. 288. Характеристики регулятора расхода

гиб кривой и, следовательно, тем больше гидравлическое сопротивление. По мере увеличения расхода возрастает и сопротивление. На практике это означает, что при разных нагрузках исполнительного органа имеют место разные скорости течения.

Назначение и исполнение регуляторов расхода

С помощью этих аппаратов производится регулирование скорости исполнительного органа в зависимости от нагрузки. Данный регулятор имеет для этой цели клапан постоянной разности давлений, поддерживающий с помощью регулируемой заслонки постоянную величину Δp. Такой регулятор состоит из распределительного золотника и пружины. В питающей линии клапана имеет место давление p_1, которое посредством управляющих кромок подпружиненного распределительного золотника понижается до уровня p_2.

На регулируемой заслонке образуется разность давлений $\Delta p = p_2 - p_3$, удерживаемая на постоянном уровне (рис. 289). На торцевые поверхности распределительного золотника воздействуют следующие силы:

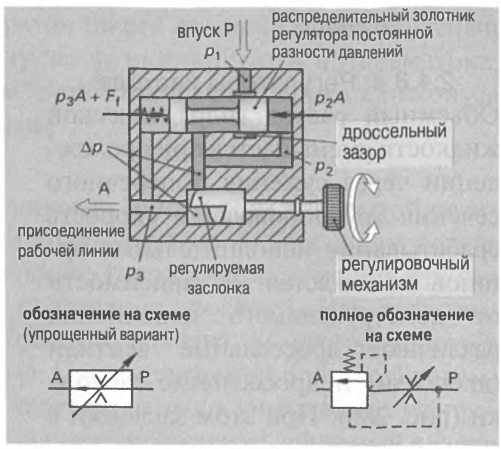


Рис. 289. Регулятор расхода

слева $F_1 = p_3 \cdot A + F_f$, справа $F_2 = p_2 \cdot A$.

В равновесном состоянии действительно следующее:

$F_1 = F_2$ или $p_3 + A + F_f = p_2 \cdot A$ или $F_f = (p_2 - p_3) \cdot A$ или $F_f = \Delta p \cdot A$.

У слабой пружины с малым рабочим ходом порядка 4 мм усилие натяжения F_f почти не изменяется: $\Delta p = F_f/A = \text{constant}$.

Установленные регулятором объемный расход и, следовательно, скорость движения цилиндра остаются постоянными — несмотря на возможные колебания нагрузки.

Характеристика процесса регулирования формируется только после минимальной разности давлений порядка 5–10 бар (рис. 290). Опытным путем можно определить, как будет вести себя регуля-

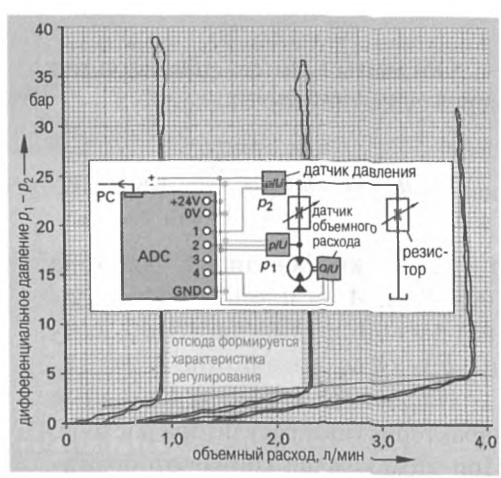


Рис. 290. Характеристика регулятора расхода

тор расхода. Представленная на рисунке опытная установка позволяет измерить разность давлений и объемный расход, после чего полученные данные регистрируются с помощью ПК. В отношении получения характеристики регулирования выясняется такая закономерность: чем больше становится объемный расход, тем выше должна быть разность давлений.

У цилиндров и двигателей с помощью регуляторов расхода можно практически без выдержки времени переходить с одной скорости на другую. Недостатком такого способа дроссельного управления, которое можно классифицировать как первичное и соответственно вторичное, являются лишь неизбежные потери энергии.

Первичное управление

При первичном управлении регулятор расхода находится в подводящей или соответственно подающей линии (рис. 291). Давление на цилиндре возрастает только до уровня, необходимого для работы. Это позволяет уберечь уплотнения цилиндра от преждевременного износа, а фиксированный с расчетом на максимальное давление столб жидкости простирается лишь от насоса до регулятора расхода. Благодаря этому уменьшается склонность привода к нежелательным колебаниям. Однако отсутствие противодавления позади цилиндра в случае переменной нагрузки может стать причиной неравномерной (рывками) подачи. Избежать этого можно с помощью вмонтированного блокирующего клапана.

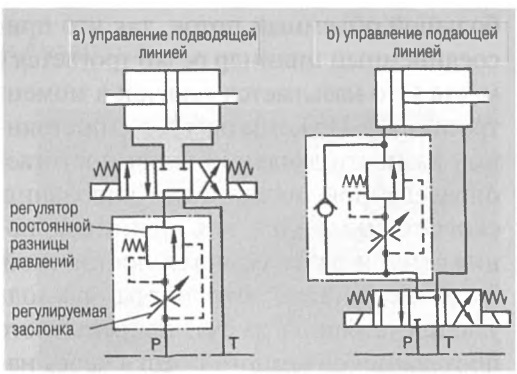


Рис. 291. Элементы первичного управления

Вторичное управление

Регулятор расхода встраивается на стороне поршневого штока. Такая схема позволяет воспринимать силы, развиваемые поршнем. При этом давление на стороне поршневого штока может быть весьма высоким по причине отсутствия клапана ограничения давления. В силу гидравлического зажима поршня обеспечивается достаточно спокойный ход, поэтому такой способ управления часто используется для подач в металлообрабатывающих станках. Следует также заметить, что масло, нагретое при прохождении через регулятор расхода, сразу же отводится в бак, где и охлаждается.

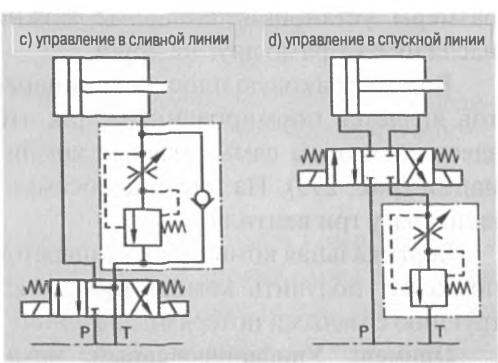


Рис. 292. Элементы вторичного управления

Скачок в момент трогания

Регулятор постоянной разницы давлений, состоящий из подвижного распределительного золотника и пружины, в выключенном состоянии вентиля регулирования расхода при использовании встроенной пружины перемещает свой золотник до упора. И только при включении регулятор расхода обеспечивает прохождение жидкости, а регулятор постоянной разницы давлений занимает желаемую позицию регулирования. Следует подчеркнуть, что этот процесс настройки осуществляется с определенным запаздыванием и через регулируемую заслонку проходит чрезмерно большой объемный поток, так что присоединенный цилиндр резко трогается с места (это называется «скачок в момент трогания»). Но когда регулятор постоянной разности давлений вновь достигает определенной позиции регулирования, скорость цилиндра или двигателя понижается и далее остается постоянной. Этот недостаток регулятора расхода удается устранить за счет непрерывного протекания объемного потока через находящийся в состоянии покоя регулятор постоянной разности давлений.

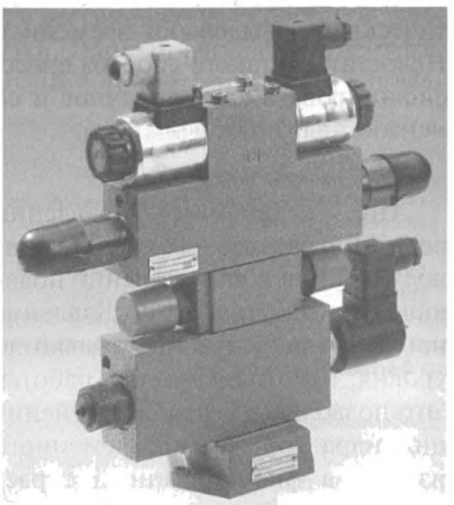


Рис. 293. Вертикальная компоновка аппаратов

Вертикальная компоновка

Чтобы избежать высоких потерь давления, возможных между конструкционными элементами, и сократить до оптимального минимума габаритные размеры установки, аппараты можно насаживать прямо друг на друга.

Вид на стыковую плоскость аппаратов является нормированным, так что здесь возможны самые разные комбинации (рис. 293). На рисунке состыковано сразу три вентиля.

Вертикальная компоновка аппаратов позволяет получить компактную конструкцию с малыми потерями давления.

Пример: Унифицированный механизм подачи с регулятором расхода.

Схема переключений гидравлического механизма подачи представлена в виде связной последовательности

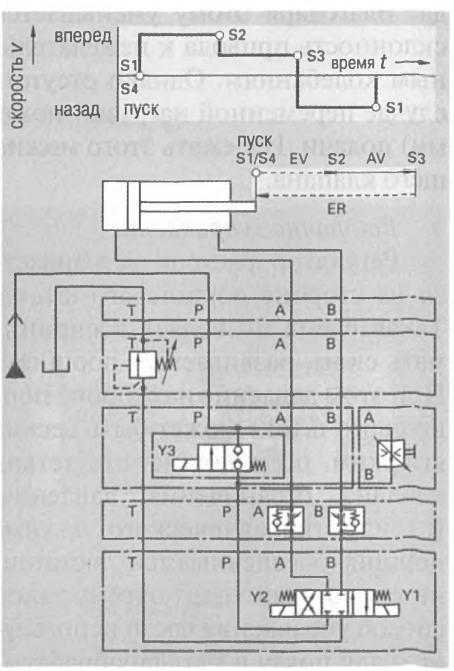


Рис. 294. Гидравлический механизм подачи

уровней (рис. 294). При этом отдельные компоненты гидравлической системы прифланцованы друг к другу по блочному принципу без трубного соединения.

В диаграмме путей перемещений представлены: ускоренный ход (пунктирная линия) и рабочий ход (сплошная линия). Диаграмма скорости–времени (пути) показывает инициируемое датчиками сигналов S1 и S3 изменение скорости при переходе с ускоренного хода на рабочий ход.

Данная система функционирует по принципу первичного управления. Блокирующий клапан в заправочном трубопроводе препятствует неравномерному движению при тянущей нагрузке (эффект скачкообразного перемещения). Регулятор расхода включается и выключается через двухходовой распределитель 2 с электроуправлением.

2.4.8.5. Конструктивные исполнения аппаратов

Блочная компоновка

Управляющий блок (рис. 295) содержит соединение трубопроводов системы управления. Отдельные устройства крепятся прямо на блоке. При этом различают три вида исполнений:

1. Только соединение трубопроводов;
2. Соединение трубопроводов + ввертные вентили, и тогда управляющий блок одновременно служит корпусом для этих аппаратов;
3. Соединение трубопроводов + затворы клапанов.

Описанные блоки управления обеспечивают чрезвычайно компактное исполнение, которое позволяет сократить прежде всего затраты на монтаж.

Рис. 295. Компактная система гидравлического управления в блочной компоновке

Системы управления с использованием вставного оборудования

В целях повышения удельной мощности гидравлических компонентов, а также улучшения режима переключений и снижения уровня шума отдельные элементы обычных управляющих аппаратов (распределителей, регуляторов давления, регуляторов расхода и запорных вентилей) могут вставляться прямо в отверстия управляющих блоков. Даже достаточно сложные функции могут выполняться небольшим числом базовых элементов (вставных двухходовых вентилей) с использованием стандартных управляющих распределителей (пилотов управления) (рис. 297).

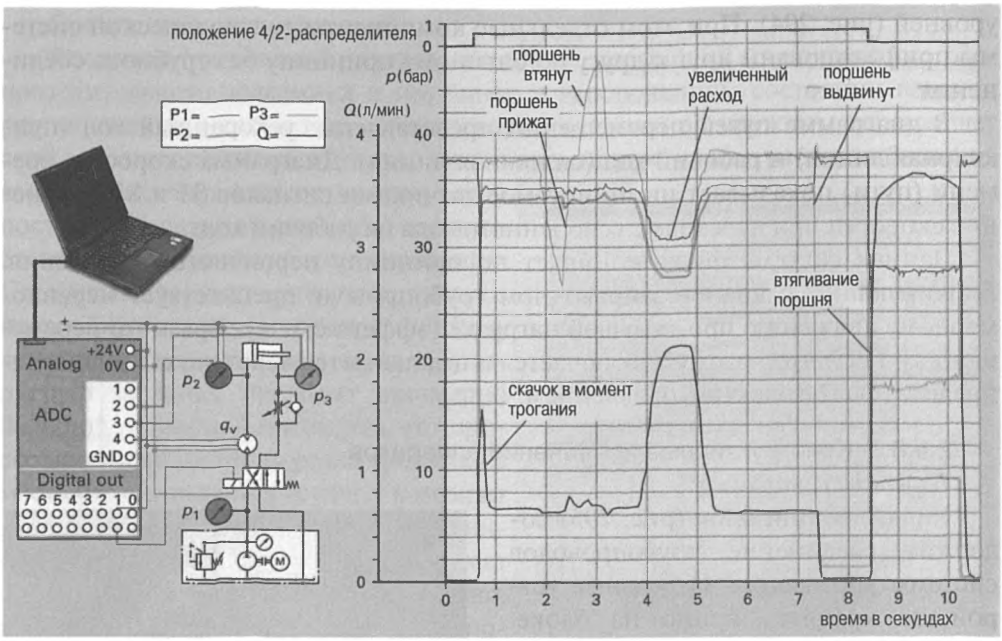


Рис. 296. Опытные данные для системы вторичного управления

Исполнение вставных двухходовых вентилей, как и монтажные размеры конструкционных элементов, нормированы в ДИН 24342.

Характерные признаки систем управления с использованием вставных вентилей:

- экономичное решение проблем на основе стандартных компонентов при наличии невысоких затрат на монтаж,
  минимальные утечки благодаря применению исключительно клапанов с седельным затвором,
  высокая скорость срабатывания.

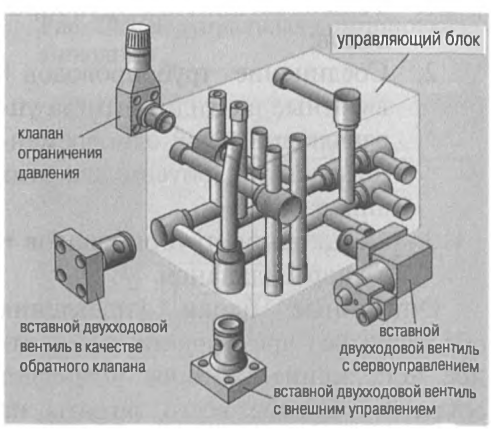


Рис. 297. Гидропанель с вставными двухходовыми вентилями

Данная техника обеспечивает большие удельные мощности.

Пример 1: Двухходовой вентиль с сервоклапаном.

На рис. 298 показан комплектный двухлинейный двухпозиционный вентиль, запертый в исходном положении. Вставной элемент находится в отверстии корпуса. Управляющие линии X и Y проходят сквозь крышку. Усилие удержания складывается из силы натяжения пружины и давления в подводящей линии A. При срабатывании сервоклапана удерживающее давление сни-

мается посредством управляющей линии Y, и вентиль открывается. Путем изменения компоновки управляющих трубопроводов достигаются самые разные функции вентилей.

Пример 2: Управление цилиндром (рис. 299).

Данный цилиндр управляется посредством 5-линейного 3-позиционного клапана с серводействием. Дроссели с обратными клапанами функционируют просто по принципу ограничения длины хода встроенных аппаратов в сочетании с пазами для прецизионного управления. С помощью четырех ввертных элементов получают полный набор требуемых функций.

2.4.8.6. Статические вентили

Эти переключающие вентили имеют две или три постоянные позиции переключения, предназначенные для управления, например, предварительным пуском, остановом и обратным ходом цилиндра. Для дозирования объема масла в целях управления скоростью цилиндра требуются дополнительные регуляторы расхода, включаемые и выключаемые посредством соответствующих распределителей (рис. 300).

Гидравлика переключения (в цифровом исполнении) при срабатывании приводит к резким изменениям скорости (так называемым «коммутационным ударам»), которые отрицательно сказываются на работе всей установки.

Чтобы, например, добиться плавного пуска или торможения тяжелых масс, гидравлический цилиндр надо сначала привести в движение со скоростью v_1 и v_2, массу с постоянной скоростью v_3 подать вперед и, наконец, вновь плавно затормозить со скоростями v_4 и v_5 (рис. 301).

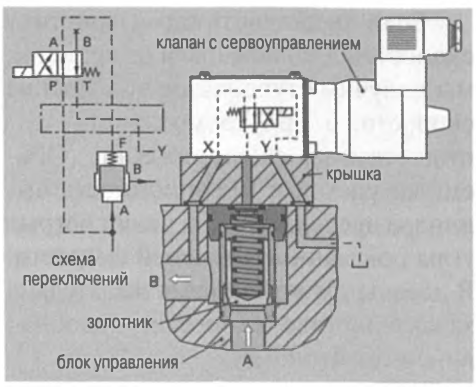


Рис. 298. Вставной 2-линейный 2-позиционный вентиль с сервоклапаном

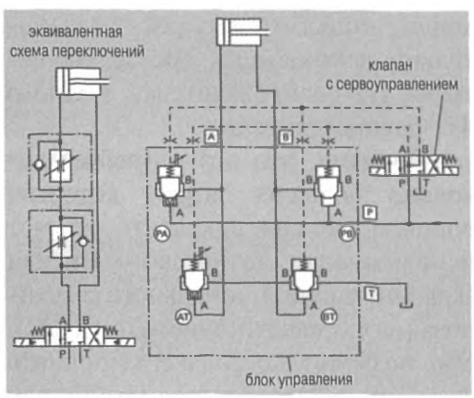


Рис. 299. Управление цилиндром с применением вставного оборудования

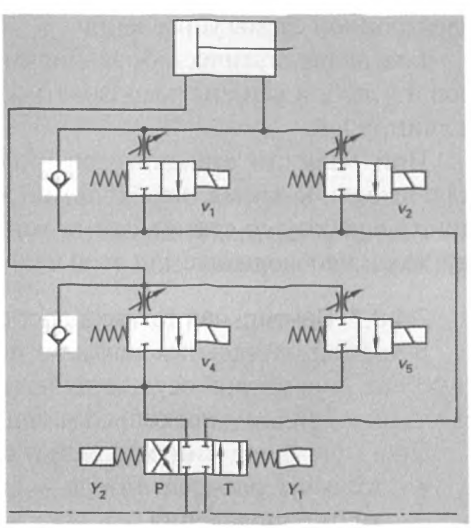


Рис. 300. Регулирование скорости с помощью переключающих вентилей

Если представить характеристику скоростей в зависимости от времени, мы получим ступенчатое повышение скорости, а при торможении — соответственно ее понижение. Объемный расход и инерционность цилиндра несколько сглаживают острые углы показанных ступеней скорости. В идеальном же варианте желательна характеристика скорости, подобная линейной функции.

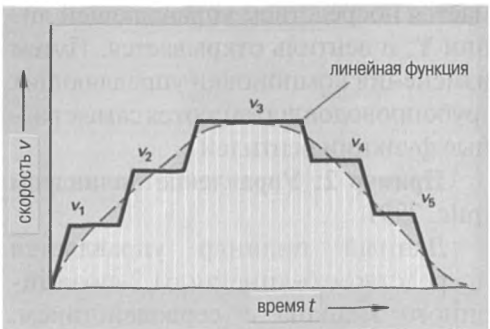


Рис. 301. Линейная функция

В переключательной гидравлике для получения линейной функции скорости придется прибегнуть к помощи, допустим, четырех предварительно настроенных дросселей, четырех 2/2-распределителей и одного 4/3-распределителя.

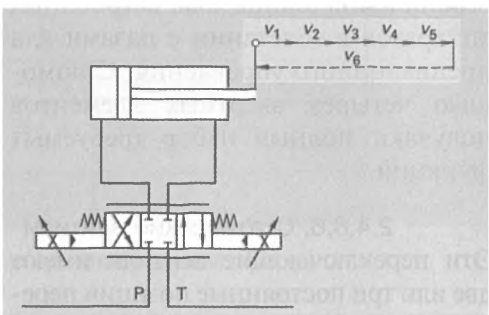


Рис. 302. Регулирование скорости с помощью статического вентиля

Понятно, что это потребует довольно больших затрат, которые, впрочем, можно сократить за счет использования статического вентиля (клапана пропорционального регулирования с серводействием) (рис. 302). Это позволит не только выполнять функции распределителя (выбор направления, пуск и останов), но и бесступенчато регулировать скорости цилиндров и двигателей. Требуемые для плавного пуска и торможения линейные функции можно генерировать на основе электронной схемы управления.

Благодаря статическим вентилям удается избежать коммутационных ударов и в любой момент реализовать желаемые скорости движения цилиндров и двигателей.

При наличии стандартизованных присоединений подготовительно-заключительное время, необходимое для перевода переключательной гидравлики на работу со статическими вентилями, может быть сведено к минимуму, как и необходимые для этой цели затраты.

2.4.8.7. Вентильная техника пропорционального регулирования

В пропорциональных вентилях регулирование гидравлических и пневматических параметров осуществляется с помощью управляющего электрического тока I силой в несколько миллиампер (рис. 303).

При этом управлению подлежат следующие характеристики:

- в случае распределителя — объемный расход Q (л/мин) в зависимости от направления,
  в случае регулятора давления — величина давления p (бар),
  в случае регулятора расхода — объемный расход Q (л/мин).

Пропорциональные вентили относятся к статическим аппаратам. Благодаря возможности бесступенчатого регулирования пропорциональные вентили приобретают в последнее время все большую популярность. При этом пусковая электроника нередко монтируется прямо на вентиле.

Рис. 303. Вентильная техника пропорционального регулирования

Пропорциональные электромагниты

Пропорциональные магниты функционируют на основе постоянного тока (рис. 304). Они преобразуют входной электрический ток в пропорциональное усилие на магнитном стержне.

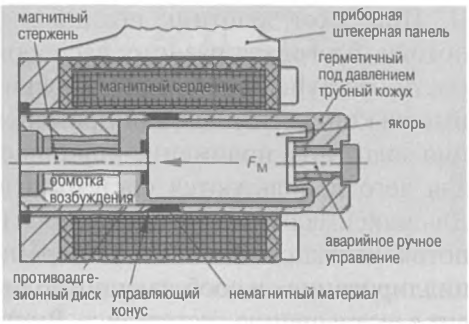


Рис. 304. Пропорциональный электромагнит

Характеристику хода-силы пропорционального магнита можно разделить на зону рабочего хода и зону холостого хода (рис. 305). На участке рабочего хода характеристическая кривая остается — в зависимости от тока в обмотке электромагнита — практически постоянной по всему диапазону. За счет этого удается, используя пружину, задать однозначно определенный ход.

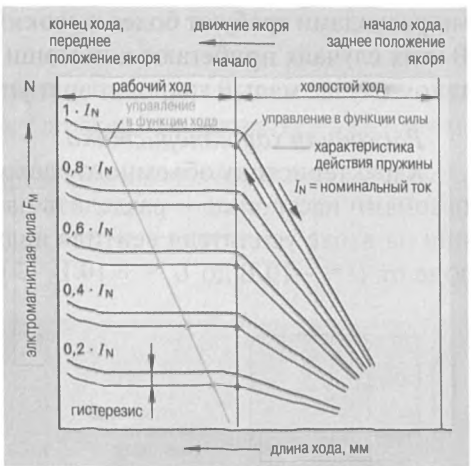


Рис. 305. Характеристические кривые (ход — сила) для пропорционального магнита

Пропорциональные электромагниты необходимы для прямого управления вентилями или для непрямого управления многоступенчатыми клапанами. В последнем случае в качестве аппарата с серводействием часто используют клапан ограничения давления (рис. 306).

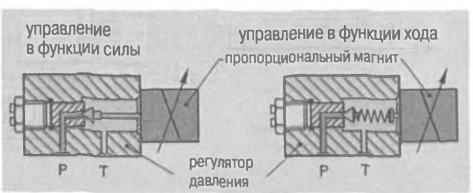


Рис. 306. Непрямое управление с использованием пропорциональных электромагнитов

Пропорциональный электромагнит способен действовать, в частности, в следующем качестве:

- как магнит с управлением в функции силы, когда передача усилия происходит при почти не изменяющейся длине стержня (длина хода = 0). Электромагнитной силе противостоит здесь гидравлическое усилие давления в дроссельном зазоре;

- как магнит с управлением в функции хода, когда магнитный стержень работает с преодолением силы натяжения пружины, инициируя на основе ее характеристики выполнение хода в соответствии с электромагнитной силой. Такой ход соответствует, например, положению дросселя и, следовательно, объемному расходу Q вентиля.

Пропорциональные распределители

Пропорциональные распределители управляют прежде всего объемными расходами Q.

При этом золотник позиционируется пропорционально подводимому потоку. Благодаря разному расположению управляющих кромок и возможности бесступенчатой перестановки достигаются определенные, рассчитанные на конкретный случай применения характеристики. Для снижения трения золотника положение поршня соответствующим образом регулируется, для чего используются системы измерения пути перемещения (рис. 307). Для максимального приближения к идеальной характеристике на магнитный поток накладывается сигнал переменного тока, именуемый «сигналом осциллирования» и сообщающий золотнику небольшие колебания, что приводит к уменьшению гистерезиса. Внутренний контур регулирования позволяет достич высокой точности установки управляющего поршня. Помимо этого, отмечается повышение динамики клапана. Вентили с большими объемными расходами требуют более высоких усилий, как и более крупных магнитов. В этих случаях прибегают к помощи клапанов с сервоуправлением, то есть в таком случае малый гидроаппарат управляет большим гидроаппаратом.

Расходная характеристика

Характеристику объемного расхода можно — в соответствии с двумя диапазонами настройки — разделить на два квадранта. Сигнал заданного значения на входе усилителя вентиля является биполярным и возможен в диапазоне от $U = -10$ В до $U = +10$ В. С учетом знака полярности управляющего

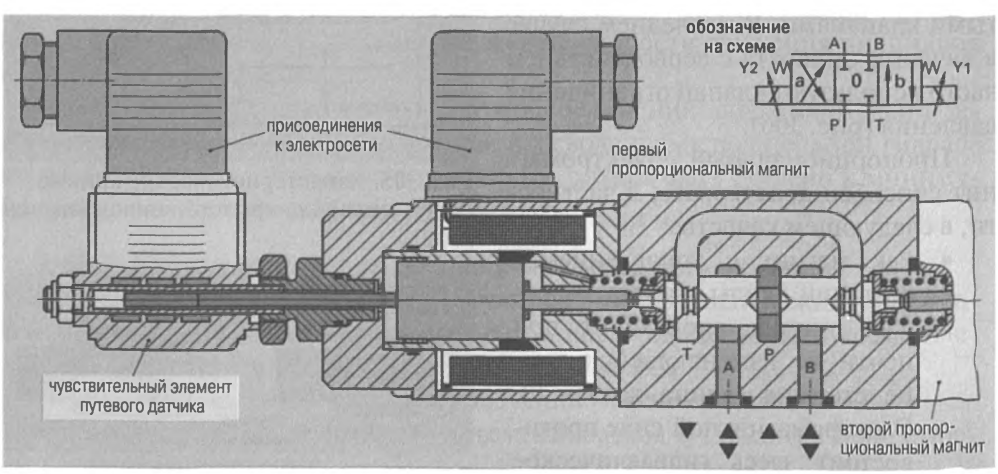


Рис. 307. Пропорциональный распределитель прямого действия с обратным перемещением

напряжения возбуждается либо один, либо другой магнит. Вид характеристической кривой определяется геометрической формой управляющих кромок. В среднем положении (0 В) вентиль заперт. Перекрытие составляет порядка 20% длины хода золотника. Эта мертвая зона может быть несколько уменьшена за счет подъема нулевой точки в усилителе.

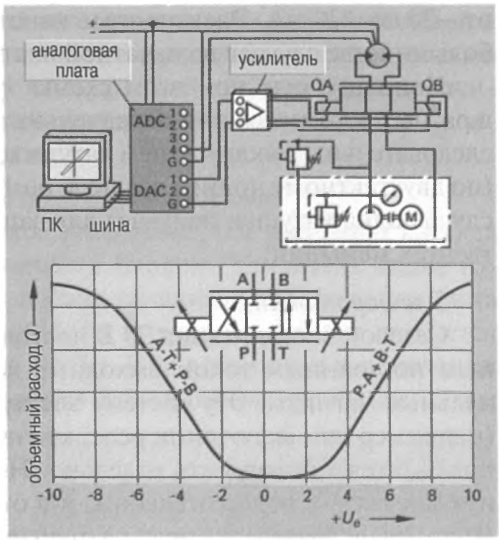


Рис. 308. Характеристики вентиля

Рис. 308 демонстрирует полученные опытным путем характеристики вентиля. С помощью цифро-аналогового преобразователя напряжение в диапазоне от –10 В до +10 В с тонкой регулировкой подается на усилитель. Посредством датчика расхода измеряется и протекающий объемный поток жидкости. В двухкоординатной (XY)-диаграмме отображается заданное напряжение и объемный расход.

Электронная управляющая плата

Пропорциональные вентили управляются электронным способом. Для перестановки их П-магнитов входной ток *I* должен варьироваться в диапазоне

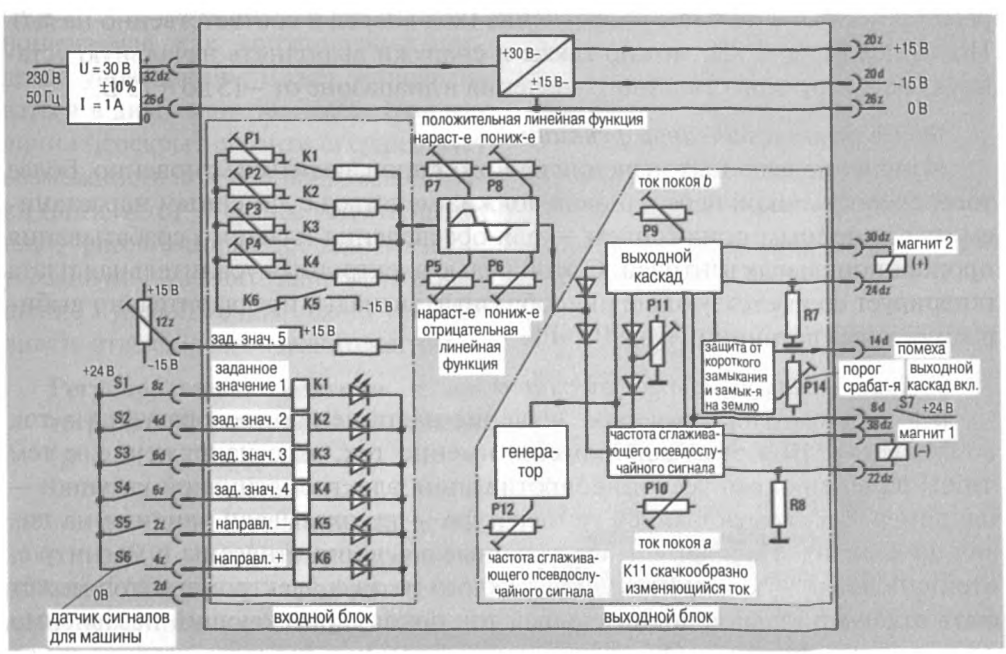


Рис. 309. Электронная управляющая плата (аналоговая)

от –20 до +20 мА. Электронные конструкционные элементы монтируются в большинстве случаев на печатной плате (рис. 309).

Используемые при этом схемы управления могут быть представлены в разных вариантах: а) с параллельным включением обеих катушек, б) с последовательным включением катушек, в) со встречным включением катушек (по двухтактному принципу: англ. push-pull — толкать и тянуть). В последнем случае одна катушка получает для запуска больший ток, другая — соответственно, меньший.

Электропитание

Сетевой блок питания 30 В постоянного напряжения снабжает сглаженным постоянным током выходные каскады и соответственно пропорциональные магниты. Эту систему электропитания с учетом возможных помех (например при включении реле, контакторов и двигателей) для электроники приходится монтировать отдельно. Некоторые конструкционные элементы нуждаются и в положительном, и в отрицательном питающем напряжении. Поэтому на плате усилителя размещается внутренний сетевой блок питания.

Формирование заданных значений

На четырех потенциометрах P1–P4 можно, пользуясь всего лишь отверткой, установить желаемые заданные значения. При повороте отвертки вправо значение повышается, при повороте влево — соответственно понижается. Эти установленные потенциометры могут опрашиваться посредством встроенных реле K1–K4. Такое возможно, например, с помощью предельных клавишных выключателей унифицированного механизма подачи. При срабатывании реле K5 задается отрицательное направление, при срабатывании реле K6 — положительное направление (ход вперед и соответственно назад). Пользуясь входом 12z, можно также и снаружи выполнять начальную установку регулируемого заданного значения в диапазоне от –15 до +15 В.

Формирование линейной функции

Изменение заданных значений не может производиться мгновенно. Более того, скорость такой перестановки должна меняться с линейным нарастанием или линейным понижением — для обеспечения плавного срабатывания пропорциональных вентилей. С этой целью электронная усилительная плата генерирует соответствующие пилообразные сигналы, предварительно выбираемые через потенциометры P5–P8.

Выходной блок управляющей платы

В выходном блоке заданное значение напряжения преобразуется в ток возбуждения. При этом регулируется именно ток, а не напряжение, с тем чтобы изменения омического сопротивления электромагнитной катушки — например, при возрастающей температуре — не оказывали влияния на позицию клапана. Положительные заданные значения отнесены к магниту *b*, отрицательные — к магниту *a*. Для каждого из двух электромагнитов может быть отдельно задан дополнительный ток покоя, протекающий независимо от заданного значения. Он служит целям подгонки путевого датчика к положению золотника распределителя. Для преодоления вариации показаний

пропорционального распределителя (разности измеренных значений одной и той же величины при прямом и обратном ходе измерительного органа) можно через потенциометр P11 напрямую включить ударный ток, который в зависимости от знака протекает только через соответствующий магнит и компенсирует время запаздывания при переключении.

Защита от короткого замыкания и замыкания на землю

Если на выходах имеет место короткое замыкание, оба выходных каскада отключаются соответствующим контрольным блоком. Усилитель вновь готов к работе только в том случае, если подача питающего напряжения была прервана на период 20-30 секунд. Для работы выходного каскада требуется разрешающий сигнал (выходной каскад ВКЛ.). При аварийном выключении электромагниты немедленно обесточиваются без всякой выдержки времени и независимо от заданного значения.

Передняя панель пропорционального (линейного) усилителя

Усилитель выполнен в виде печатной платы европейского формата. На передней панели (рис. 310) размещены потенциометры для установки параметров. Рабочие состояния индицируются предназначенными для этой цели светодиодами. Для каждого направления пилообразного сигнала устанавливается собственное время запаздывания. Чувствительность (англ. gain), понимаемая как «ограничение пределов управления», может устанавливаться в диапазоне 50...100%. При наличии перекрытия вентиля существует возможность повышения нулевой точки (англ. zero). В случае усилительных плат, рассчитанных на два магнита, указанную чувствительность и повышение нулевой точки можно устанавливать отдельно для каждого магнита.

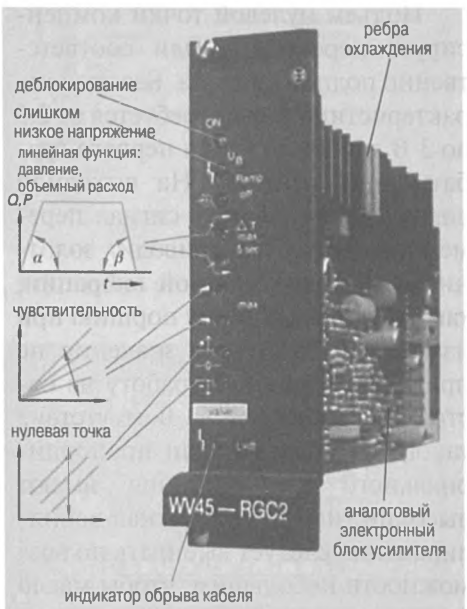


Рис. 310. Пропорциональный (линейный) усилитель

Регулировочные вентили с интегральной усилительной платой (рис. 311)

Регулировочные вентили, с точки зрения приборной техники, представляют собой усовершенствованный вариант клапанов пропорционального регулирования. Затвор клапана не имеет перекрытия. Управляющий электромагнит может действовать в

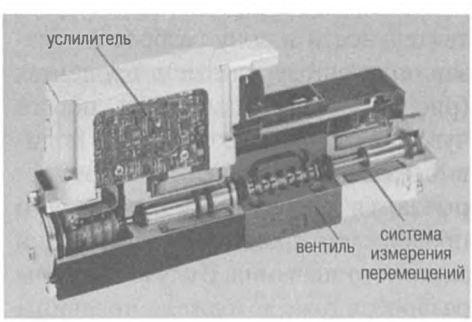


Рис. 311. Регулировочный вентиль с усилителем

двухконтактной схеме, преодолевая силу возвратной пружины. Затвор клапана располагает системой измерения перемещений и позиционным регулированием. Усилитель жестко прифланцован, параметры имеют постоянные значения. Пользователь не может вносить здесь никаких изменений. В зависимости от корпуса вентиля и его затвора, могут формироваться разные характеристики.

Настройка клапана пропорционального регулирования давления

С помощью усилительных плат, как правило, настраиваются параметры: ограничение пределов управления, подъем нулевой точки и сигнал осциллирования (рис. 312). На основе ограничения пределов управления удается изменять уровень разрешающей способности. В пневматике ограничение пределов управления устанавливается обычно на 60%, в результате чего при пуске с 10 В получают давление в 6 бар.

Подъем нулевой точки компенсирует перекрытие или соответственно подпор клапана. Без этой характеристики порой требуется от 2,5 до 3 В для достижения первого срабатывания вентиля. На выходной сигнал накладывается сигнал переменного тока, что приводит золотник в состояние легкой вибрации, так что управляющему поршню при изменении заданного значения не приходится начинать работу из состояния трения покоя. В отсутствие такого сигнала вентили пропорционального регулирования имеют высокий гистерезис. Сигнал осциллирования следует выбирать по возможности небольшим, чтобы масло в клапане не передавало возникшие колебания наружу.

Для сравнения вентилей можно измерить их гистерезис, порог чувствительности и зону разбросов, указав полученные данные в процентах (рис. 313). При измерении порога чувствительности доходят до половины заданного значения, затем прерываются на пару секунд, после чего продолжают процесс до достижения заданного значения. В случае же зоны разбросов тоже доходят до половины заданного значения, но после двухсекундной паузы возвращаются назад.

Рис. 312. Результат произведенных настроек

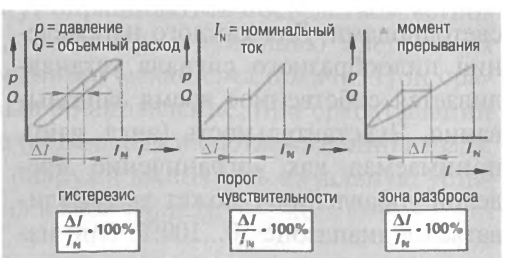


Рис. 313. Характеристические параметры

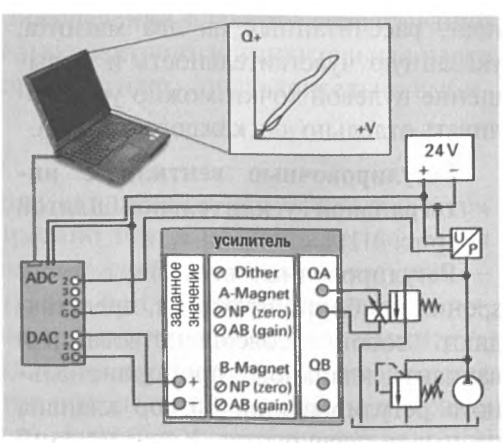


Рис. 314. Схема испытания вентилей

Эти характеристические кривые дают информацию о динамике вентиля.

Пример: Снятие характеристики пропорционального регулятора давления (рис. 314).

С помощью ПК данные передаются через интерфейсную плату. Посредством цифро-аналогового преобразователя заданное значение передается на усилитель с постепенным повышением от 0 до (например) 5 В и последующим обратным понижением. Через аналоговый вход (аналого-цифровой преобразователь) можно теперь представить текущее давление. Скорость проведения такого испытания способна определенным образом изменить результат, так что процесс следует вести как можно медленнее. Измеряется гидравлическое давление и отображается в диаграмме. Путем изменения указанных параметров (например сигнала осциллирования, повышения нулевой точки, ограничения пределов управления) можно настроить вентиль на желаемую характеристику. Рис. 315 демонстрирует хорошо настроенный вентиль. Давление холостого хода зависит от объемного расхода.

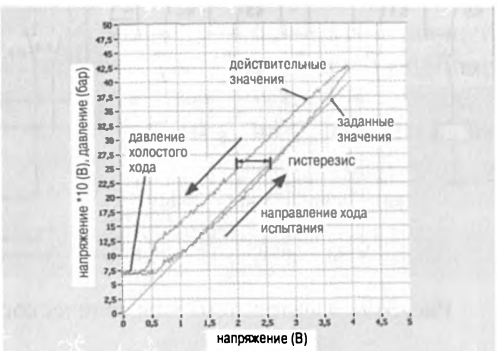


Рис. 315. Запись результатов испытания

Пример: Гидравлический механизм подачи.

Гидравлический цилиндр унифицированного механизма подачи управляется с использованием пропорционального распределителя. Через П-вентиль инициируются движения ускоренного хода, а также рабочие перемещения и их направление (рис. 316).

Регулятор постоянной разности давлений позволяет избежать зависимости цилиндра от нагрузки. В принципе, он выполняет ту же задачу, что и регулятор разности давлений в вентиле регулирования расхода.

Пропорциональный распределитель управляется с помощью аналоговой или цифровой усилительной платы, причем обозначения присоединений в том и другом случаях идентичны (рис. 317).

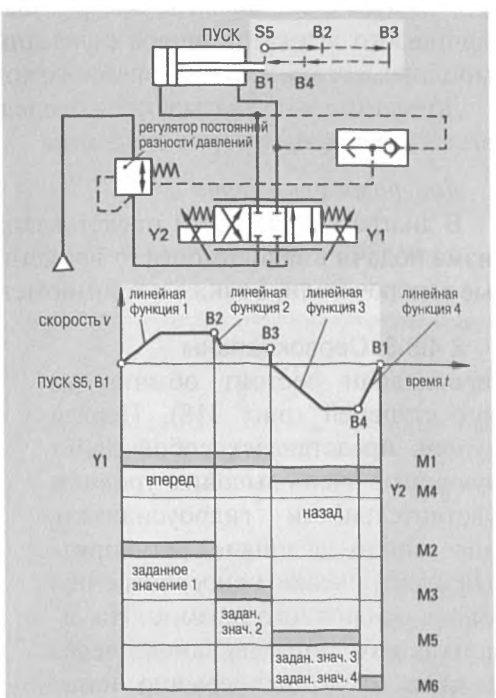


Рис. 316. Диаграмма пути и диаграмма скорости перемещений

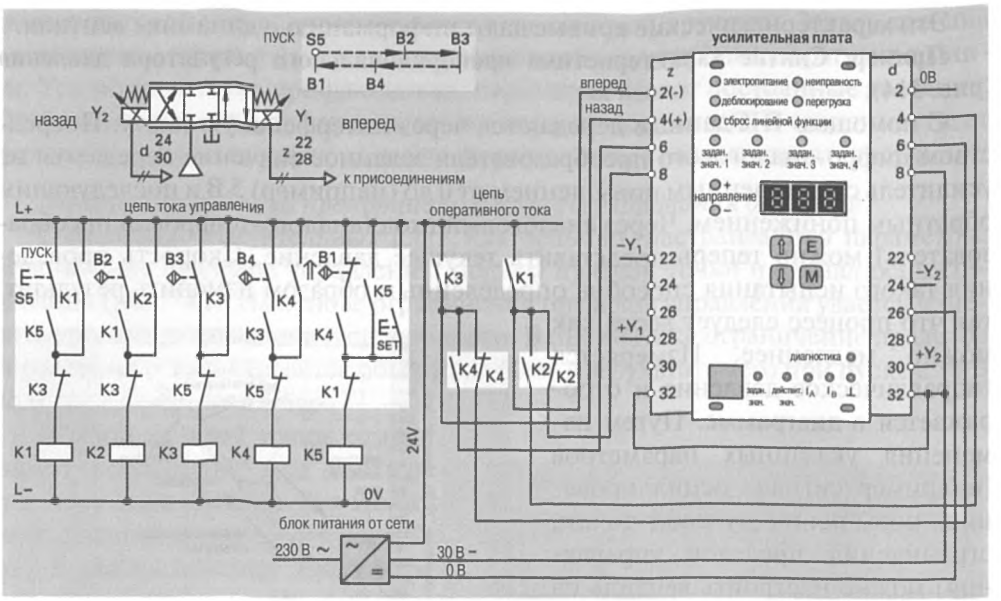


Рис. 317. Электросхема гидравлического механизма подачи

Диаграмма пути перемещений

При разработке проектной документации для системы управления начинать следует с составления диаграммы пути. Она отображает перемещение поршневого штока цилиндра с указанием всех рабочих путей и движений, выполняемых в режиме ускоренного хода.

Дополнительно указываются предельные клавишные переключатели, ответственные за изменение скорости.

Диаграмма скорости

В диаграмме скорости представлена скорость унифицированного механизма подачи в зависимости от времени. И здесь тоже указываются предельные выключатели, а также потенциометры линейного воздействия.

2.4.8.8. Сервоклапаны

Сервоклапан состоит обычно из двух ступеней (рис. 318). Первая ступень представляет собой действующий с очень высоким уровнем чувствительности гидроусилитель типа «сопло-заслонка», регулируемый электрическим способом с помощью подвижного магнита. На заслонках находятся два сопла, через которые масло непрерывно натекает на поверхности заслонок. При этом в трубопроводах сопла образу-

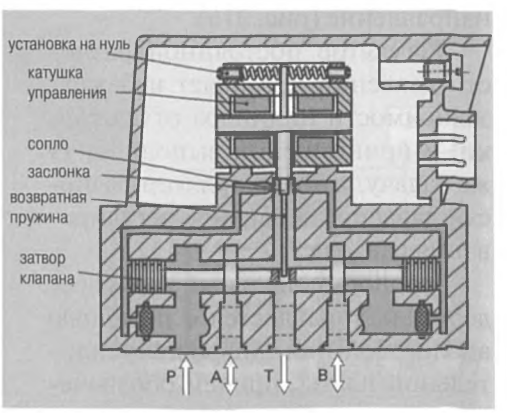


Рис. 318. Двухступенчатый сервоклапан

ется разность давлений, вызывающая перестановку затвора второй ступени клапана. Возврат заслонки в нейтральное положение осуществляется механическим способом.

Сервоклапаны быстрее и точнее реагируют на изменения сигналов, чем это делают пропорциональные вентили, но первые также и более чувствительны к загрязнению рабочей жидкости.

Характеристические параметры статических вентилей

Расходная характеристика. Отношение электрического тока цепи управления к объемному расходу гидравлической жидкости отображается в виде расходной характеристики (рис. 319). При этом — из-за потерь на намагничивание и трение — устанавливается разница между нарастающей и снижающейся характеристическими кривыми (гистерезис). В случае вентилей пропорционального регулирования, вмонтированных в цепь управления в качестве исполнительных органов, эта разница должна быть как можно меньшей. Что же касается сервоклапанов в качестве усилителей контура регулирования, то здесь гистерезис играет лишь второстепенную роль, поскольку его при желании нетрудно отрегулировать.

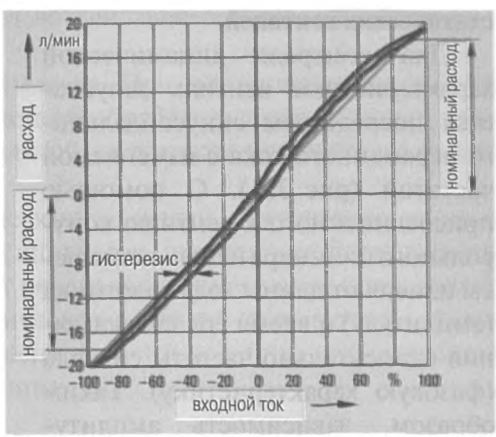


Рис. 319. Расходная характеристика

Перекрытие управляющих кромок. Перекрытие между затвором клапана и соединительными отверстиями оказывает решающее влияние на характеристику статического вентиля (рис. 320). Здесь важны, в частности, следующие моменты:

- Нулевое перекрытие означает бесступенчатый переход от одного направления протекания к другому. Оно особенно желательно при контурах позиционного регулирования и предполагает максимально точное конструктивное исполнение вентиля.

  Отрицательное перекрытие используется при регулировании усилий и давления и обеспечивает плавное включение.

  Положительное перекрытие в состоянии покоя запирает трубопроводы с гарантией надежно запертой позиции. Благодаря этому можно, например, в нулевом положении статического вентиля

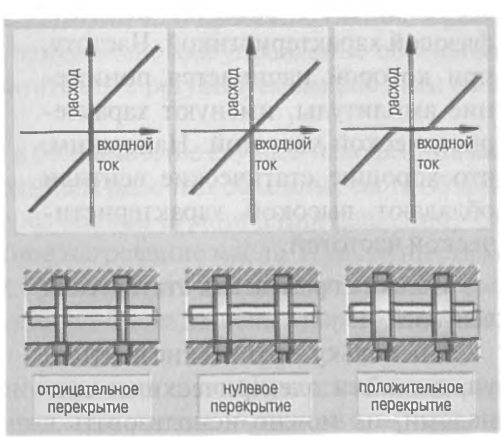


Рис. 320. Перекрытие управляющих кромок

установить давление в подводящей линии и использовать его в качестве давления управления для других коммутаций.

Путем выбора подходящей формы затвора клапана (например с надрезом или притуплением его наружной боковой поверхности) удается дополнительно изменять характеристику, получая продольно изогнутые либо параболические кривые — в точном соответствии с назначением клапана.

Утечка через сервоклапан в нейтральном положении. По расходу утечки при электрическом нулевом сигнале можно судить о качестве уплотнения затвора клапана. При отрицательном перекрытии утечка достаточно велика, при положительном перекрытии — весьма незначительна.

Порог чувствительности есть изменение электрического тока управления, необходимое для измеряемого изменения расхода рабочей жидкости. Этот параметр указывается в процентах от величины номинального тока.

Гистерезис есть максимальное процентное отклонение управляющего тока в пересчете на максимальную величину тока при равном расходе Q.

Динамическая характеристика статических вентилей

Для контроля динамической характеристики вентиль запускается посредством синусоидального переменного тока с изменяемой частотой (рис. 321). С помощью присоединенного к вентилю контрольного цилиндра небольшой массы измеряют длины хода золотника (амплитуду) и время его запаздывания относительно частоты сигнала (фазовую характеристику). Таким образом, зависимость амплитуды от частоты сигнала называется амплитудной характеристикой, а зависимость от фазового сдвига — фазовой характеристикой. Частоту, при которой начинается понижение амплитуды, именуют характеристической частотой. Напомним, что хорошие статические вентили обладают высокой характеристической частотой.

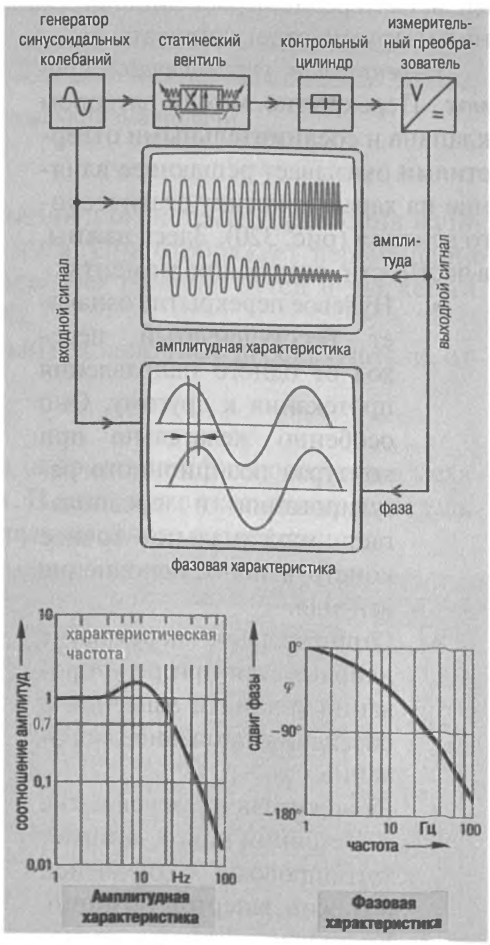


Рис. 321. Динамическая характеристика статических вентилей

Область применения статических вентилей

Поскольку статические вентили управляются электрическими сигналами, их можно использовать в системах дистанционного управле-

ния, автоматического программного управления и гибко программируемого управления с замкнутыми контурами регулирования (рис. 322).

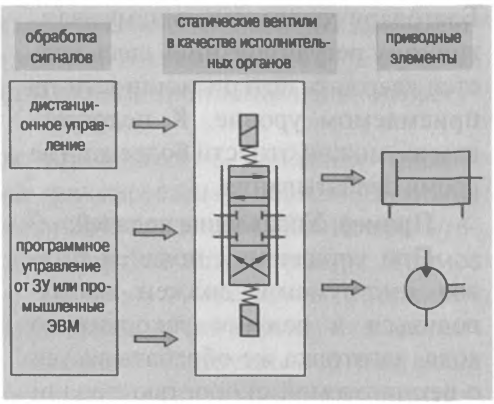


Рис. 322. Применение статических вентилей

Дистанционное управление. При эксплуатации крупногабаритных установок либо в случаях реальной опасности в отношении обслуживающего персонала (например в процессе работы погрузо-разгрузочных механизмов или тяжелого строительного автотранспорта) рекомендуется прокладывать длинные электропровода — по сравнению с гидравлическими или пневматическими трубопроводами. Передача сигналов с характерной согласуемостью осуществляется безынерционно и без воздействия со стороны давления и температуры.

Автоматическое программное управление. При повторяющихся рабочих циклах, какие бывают, например, у металлообрабатывающих станков, параметры пути, скорости и усилия приходится настраивать отдельно для разных шаговых операций.

При этом использование статических вентилей оказывается намного проще и дешевле эксплуатации иных аппаратов, гарантирует более высокое качество работы, облегчает и ускоряет переналадку. Еще одним преимуществом является контроль функции статических вентилей посредством путевых датчиков: это позволяет в любой момент времени получить информацию о точности и надежности работы золотника.

2.4.9. Примеры гидравлических систем управления

Для регулирования скорости цилиндра или числа оборотов двигателя на основе изменения объемного расхода используют или дросселирование с регуляторами расхода либо статическими вентилями, или управление объемным потоком с применением насосов и двигателей с регулируемым рабочим объемом.

При дроссельном управлении, где в большинстве случаев находят применение нерегулируемые насосы с постоянным рабочим объемом, часть объемной подачи насоса отводится в бак через клапан ограничения давления, что означает потерю мощности и неизбежное нагревание масла. Преимуществом же такого способа управления является реверс приводных элементов без выдержки времени и возможность применения более дешевых нерегулируемых насосов.

При управлении на основе объемного потока используются обычно сервонасосы и серводвигатели, обеспечивающие расход именно в том объеме, какой и требуют в данный момент гидравлические приводные элементы.

Благодаря соответствующему адаптивному регулированию здесь удается удержать потери мощности на приемлемом уровне. К недостаткам же можно отнести более долгое время срабатывания.

Пример: Управление подачей.

При управлении подачей подвод инструмента должен производиться в режиме ускоренного хода, заготовка же обрабатывается с регулируемой скоростью подачи (рис. 323). Для достижения ускоренного хода оба насоса 10 и 11 подают рабочую жидкость в цилиндр, который выдвигается с высокой скоростью. Клапаном 2 осуществляется переключение на движение подачи. При этом повышается давление в линии насоса 10, и клапаном 8 отключается насос быстрых ходов 11. С помощью регулятора расхода 3 можно выполнять предварительную установку желаемой скорости подачи. Возврат происходит в режиме ускоренного хода.

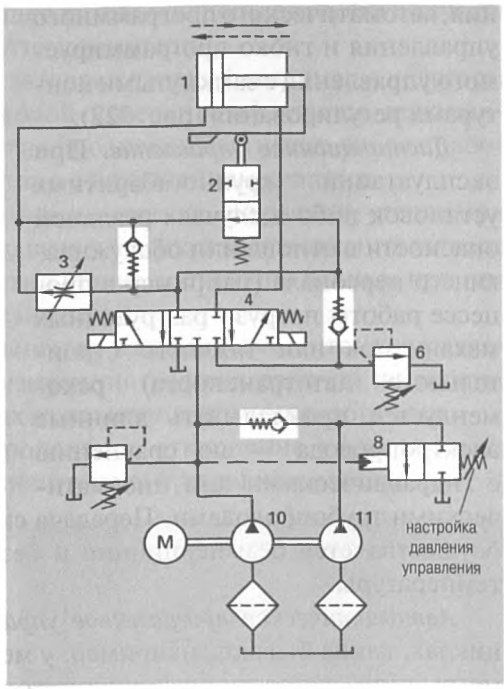


Рис. 323. Гидравлическое управление подачей

Пример: Управление автоматическими манипуляторами.

Данный манипуляционный автомат служит для штабелирования деревянных поддонов (рис. 324), которые принимаются от гвоздильного пресс-автомата и складируются в трех установленных местах. Принцип действия такого автомата состоит в следующем. Поворотный стол приводится в движение гидромотором. Поддоны захватываются с помощью автооператора, действующего с использованием линейного унифицированного механизма. Процессы захвата и укладки поддонов друг на друга должны осуществляться быстро и по воз-

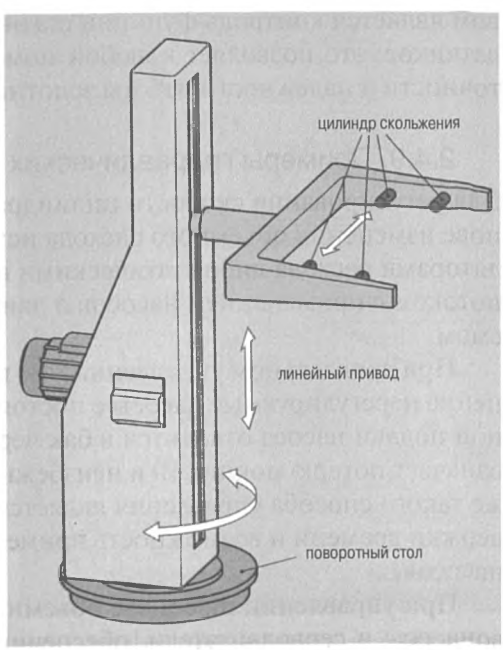


Рис. 324. Автоматический манипулятор

можности плавно. Кроме того — в целях максимально точного позиционирования — требуется электрическое управление вентилями. Все эти требования могут быть в полной мере выполнены аппаратами пропорционального регулирования.

Унифицированный линейный блок приводится в движение цилиндром двустороннего действия, который фиксируется в состоянии покоя двумя деблокируемыми обратными клапанами (рис. 325). Благодаря этому обеспечивается надежный останов при нагрузке автооператора. Тормоз гидравлического действия заботится о быстром торможении инерционных масс нагруженного механизма захвата. Для запуска тормозного цилиндра используются 4/2-распределитель с электроуправлением и регулятор давления, допускающий предварительную установку тормозного усилия. Пропорциональный вентиль располагает предвключенным регулятором постоянной разницы давлений, который, как и в случае регулятора расхода, удерживает на постоянном уровне разность давлений в месте дросселирования П-вентиля. При этом рабочая скорость линейного силового блока остается постоянной даже при переменной нагрузке.

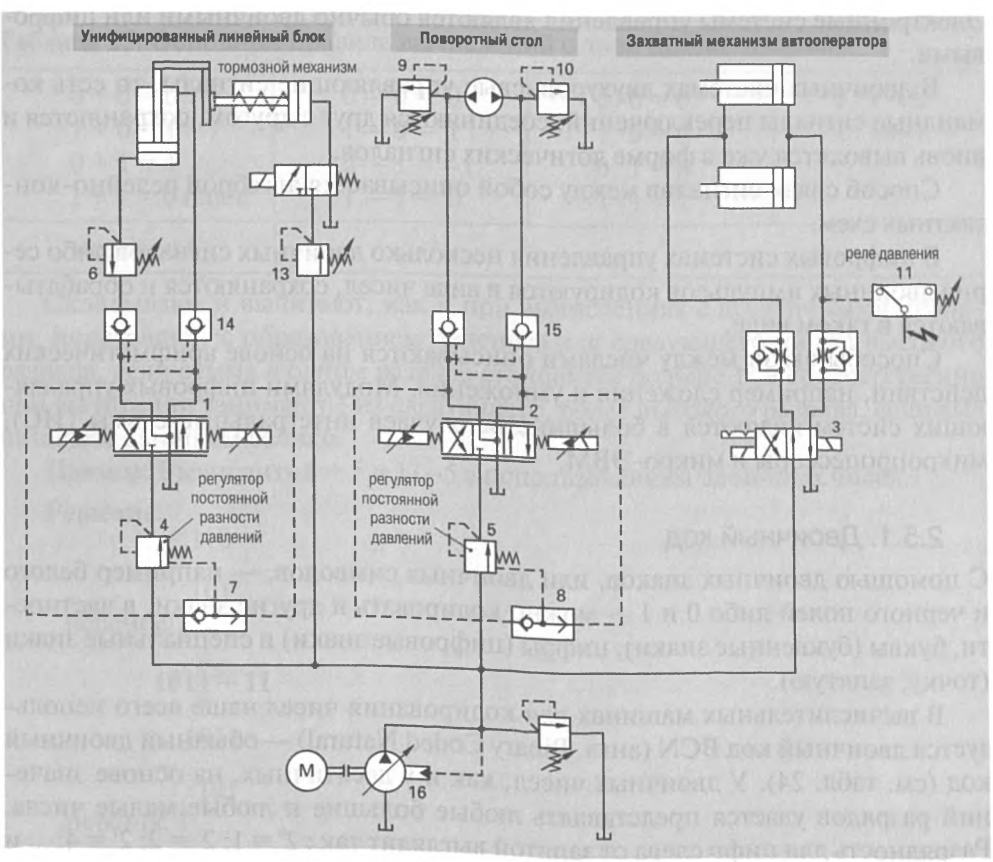


Рис. 325. Гидравлическое управление автоматическим манипулятором

Поворотный стол приводится в движение гидромотором, защищенным от перегрузки двумя регулируемыми клапанами ограничения давления. Управление скоростью здесь, как и у линейного блока, достигается с помощью П-вентиля с регулятором постоянной разности давлений. Оба узла — линейный привод и поворотный стол — тормозятся на основе линейной функции и под контролем инкрементных путевых датчиков устанавливаются в нужной позиции

Повторение и закрепление материала

1. *Каково назначение пропорциональных распределителей?*
2. *Какую задачу выполняют линейные функции?*
3. *Что такое «предел чувствительности»?*
4. *Объясните разницу между дроссельным управлением и управлением по объемному расходу.*
5. *Для чего регуляторы постоянной разности давлений встраиваются в подводящие линии вентилей пропорционального регулирования?*

2.5. Двоичные и цифровые системы управления

Электронные системы управления являются обычно двоичными или цифровыми.

В двоичных системах двухуровневые управляющие сигналы, то есть командные сигналы переключений, соединяются друг с другом, сохраняются и вновь выводятся уже в форме логических сигналов.

Способ связи сигналов между собой описывается алгеброй релейно-контактных схем.

В цифровых системах управления несколько двоичных сигналов либо серия двоичных импульсов кодируются в виде чисел, сохраняются и обрабатываются в таком виде.

Способы связи между числами описываются на основе арифметических действий, например сложения и умножения. Модулями цифровых управляющих систем являются в большинстве случаев интегральные схемы (ИС), микропроцессоры и микро-ЭВМ.

2.5.1. Двоичный код

С помощью двоичных знаков, или двоичных символов, — например белого и черного полей либо 0 и 1 — можно кодировать и другие знаки, в частности, буквы (буквенные знаки), цифры (цифровые знаки) и специальные знаки (точку, запятую).

В вычислительных машинах для кодирования чисел чаще всего используется двоичный код BCN (англ. Binary Coded Natural) — обычный двоичный код (см. табл. 24). У двоичных чисел, как и у десятичных, на основе значений разрядов удается представлять любые большие и любые малые числа. Разрядность для цифр слева от запятой выглядит так : $2^0 = 1$; $2^1 = 2$; $2^2 = 4$; ... и справа от запятой: $2^{-1} = 0{,}5$; $2^{-2} = 0{,}25$; $2^{-3} = 0{,}125$; ....

Таблица 24. Целые четырехразрядные двоичные числа

Десятичное число	Двоичное число	Десятичное число	Двоичное число
00	0 0 0 0	08	1 0 0 0
01	0 0 0 1	09	1 0 0 1
02	0 0 1 0	10	1 0 1 0
03	0 0 1 1	11	1 0 1 1
04	0 1 0 0	12	1 1 0 0
05	0 1 0 1	13	1 1 0 1
06	0 1 1 0	14	1 1 1 0
07	0 1 1 1	15	1 1 1 1
Цена разряда	8 4 2 1		8 4 2 1

Пример:

Определить десятичное число, равнозначное двоичному числу 101,011.

Решение:

$101{,}011 \mathrel{\widehat{=}} 1 \quad 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \quad 2^0 + 0 \cdot 2{-}1 + 1 \quad 2{-}2 + 1 \quad 2{-}3 = 5{,}375.$

Вычисления с двоичными числами очень похожи на вычисления с десятичными числами (см. табл. 25).

Таблица 25. Основные правила вычислений с двоичными числами

0 + 0 = 0 1 + 0 = 1 0 + 1 = 1 1 + 1 = 0 плюс	0 — 0 = 0 1 — 0 = 1 0 — 1 = –1 1 — 1 = 0	0 · 0 = 0 1 · 0 = 0 0 · 1 = 0 1 1 = 1	0 : 1 = 0 1 1 = 1
перенос 1			

Складывают и вычитают, как и при вычислениях с десятичными числами, поразрядно, с образованием переноса для следующего, более высокого разряда, если сумма в одном разряде становится больше 1; и соответственно при вычитании занимают 1 из следующего, более высокого разряда, если вычитаемое слишком велико.

Пример: Вычислить 6 + 5 и 11–5 с использованием двоичных чисел.

Решение:

$$\begin{array}{r} 110 \\ + \\ 101 \\ \hline \end{array}$$

перенос 1

$$\overline{\mathbf{1011}} \mathrel{\widehat{=}} \mathbf{11}$$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ - \\ 101 \\ \hline \end{array}$$

перенос 1

$$\overline{\mathbf{0110}} \mathrel{\widehat{=}} \mathbf{6}$$

При сложении складывают поразрядно справа налево: 1 + 0 = 1; 0 + 1=1; 1 + 1= 0 + перенос 1 в 4-й разряд. При вычитании вычитают поразрядно справа налево: 1–1= 0; 1— 0 = 1; 0–1 не идет, то есть занимают 1 из следующего, более высокого разряда. Вычисляют 10 — 1=1 (поскольку 1 + 1 = 10).

Для умножения, как и в случае десятичных чисел, отдельные частичные произведения с поразрядным сдвигом записывают друг под другом и суммируют. Для деления используют тот же способ, что и для десятичных чисел, решая, сколько делителей содержится в делимом.

Пример: Вычислить 2×11 и $6 : 4$ с использованием двоичных чисел.

Решение:

$$\begin{array}{rl} 10 \cdot 1011 & \\ 10 & \\ 00 & \triangleq 1\ 2^4 + 0 \cdot 2^3 \\ 10 & +1\ 2^2 + 1\ 2^1 \\ \underline{10} & +0 \cdot 2^0 = \mathbf{22} \\ \mathbf{10110} & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} 110 : 100 = 1,1 & \\ \underline{100} & \triangleq 1\ 2^0 \\ 100 & +1\ 2^{-1} \\ \underline{100} & = \mathbf{1,5} \\ ------ & \end{array}$$

2.5.2. Двоично-десятичные коды

С помощью двоично-десятичных кодов осуществляется двоичное кодирование цифр от 0 до 9; так, цифра 7 в коде 8-4-2-1 соответствует двоичному числу 111, в коде 5-2-1-1 — двоичному числу 1011, а в коде «два из пяти» — двоичному числу 10001 (см. табл. 26). С четырьмя двоичными разрядами можно закодировать 16 знаков, например 16 цифр, а с тремя двоичными разрядами — всего 2^3 = 8 цифр. Для кодирования 10 десятичных цифр от 0 до 9 требуется поэтому не менее четырех двоичных разрядов (1 тетрада, греч. тетра — 4). Десятичные цифры часто кодируются более чем с четырьмя двоичными разрядами (битами), как, например, в коде «один из десяти». Здесь единица в нулевом разряде соответствует нулю, в первом разряде — единице, во втором разряде — двойке и т. д. Таблица 25 показывает наиболее распространенные двоично-десятичные коды.

Двоично-десятичные коды с более чем четырьмя битами на одну декаду особенно подходят для защиты кода от ошибок считывания и помех при передаче сигналов. В коде «два из пяти» для каждой цифры всегда имеются два единичных бита и три нулевых бита. Если, например, из-за неисправного диода возникает ошибка считывания, так что считывается три единичных бита, распознать это можно благодаря автоматической проверке кода. Коды, содержащие больше битов для кодирования, чем это необходимо, называют «избыточными». Эту избыточность используют для распознавания ошибок либо — при очень высокой избыточности — также для автоматической коррекции ошибок.

Таблица 26. Двоично-десятичные коды

десятичные цифры	код 8-4-2-1	код 2-4-2-1	код 5-2-1-1	код с избытком три	одношаговый двоично-десятичный код	код «два из пяти»	код «один из десяти»
цена разряда	8421	2421	5211	нет	нет	74210	9876543210

Повторение и закрепление материала

1. *Как изменится цена разрядов двоичного числа при прочтении его справа налево?*
2. *Каково значение первого от запятой разряда двоичного числа?*
3. *Сколько разных цифр кодируется с помощью двоично-десятичного кода?*
4. *Каково минимальное число битов для кодирования чисел 0...999 в двоично-десятичном коде?*
5. *Каковы преимущества кода «два из пяти» по сравнению с кодом 8-4-2-1?*
6. *Что такое избыточность?*

2.5.3. Двоичные логические связи

В двоичных системах управления требуются конструкционные элементы, с помощью которых можно соединять двоичные сигналы, например, сигналы бесконтактных выключателей приближения. Двоичные управляющие системы с очень большим числом сигнальных связей являются в большинстве случаев электронными системами управления с двоичными логическими схемами либо оснащенными микропроцессорами системами программного управления от ЗУ.

Независимо от того, являются ли эти сигналы механическими, пневматическими или электрическими, среди логических операций различают функцию И, функцию ИЛИ и функцию НЕ (отрицание). Для наглядного представления этих связей выбрана форма уравнений (переключательных функций) с использованием алгебры релейно-контактных схем и схем сигнализации.

Логический элемент И посылает на свой выход сигнал со значением 1, если на одном входе И на другом входе также имеет место сигнал со значением 1, например логический сигнал, напряжение, давление и т. д. (см. табл. 27).

Таблица 27. Логическая операция И

Условное обозначение на схеме				
a, b — & — x				
Таблица значений функций				
a b | x				
0 0 | 0				
0 1 | 0				
1 0 | 0				
1 1 | 1				
Форма записи: x = a ∧ b	Электрический способ (с реле)	Электронный способ (с транзисторами)	Механический способ	Пневматический способ

В таблице значений функций представлены все возможные коммутационные состояния для входных сигналов *a, b* с указанием относящегося сюда значения функции для выходного сигнала *x*. Если входы *a, b* проводят каждый сигнал со значением 0, то выход *x* также посылает сигнал со значением 0. Если на входе *a* имеет место сигнал со значением 0, а на входе *b* — сигнал со значением 1, то выход *x* снова проводит сигнал со значением 0. Если, напротив, вход *a* проводит сигнал со значением 1, а вход *b* — сигнал со значением 0, то на выходе опять-таки будет сигнал со значением 0. И только если входные сигналы *a* И *b* будут сигналами со значением 1, то и выходной сигнал *x* также будет сигналом со значением 1.

В алгебре релейно-контактных (переключательных) схем, именуемой также булевой алгеброй, такая функциональная зависимость выражается в виде переключательной функции $x = a \wedge b$, что означает: *x* равен *a* и *b*.

В электрической схеме функцию И реализуют на основе последовательно включенных контактов. Только при замыкании контактов *a* И *b* на реле поступает электрический ток и включает контакт *x* (см. табл. 27).

У электронных схем существует множество форм исполнения — в зависимости от вида используемых полупроводниковых элементов. Например, через резистор *R* протекает электрический ток (и соответственно на *R* подается напряжение) только в том случае, если на выводах базы двух транзисторов *a* И *b* имеет место управляющее напряжение (см. табл. 26).

Операция И механического действия может быть реализована, например, с помощью двух коленчатых рычагов (см. табл. 27): только когда нажаты установочные кнопки *a* И *b*, длины хода коленчатых рычагов будет достаточно, чтобы отжать болт *x* вправо (сигнал со значением 1).

Пневматическим способом операцию И можно реализовать посредством включенных друг за другом распределителей, приводимых в действие, например, за счет нагружения давлением и пружинного возврата (см. табл. 27). Оба вентиля закрыты в состоянии покоя, и лишь когда задействованы оба присоединения управляющей линии, вывод *x* проводит давление. Обычно в качестве элемента И используется регулятор двойного давления (см. табл. 27).

Логический элемент ИЛИ всегда посылает на свой выход сигнал со значением 1, если на одном входе ИЛИ на другом входе, ИЛИ на обоих входах имеет место сигнал со значением 1. И только когда все входы проводят сигнал со значением 0, на выходе также появится сигнал со значением 0 (см. табл. 28).

Связь между входными сигналами и выходным сигналом представлена через таблицу значений функций либо через переключательную функцию $x = a \vee b$, что означает: x равно a или b.

В электрической схеме функцию ИЛИ реализуют на основе параллельно включенных контактов. При замыкании контактов a ИЛИ b (или обоих сразу) реле производит включение контакта x.

При электронной схеме входы сигналов есть выводы баз параллельно включенных транзисторов. Если на одном ИЛИ на обоих выводах базы имеет место положительное напряжение, то включаются один либо оба транзистора. Тогда выход также проводит сигнал положительного напряжения x.

При механической функции ИЛИ можно задействовать — на выбор — установочные кнопки a ИЛИ b либо обе кнопки, чтобы отжать болт x вправо (сигнал со значением 1).

Пневматическим способом операцию ИЛИ можно реализовать с помощью двух распределителей. При срабатывании a ИЛИ b присоединение x оказывается под давлением. Операция ИЛИ возможна и с использованием перекидного клапана.

Таблица 28. Логическая операция ИЛИ

Условное обозначение на схеме				

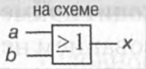
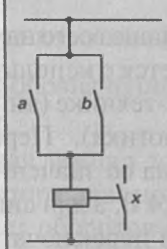
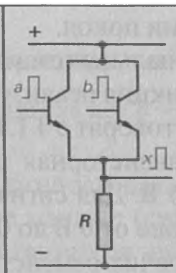
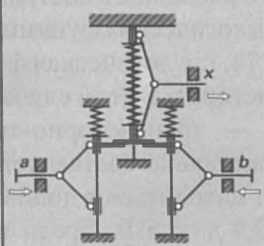
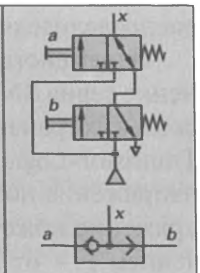

				

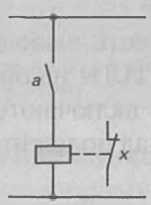
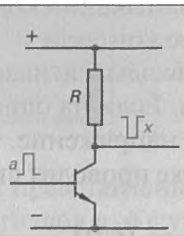
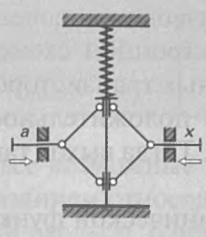
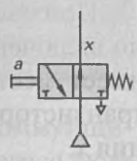
Таблица значений функций $a\ b \mid x$ 0 0 | 0 0 1 | 1 1 0 | 1 1 1 | 1				Перекидной клапан
Форма записи: $x = a \vee b$	Электрический способ (с реле)	Электронный способ (с транзисторами)	Механический способ	Пневматический способ

Элемент НЕ (схема отрицания) вызывает изменение полярности сигнала. Из сигнала со значением 1 на входе получается сигнал со значением 0 на выходе, а из сигнала со значением 0 на входе получается сигнал со значением 1 на выходе (см. значения функций в таблице 29). Данная переключательная функция имеет вид $x = \overline{a}$ и означает: x не равен a.

В электрической схеме изменение полярности сигнала реализуют через реле с размыкающим контактом. При включении реле происходит размыкание релейного контакта, при выключении — его замыкание.

При электронной схеме транзистор проводит ток, если на выводе его базы имеет место положительное напряжение (сигнал со значением 1) (см. табл. 29). В результате на резисторе *R* отмечается падение напряжения, и выход проводит напряжение около 0 В, то есть имеет место сигнал со значением 0. Если на базе вообще нет напряжения (сигнал со значением 0), транзистор не проводит ток, а на выходе *x* есть напряжение и, следовательно, имеет место сигнал со значением 1.

Таблица 29. Логическая операция **НЕ**

Условное обозначение на схеме				
например Таблица значений функций a | x 0 | 1 1 | 0 Форма записи: $x = \bar{a}$ Означает: *x* не равен *a*				
	Электрический способ (с реле)	Электронный способ (с транзисторами)	Механический способ	Пневматический способ

Механический элемент НЕ меняет регулировочное направление болта на обратное. При отжатии установочной кнопки *a* вправо (сигнал со значением 1) болт *x* перемещается влево (сигнал со значением 0), а если потянуть установочную кнопку *a* влево, болт пойдет вправо.

Пневматическим способом операцию НЕ можно реализовать с помощью распределителя с расходом в состоянии покоя.

Из семейства логических функциональных схем чаще всего находит применение серия SN 74, где логическая функция реализуется с использованием нескольких транзисторов. В этом случае говорят о ТТЛ-технике (англ. Transistor-Transistor-Logic — транзисторно-транзисторная логика). Переключающее напряжение номинально составляет 5 В. Для сигнала со значением 0 это напряжение может находиться в диапазоне от 0 В до 0,4 В, а для сигнала со значением 1 — от 2,4 до 5,5 В. Среди прочих семейств переключательных схем можно назвать: I^2L (англ. Integrated Injection Logic — интегральная инжекционная логика, $И^2Л$), ECL (англ. Emitter-Coupled Logic — эмиттерно-связанная логика, ЭСЛ) и множество семейств MOS (англ. Metal-Oxide-Semiconductor — МОП-структура).

Сочетание нескольких логических функций

Функция И и функция ИЛИ могут быть расширены на несколько входов или снабжены еще и схемой НЕ (НЕ И, НЕ ИЛИ), либо несколько логических элементов могут быть вложены друг в друга с образованием единого звена связи (см. табл. 30).

Двоичные электронные функциональные схемы обычно содержат на одном чипе (кристалле ИС) несколько логических модулей, например сразу четыре элемента НЕ И.

Таблица 30. Функциональные схемы соединений сигналов (примеры)

$a_1\ a_2\ a_3\ \ a_n$; &; x; И; $x = a_1 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge \ \wedge a_n$	$a\ b$; &; x; НЕ И; $x = \overline{a \wedge b}$; $\bar{x} = a \wedge b$	$a_1\ a_2\ a_3\ a_4\ a_5$; &; ≥ 1; &; x; $x = a_5 \wedge [a_3 \vee \bar{a}_4 \vee (a_1 \wedge \bar{a}_2)]$
$a_1\ a_2\ a_3\ \ a_n$; ≥ 1; x; ИЛИ; $x = a_1 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge \ \wedge a_n$	$a\ b$; ≥ 1; x; НЕ ИЛИ; $x = \overline{a \vee b}$; $\bar{x} = a \vee b$	

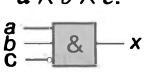
Примеры:

Для приведенных далее заданий определите требуемые логические функции и составьте функциональную схему соединений сигналов.

Задание 1

Двигатель шпинделя x должен включаться при нажатии сигнальной кнопки a (сигнал со значением 1), причем смазочный насос b работает (сигнал со значением 1), а двигатель зажима инструмента c не работает (сигнал со значением 0).

Решение: логическая функция $x = a \wedge b \wedge \bar{c}$.

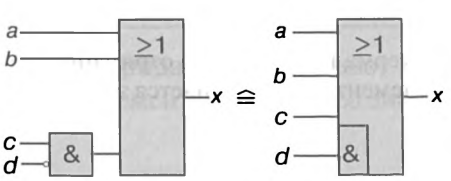
Условное обозначение на схеме: 

Задание 2

Сигнальная лампа x должна загораться (сигнал со значением 1) при включении регулятора давления масла a (сигнал со значением 1) или срабатывании реле чисел оборотов b двигателя шпинделя (сигнал со значением 1) либо с приведением в действие двигателя зажима инструмента c (сигнал со значением 1), но без одновременной активизации тормозной муфты d (сигнал со значением 0).

Решение: логическая функция $x = a \vee b \vee (c \wedge \bar{d})$.

Условное обозначение на схеме:



2.5.4. Алгебра переключательных схем

Алгебра переключательных схем (булева алгебра, от Boole — английский математик 1815–1864 гг.) есть математическое описание отношений между двоичными переменными. Существует целый набор правил, объяснить которые легче всего с помощью переключающих контактов и возможного прохождения электрического тока (см. табл. 31).

Перечислим здесь важнейшие законы алгебры переключательных схем (табл. 32):

- законы коммутативности,
  ассоциативные (сочетательные) законы,
  распределительные (дистрибутивные) законы,
  законы отрицания (теорема Де Моргана — от De Morgan — английский математик 1806–1871 гг.).

Таблица 31. Правила алгебры переключательных схем

$0 \wedge a = 0$	$1 \wedge a = a$	$a \wedge a = a$	$a \wedge \bar{a} = a$
$0 \vee a = 0$	$1 \vee a = 1$	$a \vee a = a$	$a \vee \bar{a} = 1$

Таблица 32. Законы алгебры переключательных схем с примерами

Закон коммутативности: $a \wedge b = b \wedge a$ $a \vee b = b \vee a$	В пределах одного булева терма И и соответственно одного булева терма ИЛИ возможна перестановка переменных.
Ассоциативный закон: $a \wedge b \wedge c = (a \wedge b) \wedge c$ $a \vee b \vee c = (a \vee b) \vee c$	Переменные одной функции могут объединяться только с использованием скобок.
Дистрибутивный закон: $a \wedge (b \vee c) = (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$ $a \vee (b \wedge c) = (a \vee b) \wedge (a \vee c)$	Соединение с выражениями в скобках дает новые выражения в скобках.
Теорема Де Моргана: $\overline{a \wedge b} = \bar{a} \vee \bar{b}$ $\overline{a \vee b} = \bar{a} \wedge \bar{b}$	Отрицание терма тождественно отрицанию переменных, если элемент ИЛИ заменяется элементом И, и наоборот.

Пример 1:

Перевести функцию
$x = (a \wedge b) \vee (c \wedge d)$
в функцию, содержащую только термы НЕ И.

Решение:

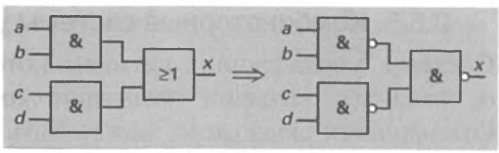


Рис. 326. Решение примера 1

$$\bar{x} = \overline{(a \wedge b) \vee (c \wedge d)} = (\overline{a \wedge b}) \wedge (\overline{c \wedge d})$$

$$x = \bar{\bar{x}} = \overline{\overline{(\overline{a \wedge b}) \wedge (\overline{c \wedge d})}}$$

(рис. 326)

Пример 2:

Перевести функцию
$x = (a \wedge \bar{b}) \vee c$ в термы НЕ И.

Решение:

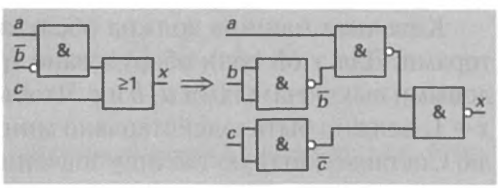


Рис. 327. Решение примера 2

$$\bar{x} = \overline{(a \wedge \bar{b}) \vee c} = (\overline{a \wedge \bar{b}}) \wedge \bar{c}$$

$$x = \bar{\bar{x}} = \overline{\overline{(a \wedge \bar{b}) \wedge \bar{c}}}$$

(рис. 327)

Отрицание переменных получают с помощью логического элемента НЕ И:

$$\bar{b} = \overline{b \wedge b}, \bar{c} = \overline{c \wedge c}$$

Пример 3:

Перевести функцию $x = (a \wedge b) \vee (c \wedge d)$ в функцию, содержащую только термы НЕ ИЛИ.

Решение:

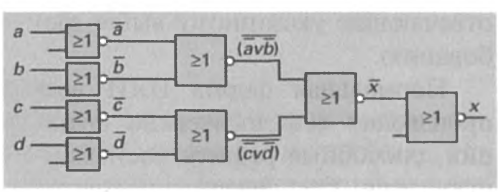


Рис. 328. Решение примера 3

$$\bar{x} = \overline{(a \wedge b) \vee (c \wedge d)} = (\overline{a \wedge b}) \wedge (\overline{c \wedge d}) = (\bar{a} \vee \bar{b}) \wedge (\bar{c} \vee \bar{d})$$

$$\bar{\bar{x}} = x = \overline{(\bar{a} \vee \bar{b}) \wedge (\bar{c} \vee \bar{d})} = (\overline{\bar{a} \vee \bar{b}}) \vee (\overline{\bar{c} \vee \bar{d}})$$

$$\bar{x} = \overline{\overline{(\bar{a} \vee \bar{b}) \vee (\bar{c} \vee \bar{d})}}$$

В результате отрицания $\bar{x}$ получают x. Отрицание переменных достигается посредством элемента НЕ ИЛИ со значением 0 (рис. 328).

2.5.5. Комбинаторные системы управления

Систему, управляющие сигналы которой зависят только от комбинации ее входных сигналов, называют комбинаторной системой управления. Относящаяся сюда схема может быть смонтирована с использованием элементов И, ИЛИ и НЕ. Для определения нужной схемы в случае неясных условий переключений следует сначала составить полную таблицу значений функций, после чего образовать либо нормальную форму ИЛИ, либо нормальную форму И. Поскольку любая переменная на входе может принимать значения 1 и 0, схема с n-входными переменными располагает — в соответствии с возможными двоичными числами — комбинациями в количестве 2^n. Полная таблица значений функций содержит все комбинации входных переменных с относящимися к ним выходными переменными.

Пример

Ковочная машина должна обслуживаться тремя, минимум двумя операторами. Для этой цели оборудовано три одинаковых поста управления с кодовыми выключателями a, b и c. Чтобы машина могла включаться по сигналу $x = 1$, должно быть задействовано минимум два или три кодовых выключателя. Составьте полную таблицу значений функций.

Решение:

Три входные переменные c, b, a, каждая из которых может принимать значения 1 или 0, дают 23 = 8 возможных комбинаций (рис. 329). Получается, что имеется как раз четыре переключательные функции, отвечающие указанному выше требованию.

	c	b	a	x	
0	0	0	0	0	для образования нормальной формы И
1	0	0	1	0	
2	0	1	0	0	
3	0	1	1	1	
4	1	0	0	0	
5	1	0	1	1	для образования нормальной формы ИЛИ
6	1	1	0	1	
7	1	1	1	1	

Рис. 329. Полная таблица значений функций с тремя переменными

Нормальная форма ИЛИ воспроизводит все логические функции, способные решить поставленную задачу. Она содержит элементы И всех входных переменных для всех строчек таблицы функций, в которых выходной сигнал принимает значение 1.

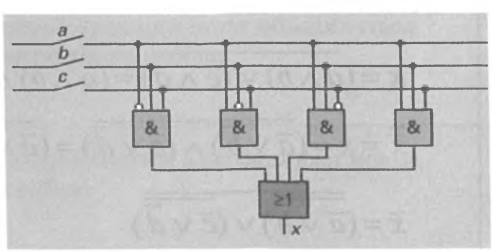


Рис. 330. Функциональная схема для нормальной формы ИЛИ с тремя переменными

Нормальную форму И получают на основе переключательных функций, которые не решают поставленную задачу. Если с этими функциями произвести логическую операцию НЕ, получим новую функцию, как раз показывающую путь решения данной задачи. На основе такой функции с отрицанием получают элементы И всех вообще имеющихся входных переменных, связанных между собой логическим элементом ИЛИ.

Нормальная форма И предпочтительнее нормальной формы ИЛИ, когда выходная переменная в полной таблице значений функций реже имеет значение 0, чем значение 1: тогда она содержит меньше логических связей.

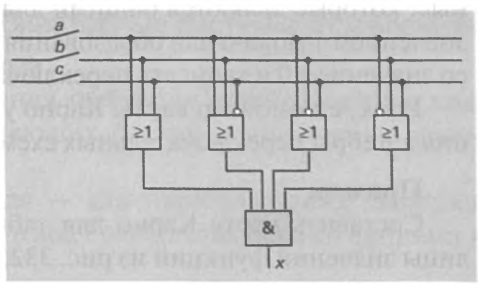


Рис. 331. Функциональная схема для нормальной формы И с тремя переменными

Пример:

Составьте нормальную форму ИЛИ для таблицы значений функций (рис. 329) и выполните функциональную схему.

Решение (рис. 330):

$$x = (\bar{c} \wedge b \wedge a) \vee (c \wedge \bar{b} \wedge a) \vee (c \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (c \wedge b \wedge a)$$

Пример:

Составьте нормальную форму И для таблицы значений функций (рис. 329).

Решение (рис. 331):

$$\bar{x} = (\bar{c} \wedge \bar{b} \wedge \bar{a}) \vee (\bar{c} \wedge \bar{b} \wedge a) \vee (\bar{c} \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (c \wedge \bar{b} \wedge a)$$

с отрицанием:

$$\bar{\bar{x}} = x = \overline{(\bar{c} \wedge \bar{b} \wedge \bar{a}) \vee (\bar{c} \wedge \bar{b} \wedge a) \vee (\bar{c} \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (c \wedge \bar{b} \wedge \bar{a})}$$

$$(c \vee b \vee a) \wedge (c \vee b \vee \bar{a}) \wedge (c \vee \bar{b} \vee a) \wedge (\bar{c} \vee b \vee a)$$

Упрощение переключательных функций

Пользуясь правилами вычислений алгебры переключательных схем, логические функции можно соответственно преобразовывать и упрощать. Но поскольку работа с правилами вычислений занимает порой слишком много времени, для упрощения логических функций прибегают к графическому представлению, а именно к карте Карно, названной так по имени английского математика Карно.

Карта Карно для 2, 3 и 4 переменных содержит $2^2 = 4$, $2^3 = 8$ и соответственно $2^4 = 16$ полей — например, при трех входных переменных *a*, *b* и *c* будет 8 полей (рис. 332). К входным переменным отнесено по одной полосе. Поскольку эти полосы пересекаются, то в *n*-полях будут представлены все комбинации входных переменных. Теперь, исходя из полной таблицы значений функций, надо внести «1» в те поля, которые выполняют условия переключений. Соседние поля с «1» могут быть объединены элементами И в блоки из 2, 4 или 8 полей. Желательно объединить как можно больше полей, чтобы найти зоны со значением 1, связанные в блоки по 2, 4 или 8 полей. Собственно упрощение состоит теперь в том, что исчезают все входные переменные, изменяющиеся внутри одного блока. Сохраняются лишь перемен-

ные, которые являются общими для всех полей одного блока. Вместо зон со значением 1 можно для образования нормальной формы И найти также зоны со значением 0 и записать переключательные функции с отрицанием.

Итак, с помощью карты Карно удается целесообразно упростить уравнения алгебры переключательных схем.

Пример:

Составить карту Карно для таблицы значений функций из рис. 332.

Решение:

Мы имеем три входных переменных. Карта Карно содержит 23 = 8 полей (рис. 333). Поля, в которых пересекаются 2 или 3 полосы, отмечают цифрой 1, так как согласно поставленной задаче должно включаться минимум 2 из трех выключателей *a, b, c*. В соответствии с таблицей значений функций, это будут поля 3, 5, 6, 7.

На основе карты Карно можно теперь определить блоки, состоящие из двух полей со значением 1, по уравнению:

$x = (a \wedge c) \vee (a \wedge b) \vee (b \wedge c)$.

Таким образом, мы получаем более простую по сравнению с рис. 333, но абсолютно равноценную ей функциональную схему. Вместо четырех термов по три переменных в каждом достаточно всего трех термов с двумя переменными в каждом.

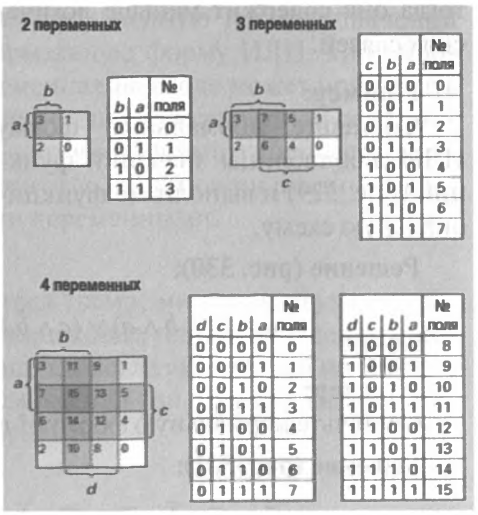


Рис. 332. Карта Карно для 2, 3 и 4 переменных

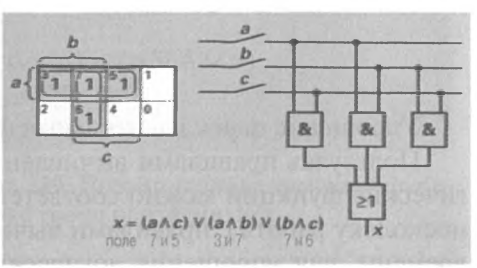


Рис. 333. Карта Карно и функциональная схема

<u>Повторение и закрепление материала</u>

1. *Поясните на простом примере суть закона де Моргана.*
2. *В чем смысл двойного отрицания?*
3. *Какие логические функции из полной таблицы значений функций используют для составления нормальной формы ИЛИ?*
4. *Какие логические функции из полной таблицы значений функций составляют нормальную форму И?*
5. *В каких случаях нормальная форма И предпочтительнее нормальной формы ИЛИ?*
6. *Как можно с помощью карты Карно упростить переключательные функции?*

2.5.6. Упражнения по теме «комбинаторные системы управления»

Упражнение 1: Преобразователь кода.

Для многих цифровых систем управления требуются преобразователи кода, если, например, в отдельных управляющих блоках используются разные коды.

Сформируйте преобразователь кода — для преобразования двоичного кода с сигнальными линиями a, b, c, d в код Грея с сигнальными линиями w, x, y, z (рис. 334).

Решение (см. рис. 332):

Составим сначала нормальную форму ИЛИ для сигналов w, x, y и z.

Сигнал z имеет для чисел 8–15 значение 1.

$$z = (d \wedge \bar{c} \wedge \bar{b} \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge \bar{b} \wedge a) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge b \wedge \bar{a}) \vee$$
$$(d \wedge \bar{c} \wedge b \wedge a) \vee (d \wedge c \wedge \bar{b} \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge c \wedge \bar{b} \wedge a) \vee$$
$$(d \wedge c \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge c \wedge b \wedge a)$$

Сигнал y имеет для чисел 4-11 значение 1.

$$y = (\bar{d} \wedge c \wedge \bar{b} \wedge \bar{a}) \vee (\bar{d} \wedge c \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (\bar{d} \wedge c \wedge b \wedge \bar{a}) \vee$$
$$(\bar{d} \wedge c \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge \bar{b} \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge \bar{b} \wedge a) \vee$$
$$(d \wedge \bar{c} \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge b \wedge a)$$

Сигнал x имеет для чисел 2-5 и 10-13 значение 1.

$$x = (\bar{d} \wedge \bar{c} \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (\bar{d} \wedge \bar{c} \wedge b \wedge a) \vee (\bar{d} \wedge c \wedge \bar{b} \wedge \bar{a}) \vee$$
$$(\bar{d} \wedge c \wedge \bar{b} \wedge a) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge b \wedge a) \vee$$
$$(d \wedge c \wedge \bar{b} \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge c \wedge \bar{b} \wedge a)$$

Сигнал w имеет для чисел 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14 значение 1.

$$w = (\bar{d} \wedge \bar{c} \wedge \bar{b} \wedge a) \vee (\bar{d} \wedge \bar{c} \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (\bar{d} \wedge c \wedge \bar{b} \wedge a) \vee$$
$$(\bar{d} \wedge c \wedge b \wedge \bar{a}) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge \bar{b} \wedge a) \vee (d \wedge \bar{c} \wedge b \wedge \bar{a}) \vee$$
$$(d \wedge c \wedge \bar{b} \wedge a) \vee (d \wedge c \wedge b \wedge \bar{a})$$

Упражнение 2: Питатель.

Питатель для отштампованных из металлического листа деталей снабжен поворотным механизмом, включаемым по сигналу $w = 1$, и механизмом вращения, включаемым по сигналу $d = 1$. Возможно и одновременное включение обоих устройств. Из магазина питателя штампованные детали должны поступать на пресс всегда в положении 1 (рис. 336). Если заготовки подаются в положениях 2, 3 или 4, они будут автоматически поворачиваться до достижения

правильного положения 1. Для этого штампованные детали опрашиваются тремя бесконтактными сигнальными датчиками *a*, *b* и *c*, которые подают сигнал со значением 0, если они находятся точно напротив места врезания, в противном случае выводится сигнал со значением 1.

Требуется разработать схему вращательно-поворотного механизма с выходными сигналами *w* и *d* и входными сигналами *a*, *b* и *c*. Дополнительно надо составить схему, способную остановить устройство по сигналу *s*, когда сигнальными датчиками *a*, *b* и *c* фиксируется заготовка, показывающая комбинацию сигналов, не относящуюся к указанным четырем положениям.

а) Составьте полную таблицу значений функций и отнесите к комбинациям сигналов *a*, *b* и *c* соответствующие позиции и требуемые переключательные сигналы *w*, *d* и *s*.

б) Упростите с помощью карты Карно функции переключения *w*, *d* и *s*.

в) Составьте функциональную схему для управления вращательным и поворотным механизмами и для формирования сигнала останова.

	d	c	b	a	z	y	x	w
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	0	1	0
4	0	1	0	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	0	1	1	1
6	0	1	1	0	0	1	0	1
7	0	1	1	1	0	1	0	0
8	1	0	0	0	1	1	0	0
9	1	0	0	1	1	1	0	1
10	1	0	1	0	1	1	1	1
11	1	0	1	1	1	1	1	0
12	1	1	0	0	1	0	1	0
13	1	1	0	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1	0	0	1
15	1	1	1	1	1	0	0	0

Рис. 334. Таблица значений функций для преобразователя кода (для перехода из двоичного кода в код Грея)

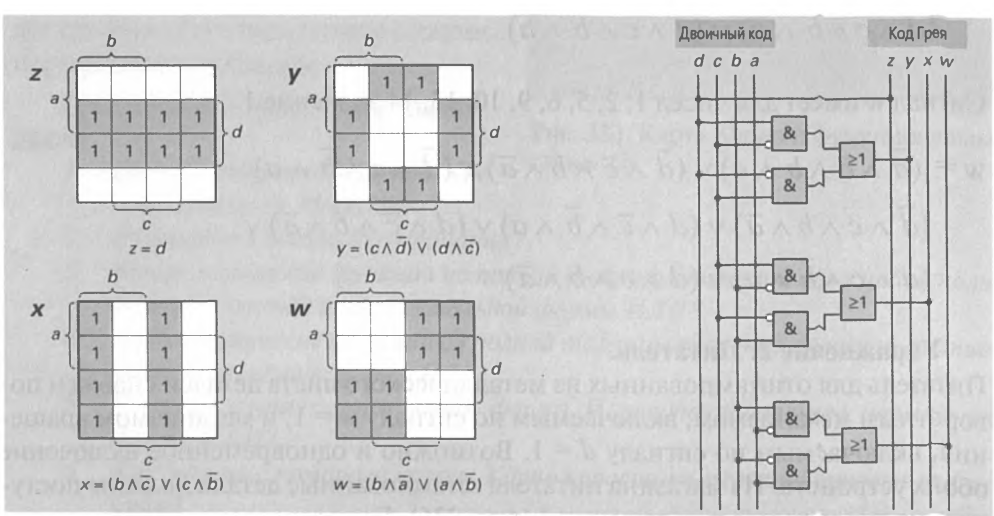


Рис. 335. Решение упражнения 1

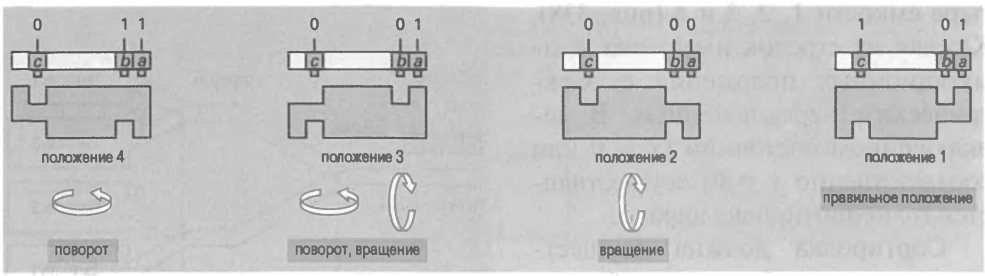


Рис. 336. Опрос штампованных деталей

Решение: см. рис. 337.

а): таблица значений функций

c	b	a	w	d	s	Примечание
0	0	0	0	1	0	положение 2
0	0	1	1	1	0	положение 3
0	1	0	0	0	1	останов
0	1	1	1	0	0	положение 4
1	0	0	0	0	1	останов
1	0	1	0	0	0	положение 1
1	1	0	0	0	1	останов
1	1	1	0	0	1	останов

б): карта Карно

$w = a \wedge \overline{c}$ $\quad d = \overline{c} \wedge \overline{b}$ $\quad s = (b \wedge c) \vee (c \wedge \overline{a}) \vee (b \wedge \overline{a})$

в): функциональная схема

Рис. 337. Решение упражнения 2

Упражнение 3: Сортировочный автомат.

В сортировочных автоматах заготовки прямоугольной формы перемещаются до достижения упоров. При этом посредством предельных клавишных переключателей *t, b* и *h* осуществляется запрос глубины, ширины и высоты. Кроме прочего, заготовки с помощью сенсора проверяются на магнитную восприимчивость. Сигналы означают:

глубина: $t = 1$ длина кромки, длинная, $t = 0$ не длинная

ширина: $b = 1$ длина кромки, длинная, $b = 0$ не длинная

высота: $h = 1$ длина кромки, длинная, $h = 0$ не длинная
$m = 1$ намагничиваемая, $m = 0$ не намагничиваемая

После произведенного опроса заготовки могут перемещаться по стрелке одноканального перехода *x* и затем по стрелке двухканального перехода *y* в че-

тыре емкости 1, 2, 3 и 4 (рис. 338). Каждая из стрелок имеет два коммутационных положения с электрическим переключением. В невключенном состоянии ($x = 0$ или соответственно $y = 0$) осуществляется транспортировка вправо.

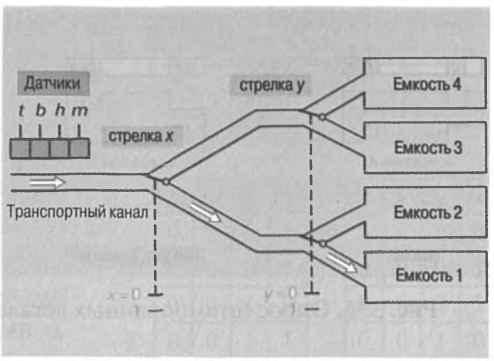


Рис. 338. Сортировочное устройство

Сортировка должна осуществляться таким образом, чтобы все продольные заготовки (1 кромка длинная, 2 кромки не длинные) попадали в емкость 1. Все заготовки в форме пластин (2 кромки длинные, 1 кромка не длинная) и одновременно намагничиваемые детали должны собираться в емкости 2. Для деталей с иными комбинациями признаков предназначена емкость 4, а емкость 3 должна оставаться свободной.

а) Составьте таблицу значений функций для всех комбинаций признаков и запишите сигналы стрелок и номера емкостей.

б) Упростите с помощью карты Карно переключательные функции для сигналов стрелок.

в) Составьте функциональную схему для сигналов стрелок x и y.

Решение: см. рис. 339.

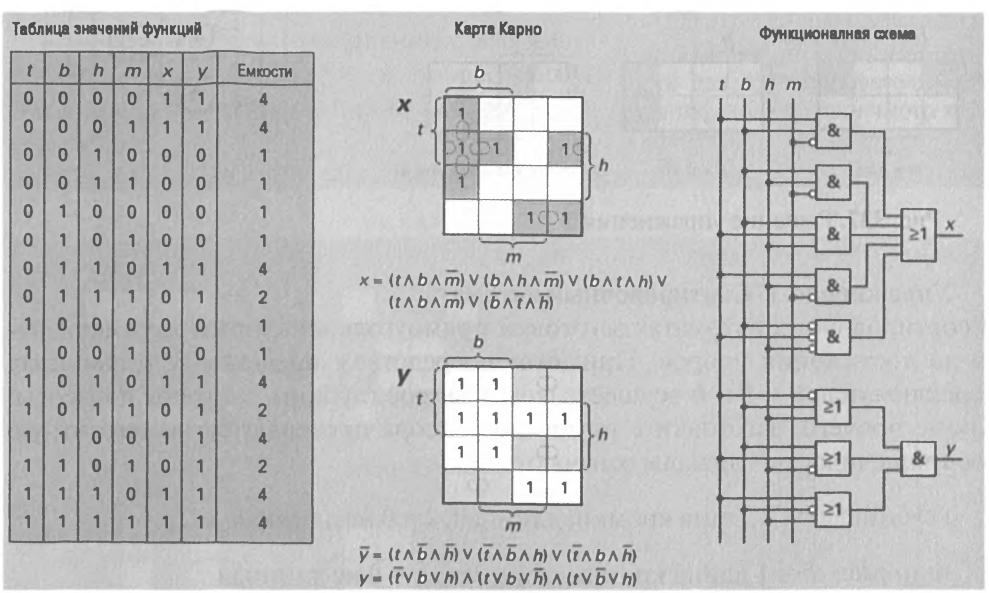


Таблица значений функций

t	b	h	m	x	y	Емкости
0	0	0	0	1	1	4
0	0	0	1	1	1	4
0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	1	4
0	1	1	1	0	1	2
1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	1	4
1	0	1	1	0	1	2
1	1	0	0	1	1	4
1	1	0	1	0	1	2
1	1	1	0	1	1	4
1	1	1	1	1	1	4

Рис. 339. Решение упражнения 3

Упражнение 4: Схема согласования для датчика контроля сварного шва. Для выполнения управляемой с помощью датчика операции шлифовки сварных швов с использованием промышленного робота, оснащенного интер-

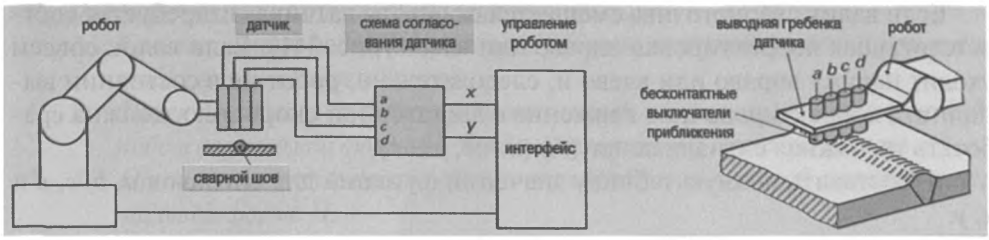


Рис. 340. Сенсорное управление роботом

фейсом для двухбитового датчика, надо разработать схему согласования с датчиком контроля сварного шва (рис. 340). Через интерфейс с помощью сигналов x и y датчиком могут инициироваться три разных реакции робота, как то: корректировка траектории вправо, корректировка траектории влево и останов. Если не установлен ни один из двух двоичных разрядов, то движение робота осуществляется без сенсорного управления.

Датчик состоит из четырех бесконтактных выключателей приближения *a, b, c* и *d,* которые робот перемещает по типу гребенки вдоль валика сварного шва, опережая шлифовальный агрегат (рис. 340).

Если валик сварного шва находится прямо под выключателем приближения, тот подает сигнал со значением 1. При обнаруженных прерываниях валика выключатель приближения не подает никакого сигнала. Робот должен в таком случае перемещаться дальше, не выполняя корректировки. Но валик может быть и столь широк, что все три расположенных рядом выключателя приближения одновременно посылают сигнал 1. Однако если такой сигнал исходит не от соседних выключателей или от всех сразу выключателей приближения, значит, имеет место дефект, и тогда активизируется тревожная сигнализация.

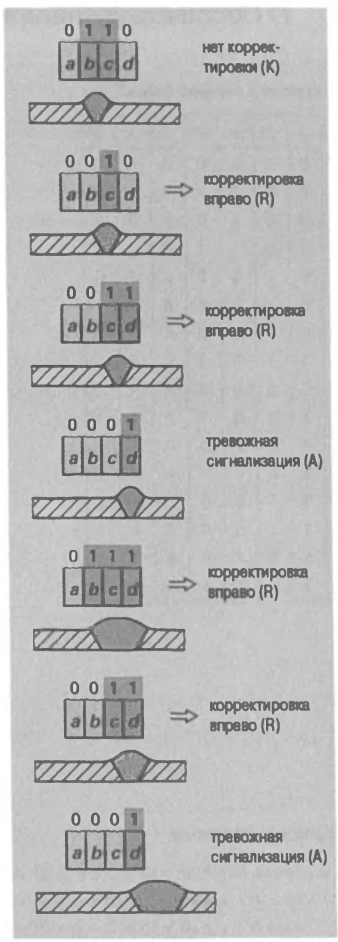


Рис. 341. Состояния сигналов датчика (примеры)

Для управления роботом схема согласования датчика должна подавать однозначные сигналы, а именно:

$x = 0$ и $y = 0$ для работы без корректировки (K),

$x = 0$ и $y = 1$ для корректировки траектории вправо (R),

$x = 1$ и $y = 0$ для корректировки траектории влево (L),

$x = 1$ и $y = 1$ для тревожной сигнализации (A).

Если валик сварного шва смещается от центра датчика, то требуется соответствующая корректировка вправо или влево (рис. 341). Если валик совсем уходит наружу вправо или влево и, следовательно, робот не в состоянии выполнить корректировочное движение с достаточной скоростью, должна сработать тревожная сигнализация (А) ($x = 1$, $y = 1$).

а) Составить полную таблицу значений функций для сигналов a, b, c, d и x, y.

б) Определить переключательные функции для x и y и для $\bar{x}$ и $\bar{y}$.

в) Упростить переключательные функции для x и y с помощью карты Карно с нормальной формой И.

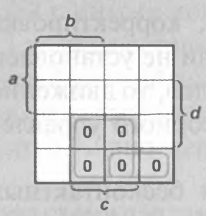
г) Составить функциональную схему для x и y.

а) таблица значений функций

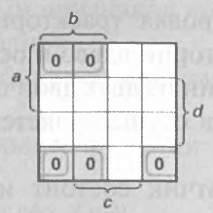
a	b	c	d		x	y
0	0	0	0	K	0	0
0	0	0	1	A	1	1
0	0	1	0	R	0	1
0	0	1	1	R	0	1
0	1	0	0	L	1	0
0	1	0	1	A	1	1
0	1	1	0	K	0	0
0	1	1	1	R	0	1
1	0	0	0	A	1	1
1	0	0	1	A	1	1
1	0	1	0	A	1	1
1	0	1	1	A	1	1
1	1	0	0	L	1	0
1	1	0	1	A	1	1
1	1	1	0	L	1	0
1	1	1	1	A	1	1

в) карта Карно

для $\bar{x}$



для $\bar{y}$



$\bar{x} = (\bar{a} \wedge \bar{c}) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{d})$

$x = \overline{(\bar{a} \wedge \bar{c})} \wedge \overline{(\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{d})}$

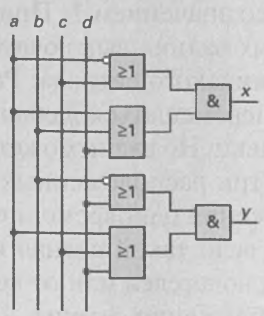
$x = (a \vee \bar{c}) \wedge (a \vee b \vee d)$

$\bar{y} = (b \wedge \bar{d}) \vee (\bar{a} \wedge \bar{c} \wedge \bar{d})$

$y = \overline{(b \wedge \bar{d})} \wedge \overline{(\bar{a} \wedge \bar{c} \wedge \bar{d})}$

$y = (\bar{b} \vee d) \wedge (a \vee c \vee d)$

г) функциональная схема



б) логические функции

$x = (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c} \wedge d) \vee (\bar{a} \wedge b \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee (\bar{a} \wedge b \wedge \bar{c} \wedge d) \vee$
$(a \wedge \bar{b} \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee (a \wedge \bar{b} \wedge \bar{c} \wedge d) \vee (a \wedge \bar{b} \wedge c \wedge \bar{d}) \vee$
$(a \wedge \bar{b} \wedge c \wedge d) \vee (a \wedge b \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee (a \wedge b \wedge \bar{c} \wedge d) \vee$
$(a \wedge b \wedge c \wedge \bar{d}) \vee (a \wedge b \wedge c \wedge d)$

$\bar{x} = (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge c \wedge \bar{d}) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge c \wedge d) \vee$
$(\bar{a} \wedge b \wedge c \wedge \bar{d}) \vee (\bar{a} \wedge b \wedge c \wedge d)$

$y = (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c} \wedge d) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge c \wedge \bar{d}) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge c \wedge d) \vee$
$(\bar{a} \wedge b \wedge \bar{c} \wedge d) \vee (\bar{a} \wedge b \wedge c \wedge \bar{d}) \vee (a \wedge \bar{b} \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee$
$(a \wedge \bar{b} \wedge \bar{c} \wedge d) \vee (a \wedge \bar{b} \wedge c \wedge \bar{d}) \vee (a \wedge \bar{b} \wedge c \wedge d) \vee$
$(a \wedge b \wedge \bar{c} \wedge d) \vee (a \wedge b \wedge c \wedge d)$

$\bar{y} = (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee (\bar{a} \wedge b \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee (\bar{a} \wedge b \wedge c \wedge \bar{d}) \vee$
$(a \wedge b \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee (a \wedge b \wedge c \wedge \bar{d})$

Рис. 342. Решение упражнения 4

Повторение и закрепление материала

1. *Сколько строк содержит полная таблица значений функций при n двоичных входных переменных?*
2. *Переключательную функцию можно определить в нормальной форме ИЛИ либо в нормальной форме И. Когда и какая форма предпочтительнее?*
3. *Опишите порядок действий при определении логической функции в нормальной форме И.*
4. *Какие зоны в карте Карно объединяются при нормальной форме ИЛИ и какие — при нормальной форме И?*

2.5.7. Автоматизированные системы управления процессом

Речь идет об автоматическом программном управлении с обратной связью, при котором очередной запрограммированный этап работы начинается после завершения предыдущего. Так, в случае гибочного пресса все рабочие движения выполняются только после того, как заготовка пройдет фоторелейный барьер и будет надежно зажата в зажимном приспособлении. Сигнал фоторелейного барьера и выполнение операции зажима управляющая система должна «отметить» (сохранить), чтобы в зависимости от этого инициировать дальнейшие шаги. Сохранение переключательных сигналов и состояний управления (например, «заготовка зажата» или «заготовка не зажата») осуществляется с помощью триггеров с двумя устойчивыми состояниями, именуемых также «бистабильными мультивибраторами» (англ. flipflop). Такие триггеры всегда «перебрасываются» в однозначные коммутационные состояния. Они находятся либо в состоянии включения, либо в состоянии выключения и соответственно их выходные сигналы (за исключением короткого времени коммутации) имеют значения 1 или 0.

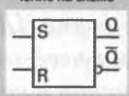
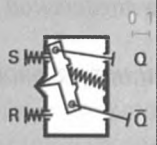
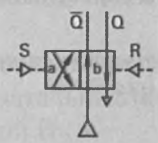
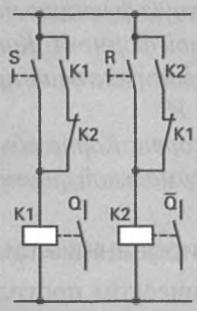
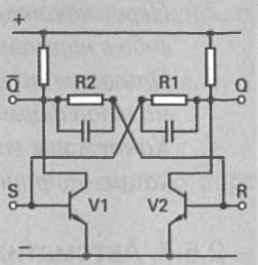
Для триггеров возможны разные формы исполнения: механические, пневматические, электрические и электронные. Кроме того, они различаются по виду и действию входных сигналов.

Триггеры

Триггер с раздельными входами (RS-триггер) устанавливается сигналом со значением 1 на входе S, то есть приводится в коммутационное состояние «включено» (см. табл. 33). Посредством сигнала со значением 1 на входе сброса R триггер возвращается в исходное состояние, то есть приводится в коммутационное состояние «выключено». Триггер сохраняет соответствующее коммутационное состояние, даже если сигналы удаляются от входов. Коммутационное состояние триггера может быть считано на выходе Q. В большинстве случаев имеется еще выход с отрицанием $\overline{Q}$, который проводит сигнал, обратный Q.

У **механического** триггера перекидной рычаг посредством пружины сжатия всегда приводится в однозначное положение (см. табл. 33). При нажатии клавиши S осуществляется установка триггера, при нажатии клавиши R — его сброс в исходное положение. Ни в коем случае нельзя нажимать клавиши S и R одновременно. Типичным примером такого триггера является обычный тумблер.

Таблица 33. Триггеры с раздельными входами

Условное обозначение на схеме	механический	пневматический	электрический	электронный
 Таблица значений функций S R Q $\overline{Q}$ 0 0 * * 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 ● ● * как предыдущее состояние ● неопрееделенное состояние		 4/2-распределитель		 Триггер с N-P-N-транзисторами

Пневматический вариант триггера с раздельными входами может быть реализован на основе 4/2-ходового импульсного вентиля. Под действием короткого импульса давления на присоединении управляющей линии R вентиль приводится в исходное положение *b*. При воздействии давлением на присоединение S вентиль переходит в коммутационное положение *a*; триггер установлен.

Электрическая триггерная схема состоит из двух реле с самоудерживающим контактом (см. табл. 33). В самоблокирующем ответвлении находится еще размыкающий контакт другого реле. Если посредством клавишного переключателя S устанавливается реле K1, самоудержание реле K2 немедленно прекращается. Если же задействуется клавишный переключатель R, происходит сброс релейного триггера (включается K2), и прерывается самоудержание для K1.

Электронные триггерные схемы выполняются обычно в виде интегральных схем (ИС), так что пользователю не обязательно разбираться во внутренней структуре схемы. Через входы S и R включаются два транзистора. Если под действием сигнала положительного напряжения (сигнала со значением 1) на входе S транзистор V1 является токопроводящим, то выход $\overline{Q}$ проводит сигнал со значением 0. Но тогда через резистор R1 и на управляющий вход транзистора V2 тоже поступает сигнал со значением 0, так что этот транзистор уже не проводит ток, и на выходе Q имеет место положительное напряжение (сигнал со значением 1.) Через резистор R2 на управляющий вход транзистора V1 подается положительное напряжение, так что V1 остается проводящим. При наличии обратных сигналов S и R коммутационные состояния обоих транзисторов тоже меняются на обратные (проводящие либо непроводящие).

Триггер с тактовым управлением (см. табл. 34) при появлении фронта тактового импульса принимает значение входа J или входа K, если таковое равно 1. (Не присоединенный вход интерпретируется в большинстве случаев как 1). Если на обоих входах присутствуют сигналы со значением 1, то состояние на выходе Q изменяется с каждым тактовым сигналом (рис. 343).

Таблица 34. Триггеры с входом тактовых импульсов

условное обозначение на схеме	механический	пневматический	электрический	электронный
J, K, C, Q, $\bar{Q}$	плоская пружина; 0 1; C, R, Q, $\bar{Q}$	Q, $\bar{Q}$; A, B; $\bar{Q}$, Q; 4, 3, 5, 2, 1; C; управление реверсом	C, Q, $\bar{Q}$	+; Q, R2, R1, $\bar{Q}$; V1, V2; C; Триггер с N-P-N-транзисторами

таблица значений функций

J	K	C	Q	$\bar{Q}$
0	0	0 → 1	•	•
0	1	0 → 1	0	1
1	0	0 → 1	1	0
1	1	0 → 1	•	•

• нет изменения
• с отрицанием относительно предыдущего состояния

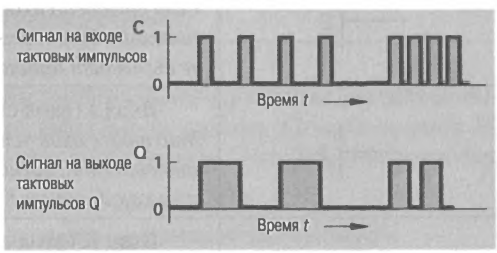


Рис. 343. Входной сигнал и выходной сигнал у триггера с входом тактовых импульсов

В примере механического исполнения триггера в показанном положении рычага верхняя плоская пружина при срабатывании входит в зацепление с выемкой в перекидном рычаге и перекидывает его, в то время как нижняя плоская пружина входит в предусмотренное в рычаге углубление и остается там. У перекинутого рычага при новом срабатывании нижняя и верхняя плоские пружины действуют обратным образом. Такой механизм часто встречается у шариковых ручек.

Пневматическая схема (вентили 1...5) этого триггера находит применение в управлении реверсом. При коротком срабатывании сигнального элемента 1 вентиль 3 включается в положение *a*, поршневой шток цилиндра выдвигается. Из рабочей линии B осуществляется посредством перекидного клапана 5 переключение распределителя в положение *b*. Повторное короткое срабатывание сигнального элемента 1 вновь включает вентиль 3 в положение *b*, и от рабочей линии A через перекидной клапан 4 вентиль 2 возвращается в положение *a*. Поршневой шток цилиндра втягивается.

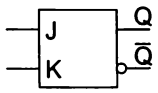
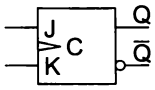
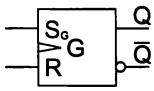
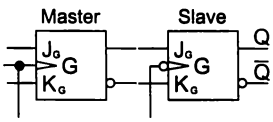
Электрическая триггерная схема действует на основе реле последовательного включения с двумя коммутационными положениями. С каждым импульсом тока рабочие контакты меняют свое положение.

При электронной схеме оба транзистора управляются посредством конденсатора. Это означает, что здесь эффективны только импульсы напряжения. Импульсы положительного напряжения (сигналы 0 → 1) попадают через диоды к транзисторам. Не проводящий ток транзистор становится при этом проводящим и с выдержкой времени приводит токопроводящий в данный момент транзистор в непроводящее состояние.

Таблица 35. Условные обозначения триггеров на схеме

Обозначения статических входов	
	статический вход для входных сигналов 1 и 0
	статический вход с отрицанием
Маркировка входов	
R	**Вход R** (вход сигнала сброса) *Если сигнал принимает на R-входе значение 1, на выходе Q обязательно будет значение 0. Сброс входного сигнала к значению 0 не вызывает никакого изменения состояния.*
S	**Вход S** (вход сигнала установки) *Если сигнал на входе S принимает значение 1, на выходе Q обязательно будет значение 1. Сброс входного сигнала к значению 0 не вызывает никакого изменения состояния.*
J	**Вход J** (вход сигнала установки на «1») *Это тоже вход установки, как и вход S, с той лишь разницей, что выходной сигнал принимает дополнительное состояние, если как J, так и K имеют значение 1.*
K	Вход K (вход сброса) *Это тоже вход сброса, как и вход RS, с той лишь разницей, что выходной сигнал принимает дополнительное состояние, если как J, так и K имеют значение 1.*
G	**Вход G** *Только в том случае, если входной сигнал на входе G имеет значение 1, активируются сигналы на входах с обозначением G.*
C	**Вход C** *Только в том случае, если входной сигнал на входе C имеет значение 1, будут активны и все прочие входы.*
Условные обозначения для динамических входов	
	Динамический вход, при котором действует изменение входного сигнала от 0 → 1.
	Динамический вход, при котором действует только изменение входного сигнала от 1 → 0.
Примеры	
S R Q $\overline{Q}$	**Триггер RS-типа (с раздельными входами)** *Если входные сигналы на S и R имеют разные значения, выходные сигналы также будут различны. Если входные сигналы затем оба примут значение 0, выходные сигналы останутся в прежнем состоянии. Если оба входных сигнала имеют значение 1, то и оба выходных сигнала также будут со значением 1, но при сбросе входных сигналов на 0 выходные сигналы перейдут в разряд неопределенных.*

Таблица 35. *(окончание)*

	**Триггер JK-типа** *Выходные сигналы здесь такие же, как и у RS-триггера, но они всегда различны, даже если одновременно на входах J и K имеет место сигнал со значением 1. В этом случае выходы изменяют свое значение относительно предыдущего состояния. Сброс входных сигналов на 0 не вызывает никаких изменений состояния.*
	**Триггер JK-типа с тактовым управлением** *JK-триггер с тактовым управлением при появлении фронта тактового импульса на C принимает значение J-входа, если таковой имеет значение 1. Если на обоих входах присутствуют сигналы со значением 1, то состояние на выходе Q меняется с каждым тактовым сигналом. Не присоединенным входам присваивается обычно значение 1.*
	**Триггер RS-типа** *С подготовленным S-входом выходные сигналы идентичны таковым у триггера с раздельными входами. Сигналы на входе SG активны только при условии, что на G-входе сигнал переходит от 0→ 1.*
	**JK-триггер по принципу «главный-подчиненный»** *Главный триггер (Master) при каждом изменении сигнала 0→ 1 принимает сигналы установки или соответственно сброса. Подчиненный триггер (Slave) получает сигналы установки и сброса от главного триггера при изменении состояния сигнала на G от 1→ 0.*

Триггеры нередко управляются не статическими двоичными сигналами 0 и 1, а на основе изменения состояния сигналов от 0 → 1 (см. табл. 35). Такой способ управления называется динамическим. Наряду с входами R, S и T, имеются и другие управляющие входы. Они могут быть как статическими, так и динамическими.

Триггеры обладают множеством вариантов функций. При функционировании по принципу «главный-подчиненный» (Master-Slave) с положительным фронтом тактового импульса (изменение состояния сигнала от 0 → 1) сигнальная информация принимается через входы J и K в главный триггер. Подчиненный триггер с учетом отрицательного входа G сначала ни устанавливается, ни сбрасывается. И только с последующим отрицательным фронтом импульса информация главного триггера передается подчиненному триггеру. Такое исполнение известно также как «триггер с фиксацией состояния».

Асинхронный двоичный счетчик

Для асинхронного двоичного счетчика требуется столько транзисторных триггеров, сколько двоичных разрядов (битов) имеет данный счетчик. С каждым счетным импульсом, при смене состояния от 1→ 0 на входе C, выход Q_0

опрокидывается в противоположное состояние (рис. 344). На выходе Q_0 возникает поэтому серия импульсов, число которых ровно вполовину меньше тех, что присутствуют на входе С. Теперь выход C_1 переключается на вход С следующего триггера, который вновь делит число импульсов пополам. Состояние сигнала на выходах Q_0...Q_3 формирует, таким образом, выходные сигналы 4-разрядного двоичного счетчика. Значимость разрядов удваивается от триггера к триггеру. Через сигнал со значением 1 на входах К показания счетчика можно сбросить на нуль.

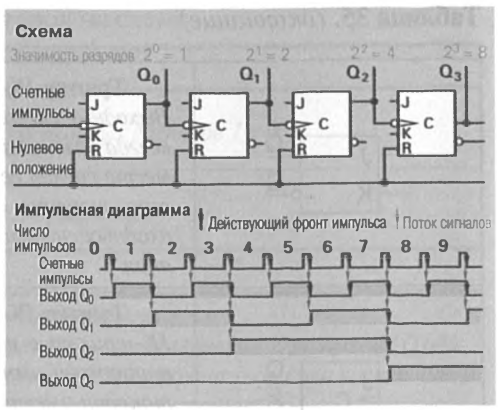


Рис. 344. Асинхронные двоичные счетчики

Асинхронная 8-4-2-1-счетная декада

Двоично-десятичный счетчик с кодом 8-4-2-1 обладает такой же базовой конструкцией, что и двоичный счетчик с четырьмя битами (рис. 345). Необходимо только позаботиться о том, чтобы после цифры 9 вновь возникла цифра 0, а не комбинация двоичных разрядов для числа 10. Это достигается путем сброса всех триггеров в случае кратковременного появления комбинации двоичных разрядов 1010≙10. Сигнал сброса формируется посредством функции И сигналов Q_0, Q_1, Q_2, Q_3.

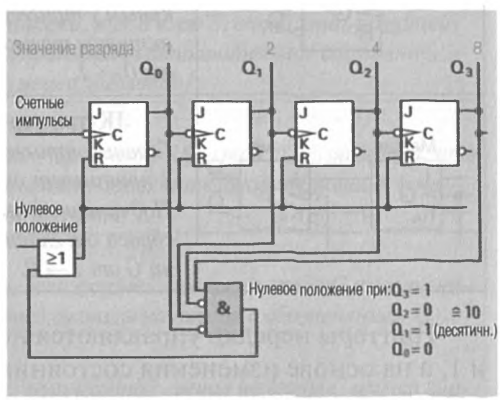


Рис. 345. Асинхронные 8-4-2-1-счетные декады

Недостаток асинхронных счетчиков заключается в асинхронном переключении триггеров. Последующие триггеры включаются предшествующими. При этом образуется пе-риод «оборачивания» счетчика с его неправильными показаниями. Чем больше триггеров относятся к одному асинхронному счетчику, тем дольше длится такой период оборачивания.

Счетчики

Системы автоматического программного управления с обратной связью часто оснащаются счетчиками. При этом каждое состояние управления обозначается определенным числом. Последовательность чисел соответствует ходу выполнения операций. Электронные и пневматические счетчики создаются на основе триггеров с двумя устойчивыми состояниями.

Различают синхронные счетчики и асинхронные счетчики. У синхронного счетчика все триггерные каскады включаются одновременно посредством

тактового сигнала (на входах G или C), а у асинхронного счетчика каждый последующий триггер включается предыдущим триггером.

Упражнения на тему «автоматизированные системы управления»

Разработка проекта системы управления предполагает точное знание отдельных управляющих функций в их временной последовательности, а также знание условий запуска этих функций. Для описания процесса управления и условий функционирования выбирают обычно форму графического представления, например функциональную схему или диаграмму состояния.

В функциональной схеме отображают — отдельно для каждого рабочего шага в их временной последовательности — по одному квадратному блоку с последовательной нумерацией и наименованиями показанных операций. Для каждого шагового блока записывают с использованием базовой линии все условия, обеспечивающие переход от одного шага к другому. Речь идет об условиях последовательного включения или так называемых переходах.

Автоматизированные системы управления обрабатываются в шаговом режиме: каждая следующая операция начинается только после завершения предыдущей, то есть после выполнения условий последовательного включения.

Упражнение 1.

Загрузочное устройство должно подавать заготовки к прессу по мере того, как они будут готовы к обработке (рис. 346). О наличии заготовки сообщается через прерывание фоторелейного барьера B1 ($b1 = 0$). Если заготовка на месте, должен сначала закрыться захват с помощью замыкающего магнита Y1 ($y1 = 1$). Закрытие контролируется предусмотренным в самом захвате бесконтактным предельным выключателем S1 ($s1 = 1$, захват закрыт). Далее после включения двигателя M1 закрытый захват должен выдвигаться ($m1 = 1$), пока не сработает предельный выключатель S2 ($s2 = 1$). После достижения предельного выключателя S2 захват открывается ($y1 = 0$), освобождая заготовку. Затем в результате включения двигателя ускоренного хода M2 ($m2 = 0$) происходит отвод назад до срабатывания (прерывания) предельного выключателя S3 ($s3 = 0$). Это есть состояние покоя и одновременно исходное положение, сохраняемое до тех пор, пока новая заготовка не будет готова к подаче. Состояние покоя индицируется световым сигнализатором H1 ($h1 = 1$).

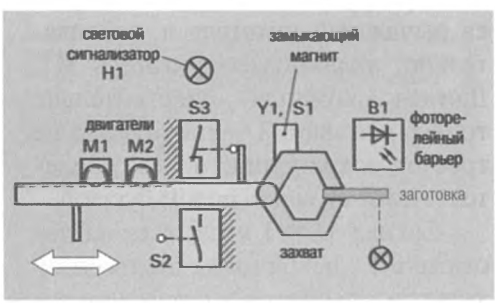


Рис. 346. Загрузочное устройство

Составьте функциональные схемы для отдельных шагов.

Решение:

Функциональная схема (рис. 347) содержит для четырех шаговых операций — «состояние покоя», «закрыть захват», «выдвинуть рычажный питатель» и «отвести рычажный питатель» — четыре блока под номерами 0, 1, 2, 3. Условием последовательного включения шага 1 является «наличие заготов-

ки» $b1 = 0$. Команды, выполняемые при каждом шаге, отображаются в рамке справа от каждого шагового блока, то есть для шага 1 это будет выглядеть таким образом: «включение замыкающего магнита», $y1 = 1$.

Но замыкающий магнит должен быть включен и на следующем этапе, следовательно, соответствующая команда должна сохраняться до тех пор, пока она не будет отозвана. Это показывает стоящая перед командой буква «S» Когда замыкающий магнит закрыт, срабатывает предельный выключатель S1. Это является условием последовательного включения с переходом к шагу 2. Здесь должен выдвинуться рычажный питатель и, следовательно, включиться двигатель M1. Данная команда действительна только для шага 2 — значит, она не требует сохранения, о чем свидетельствует стоящая рядом буква N.

Рис. 347. Функциональная схема управления загрузочным устройством

Сигнал $s2 = 1$ указывает на достижение исходного положения: захват открывается и остается в открытом положении. Одновременно выдается команда на возврат рычажного питателя с включением двигателя укоренного хода M2. Состояние покоя и одновременно исходное положение достигается с размыканием предельного выключателя S3 ($s3 = 0$).

От функциональной схемы к схеме управления

В системе управления для сохранения последовательности выполнения операций каждый шаг в двоичной форме должен быть теперь занесен в регистр команд и состояний. Для этой цели вполне годятся триггеры — например, RS-триггеры с раздельными входами или реле с самоудерживающим контактом. Если используют триггеры с инвертируемым входом сброса, то возврат в начальное состояние осуществляется на основе прерывания сигнала; то же происходит и при обрыве линии.

Итак, каждый шаг в цепочке выполняемых операций сохраняется в регистре команд и состояний.

Упражнение 2.

Составьте схему управления загрузочным устройством из примера 1, используя кодирование состояний с помощью цифрового кода.

Решение:

В исходном положении (шаг 0) все триггеры находятся в состоянии покоя (рис. 348). Шаг 1 начинается при $b1 = 0$ фоторелейного барьера B1. Следовательно, мы можем установить триггер D1 с помощью сигнала $\bar{b}_1$. Шаг 2 начинается по сигналу $s1 = 1$. При этом мы устанавливаем триггер D2, а с использованием сигнала $s2 = 1$ устанавливается триггер D3 (шаг 3). Состояние покоя достигается с размыканием предельного выключателя S3. При $s3 = 0$ все триггеры возвращаются в исходное положение. Командные сигналы формируются путем соединения выходов триггеров.

Световой сигнализатор H1: $h_1 = \bar{q}_1 \wedge \bar{q}_2 \wedge \bar{q}_3 = \overline{q_1 \vee q_2 \vee q_3}$ (шаг 0)

Замыкающий магнит Y1: $y_1 = q_1 \wedge \bar{q}_3$ (шаг 1 и шаг 2)

Двигатель M1: $m_1 = q_2 \wedge \bar{q}_3$ (шаг 2)

Двигатель M2: $m_2 = q_3$ (шаг 3)

Четыре шага 0–3 загрузочного устройства из примера 1 сохраняются в кодированном виде. Число двоичных накопителей зависит от используемого кода (см. табл. 36). При двоичном коде требуется минимальное количество двоичных накопителей, зато затраты на управляющую схему для установки и сброса содержимого памяти шагов здесь несколько выше, чем при кодировании цифровым кодом или кодом «один из *n*».

Чаще всего находит применение регистр состояний с кодом «один из *n*», чем обеспечивается тактовое ступенчатое управление.

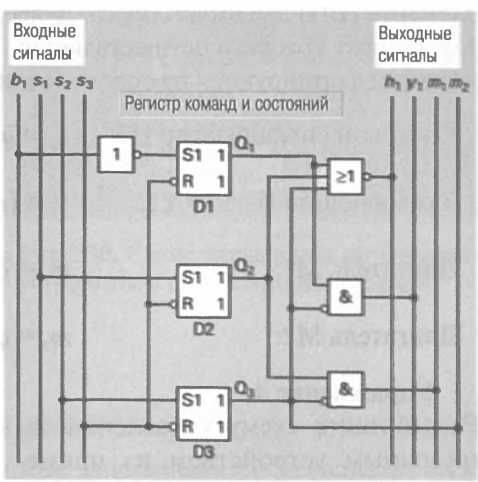


Рис. 348. Схема управления загрузочным устройством (цифровой код)

Таблица 36. Кодирование состояний

Код	Выход триггера	Шаг 0	1	2	3
Двоичный код	Q1	0	1	0	1
	Q2	0	0	1	1
Цифровой код	Q1	0	1	1	1
	Q2	0	0	1	1
	Q3	0	0	0	1

Таблица 36. *(окончание)*

Код	Выход триггера	Шаг 0	1	2	3
Код «один из 4»	Q1	1	0	0	0
	Q2	0	1	0	0
	Q3	0	0	1	0
	Q4	0	0	0	1

Упражнение 3.

Составьте схему управления загрузочным устройством из примера 1, используя двоичный код для регистра команд и состояний.

Решение:

В исходном положении (шаг 0) оба триггера находятся в состоянии покоя (рис. 349). Как в шаге 1 ($b1 = 0$), так и в шаге 3 ($s2 = 1$) должен быть установлен триггер D1. Оба сигнала соединяются с установочным входом через логическую функцию ИЛИ. В шаге 2 ($s1 = 0$) и также в состоянии покоя (шаг 0, $s3 = 0$) триггер D1 возвращается в исходное положение. Это происходит с помощью логического элемента ИЛИ для входа сброса. Далее, в шаге 2 с $s1 = 1$ устанавливается триггер D2, возврат которого осуществляется при $s3 = 0$ (состояние покоя). Выходные команды формируются на основе соединения обоих регистров состояний.

Световой сигнализатор H1: $h_1 = \overline{q}_1 \wedge \overline{q}_2$ (шаг 0)

Замыкающий магнит Y1: $y_1 = (q_1 \wedge \overline{q}_2) \vee (q_2 \wedge \overline{q}_1)$ (шаг 1 и шаг 2)

Двигатель M1: $m_1 = \overline{q}_1 \wedge \overline{q}_2$ (шаг 2)

Двигатель M2: $m_2 = q_1 \wedge q_2$ (шаг 3)

Упражнение 4.

Разработайте схему управления загрузочным устройством из примера 1, используя код «один из четырех» для регистра команд и состояний.

Решение (рис. 350):

Шаг 1 начинается при $b1 = 0$ фоторелейного барьера B1. Захват еще открыт ($s1 = 0$). Устанавливается триггер D2, что приводит к возврату триггера D1 в исходное положение. По сигналу $s1 = 1$ устанавливается триггер D3, а триггер D2 возвращается в исходное положение (шаг 2). В шаге 3 устанавливается триггер D4 с $s2 = 1$, а триггер D3 возвращается

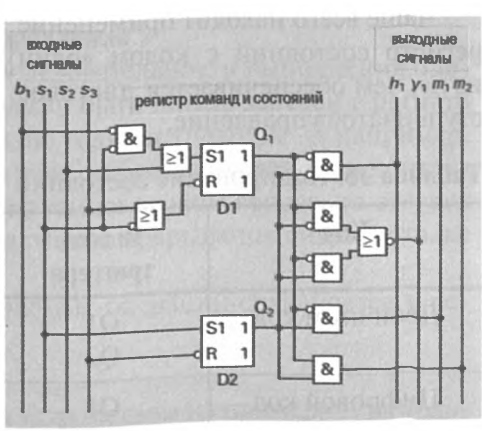


Рис. 349. Схема управления загрузочным устройством (двоичный код)

в исходное положение. Основное положение (шаг 0) достигается по сигналу размыкающего контакта предельного выключателя S3. При $s3 = 0$ происходит установка триггера D1 и возврат триггера D4.

Световой сигнализатор H1: $h_1 = q_1$ (шаг 0)

Замыкающий магнит Y1: $y_1 = q_2 \vee q_3$ (шаг 1 и шаг 2)

Двигатель M1: $m_1 = q_3$ (шаг 2)

Двигатель M2: $m_2 = q_4$ (шаг 3)

Повторение и закрепление материала

1. *Назовите отдельные шаги при проектировании автоматической системы управления последовательностью операций.*
2. *Чем определяется выбор числа необходимых триггеров?*
3. *Какие виды кодирования обычно используются для регистра команд и состояний?*
4. *Какой код обеспечивает особенно наглядную схему управления?*
5. *При каком способе кодирования требуется минимальное число триггеров?*
6. *Какова роль асинхронного счетчика в автоматическом программном управлении?*

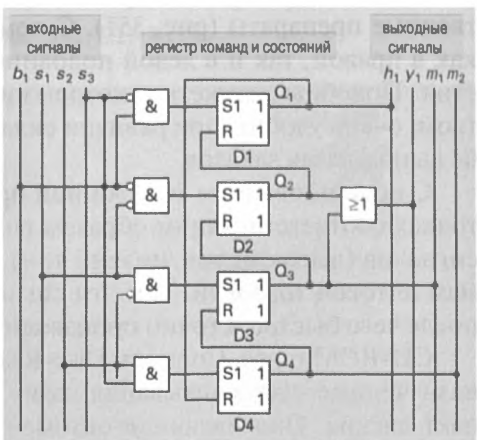


Рис. 350. Схема управления загрузочным устройством (код «один из четырех»)

2.5.8. Цифровые запоминающие устройства

Среди цифровых ЗУ различают постоянные запоминающие устройства (ПЗУ от англ. ROM — Read Only Memory) и оперативные запоминающие устройства (ОЗУ — память с оперативной записью и считыванием). Таким образом, постоянная память обеспечивает хранение и выдачу информации, то есть однажды сохраненные в ПЗУ данные могут только считываться. Оперативная память служит для приема, хранения и выдачи информации, причем помещенные в ОЗУ данные можно также удалять и заменять другими. Механические и оптические ЗУ обычно относятся к постоянной памяти, а электрические и магнитные ЗУ являются памятью с оперативной записью и считыванием.

Емкость памяти для хранения данных равна числу сохраняемых двоичных знаков, то есть соответствует количеству хранимых в памяти бит информации. Таким образом, за единицу емкости памяти берется бит. Так, память, рассчитанная на $2^{10} = 1024$ двоичных разрядов, обладает емкостью: 1024 бит = 1 кбит. Поскольку для хранения буквенно-цифровых знаков (буквы, цифры и специ-

альные знаки) в большинстве случаев используют 8 бит, таковые объединяют в так называемый байт. Существуют и более крупные единицы емкости памяти — Кб (килобайт), Мб (мегабайт) и Гб (гигабайт).

Механические запоминающие устройства

У механической памяти, например, бумаги с определенным рисунком перфорации, для хранения данных служит форма твердого тела. Перфокарты и перфоленты долгое время были наиболее распространенной цифровой запоминающей средой при архивировании и вводе данных в установках электронной обработки данных. Такие носители информации в силу их малой емкости в настоящее время практически вышли из употребления; исключение составляют разве что малогабаритные перфокарты.

На базе таких мини-карточек (ДИН 66 228) обычно кодируются лекарственные препараты (рис. 351). С помощью используемого здесь кода можно как в правой, так и в левой половине строки выбить не более одного отверстия. Подобные этикетки, которыми снабжается каждая упаковка с лекарством, очень удобны при ревизии складских запасов и в автоматической службе выполнения заказов.

С использованием телефонной приставки комбинации отверстий на карточках соответствующим образом считываются и в виде двоичных звуковых сигналов (высокий тон/низкий тон) по телефонной линии передаются фирмам оптовой торговли. Там эти сигналы автоматически расшифровываются, после чего быстро и точно производится требуемая поставка.

CD-ROM (англ. Compact-Disc-Read-Only-Memory) — это устройства, предназначенные для считывания компакт-дисков. Они являются оптомеханической памятью с максимальной плотностью размещения информации. CD-ROM представляет собой пластмассовый диск, в спиральную дорожку которого методом вжигания лазерным лучом нанесены метки шириной около 1 мкм (рис. 352), считываемые при вращающемся диске также с помощью лазера. Такая технология известна и под названием WORM (англ. Write Once, Read Many — техника нескольких перезаписей и многократного воспроизведения). Емкость памяти стандартного 5-дюймового диска составляет свыше 500 Мб, превосходя все иные носители информации.

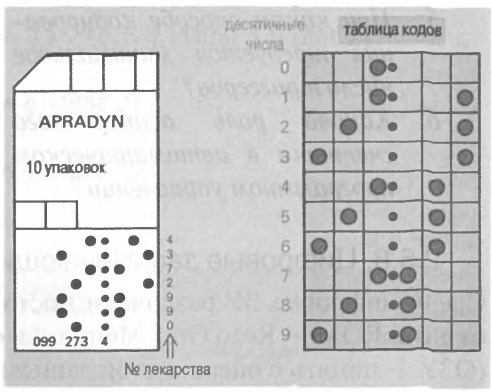


Рис. 351. Кодирование лекарств двойным кодом «один из трех».

Многодисковые CD-ROM с автоматизированной сменой дисков, обладая емкостью памяти более 100 Гб, служат своеобразной библиотекой данных, чертежей, цветных рисунков, а также преобразованных в цифровую форму видеозаписей.

CD-ROM предназначены, прежде всего, для хранения больших объемов информации.

Оптические запоминающие устройства

Образцы цвета — например черно-белую структуру кодовой линейки — можно успешно использовать в качестве оптических ПЗУ Наряду с кодированием чисел для измерения пути перемещения, существует еще множество самых разных оптических способов сохранения данных, подлежащих автоматическому считыванию.

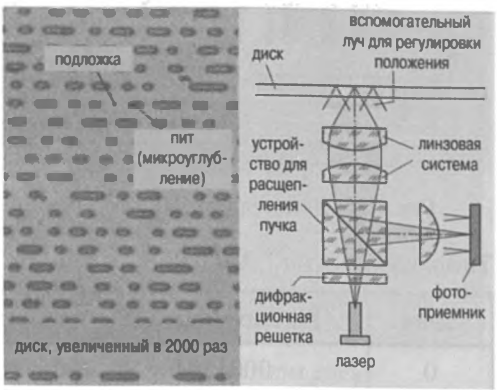


Рис. 352. CD-ROM

Так, в целях автоматической сортировки писем на многих почтамтах на конверты наносится специальный штриховой код для почтовых отправлений, причем такие штрихи могут быть черными либо флуоресцирующими (рис. 353). В последнем случае они отчетливо видны только в свете ультрафиолетовых лучей и могут быть считаны с помощью дешифратора. Здесь используют код, защищенный от ошибок при считывании, — например код «два из пяти», причем на каждую цифру должно приходиться точно два бита со значением 1.

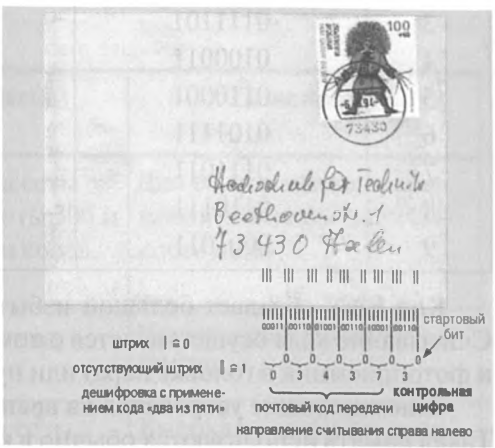


Рис. 353. Почтовый конверт со штриховым кодом

Большая часть товаров широкого потребления в европейских странах маркируется номенклатурным номером, наносимым на упаковку в виде штрихового кода (англ. EAN-Code — нумерация европейских товаров) (рис. 354).

Рис. 354. Маркировка товаров штриховым кодом (код EAN)

Код EAN состоит из темных штрихов разной ширины — одинарной (1), двойной (11), тройной (111) и четверной (1111) и пробелов разной ширины — одинарной (0), двойной (00) и тройной (000).

Код начинается и заканчивается двумя крайними штрихами одинарной ширины, отделенными друг от друга пробелами одинарной ширины (101), и имеет в середине разделительный знак с двумя штрихами одинарной ширины и тремя пробелами одинарной ширины (01010).

С помощью штрихового кода на рис. 336 закодировано в общей сложности 12 цифр по 7 двоичных знаков в каждой (рис. 337). Дешифровка двоичных знаков осуществляется согласно таблице 36, а именно: для первых 6 цифр частично используется набор знаков A и B и для последних 6 цифр — набор знаков C.

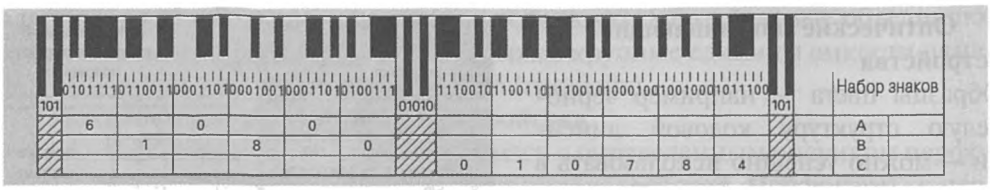


Рис. 355. Дешифровка кода EAN для изделия по рис. 354

Таблица 37. Код EAN

Знак	Набор знаков A	Набор знаков B	Набор знаков C
0	0001101	0100111	1110010
1	0011001	0110011	1100110
2	0010011	0011011	1101100
3	0111101	0100001	1000010
4	0100011	0111101	1011100
5	0110001	0111001	1001110
6	0101111	0000101	1010000
7	0111011	0010001	1000100
8	0110111	0001001	1001000
9	0001011	0010111	1110100

Код EAN обладает большой избыточностью и поэтому весьма надежен. Считывание кода осуществляется с помощью светового пера (светоизлучатель и фотоприемник в головке пера) или путем ощупывания лазерным лучом.

Запоминающие устройства на вращающихся магнитных носителях

Такая память используются обычно в качестве ПЗУ для больших объемов информации.

У запоминающих устройств на вращающихся магнитных дисках, как и у записывающего видеомагнитофона, намагничиваемый слой продвигается под универсальной головкой записи-считывания. В зависимости от вида носителя магнитного слоя различают ЗУ на магнитных лентах, ЗУ на магнитных дисках и ЗУ на магнитных дискетах (рис. 356). Сохранение данных осуществляется на основе намагничивания магнитного слоя головкой записи-считывания, причем магнитный слой можно представить состоящим из мельчайших магнитов. Данные всегда скомпонованы в блоки. Если, например, у ЗУ на магнитной ленте требуется считать блок данных, записанный в самом ее конце, то придется прокрутить всю ленту. Требуемое для этого время определяют как время поиска фрагмента записи, или время доступа. Такое время у ЗУ на магнитной ленте составляет в среднем S продолжительности ее перемотки. У ЗУ на магнитных дисках время доступа зависит от числа головок записи-считывания и скорости вращения дисков. Здесь этот период значительно короче, чем у памяти на лентах. Запоминающие устройства на магнитных лентах используются чаще всего в качестве дублирующей, или резервной, памяти для защиты данных либо в качестве памяти большой емкости.

Лентопротяжные механизмы иногда называют «стримерами» (от англ. to stream = течь). Существуют разные технологии создания лентопротяжных механизмов, например QIC80 (Quarter Inch Cartridge — ¼-дюймовая кассета), Travan (¼-дюймовая магнитная лента с большой емкостью памяти), DAT (Digital Audio Tape = цифровая магнитофонная лента) и DLT (Digital Linear Tape = цифровая линейная лента). Все они отличаются друг от друга преимущественно емкостью своей памяти (см. табл. 38).

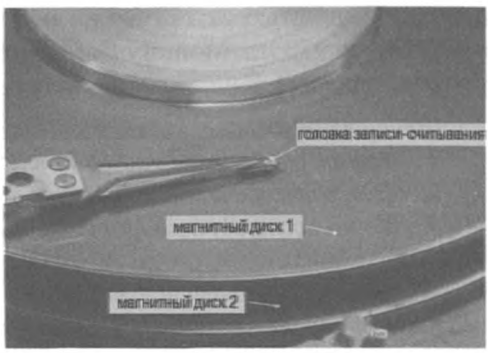


Рис. 356. ЗУ на магнитном диске

Таблица 38

Лентопротяжный механизм	Параметры ленты	Пояснения
QIC80	¼-дюймовая лента, кассеты 3,5" и 5,25", длина ленты 300 м и 400 м, 120 (250) Мб и соотв. 170 (240) Мб	Для современных требований слишком мала емкость памяти
Travan	¼-дюймовая спец. лента, 400 (850) Мб	Улучшенная технология QIC80
DAT	4-миллиметровые кассеты, до 8 Гб на кассету	Высокая плотность записи благодаря применению видеотехнологий
DLT	½-дюймовые кассеты, до 20 Гб на кассету	Максимальные показатели емкости; пригодны для работы в качестве кассетного магазина
Величины емкости памяти, приведенные в скобках: значения при уплотнении данных.		

Memory Cards

Речь идет о магнитных карточках, которые являются внешними запоминающими устройствами примерно с таким же объемом памяти, что и телефонные карточки. Внешняя память используется для размещения больших объемов информации и обмена ею с оперативной памятью. Толщина карточки, а также расположение и число ножевых контактов на торцевой стороне, устанавливаются согласно стандарту PCMCIA (от англ. Personal Computer Memory Card International Association — Международное объединение плат памяти персональных компьютеров). Они содержат программируемую постоянную

память с емкостью от 128 Кб до нескольких Мб. Время доступа составляет от 100 нс до 250 нс. Memory Cards используются, например, в ноутбуках и в устройствах для архивирования программ ЧПУ.

Повторение и закрепление материала

1. *Каким образом достигается сохранение информации на CD-ROM?*
2. *Чем объясняется надежность кода EAN?*
3. *В чем состоит принцип сохранения данных на вращающихся магнитных носителях?*
4. *Что понимается под термином «время доступа»?*
5. *Каково назначение ЗУ на вращающихся магнитных носителях?*
6. *Что такое Memory Card?*

Электронные запоминающие устройства

В совсем простых системах программного управления металлообрабатывающими станками можно использовать память с диодной матрицей, а именно в качестве ПЗУ в сочетании с электромеханическим или электронным шаговым искателем (рис. 357).

Рис. 357. ЗУ с диодной матрицей для управления металлообрабатывающим станком

Принцип действия

С каждым шагом программы шаговый искатель поступательно подключает положительное напряжение к вертикальной шине. Везде, где вертикальные шины посредством диодов соединены с горизонтальными шинами, создается возможность для прохождения сигнала. Таким способом можно получать любые комбинации сигналов — например в шаге 1 программы: «подача вперед» в режиме «ускоренного хода», в шаге 2 программы: «подача вперед», «включение шпинделя изделия», «включение охлаждающей воды» и т. д.

Программное управление последовательностью выполнения операций, то есть переключение с одного шага программы на следующий шаг, осуществляется в зависимости от времени или в зависимости от перемещения с помощью кулачковых контроллеров либо также просто вручную. Через диоды (вместо прямого соединения проводов) достигается разъединение (развязка) отдельных вертикальных шин, так что токопроводящими являются только те диодные соединения, у которых вертикальная шина как раз подключена к шаговому искателю. В случае неизменяемых программ управления диоды впаиваются на постоянной основе.

Полупроводниковые запоминающие устройства изготавливаются в виде интегральных схем (ИС) для более чем 1 миллиона бит на одной-единственной кремниевой пластинке площадью в несколько квадратных миллиметров. Они служат в качестве программного ЗУ для систем управления станками и в

качестве памяти программ и данных для вычислительных устройств. При этом следует различать постоянную память (ПЗУ) и оперативную память (ОЗУ).

Постоянные ЗУ сконструированы в виде памяти с диодной матрицей. В случае ПЗУ, программируемых с применением фотошаблона, подлежащая сохранению программа установлена уже при создании запоминающего устройства. На поле матрицы укладывается фотошаблон, и только в точках пересечения свободных плоскостей образуются токопроводящие *p—n*-переходы (диоды) (рис. 358). Содержимое изготовленной таким образом постоянной памяти заполняется при изготовлении ПК и не может быть изменено в обычных условиях эксплуатации. В транзисторном исполнении посредством импульса напряжения с резонансным усилением *p—n*-переход закорачивается, так что из непроводящего участка транзистора получается проводящий участок диода. Программирование таких запоминающих устройств производится раз и навсегда и уже никогда не меняется.

Итак, ROM = ПЗУ есть постоянное запоминающее устройство.

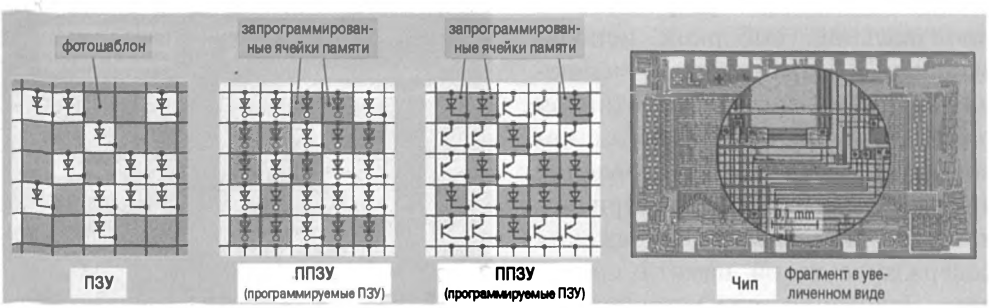


Рис. 358. Постоянное запоминающее устройство

Существует также СППЗУ (англ. EPROM от: Erasable Programmable Read Only Memory = стираемая программируемая постоянная память), где содержимое можно удалять как угодно часто (рис. 359). Для этой цели используется ультрафиолетовый свет, благодаря чему все *p—n—p*-переходы в точках пересечения вновь становятся непроводящими. Программирование в данном случае производится по принципу неразрушения с использованием импульсов тока.

Итак, EPROM = СППЗУ есть стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство.

Широко используется и ЭСППЗУ (англ. EEPROM от Electrically Erasable PROM — электростираемая программируемая постоянная память), где время записи составляет примерно 1 мс, а время стирания —

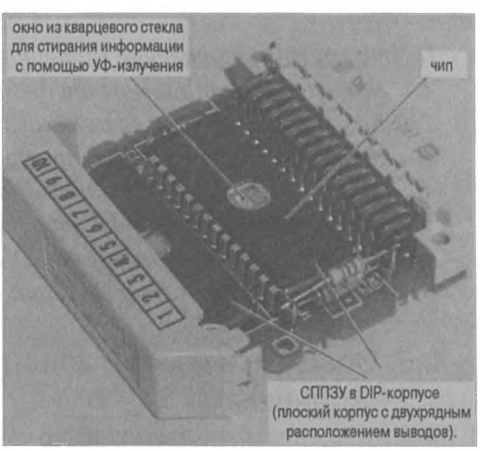


Рис. 359. Стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство

около 10 мс. Такое запоминающее устройство находит применение, в частности, в микрокалькуляторах; в выключенном состоянии результаты вычисления тогда сохраняются.

ЗУПВ (англ. RAM от Random Access Memory — память с произвольной выборкой) содержит на крошечной полупроводниковой пластинке (чипе) до 1 миллиона электронных запоминающих схем. Здесь различают статическую память с произвольной выборкой (СЗУПВ) и динамическую память с произвольной выборкой (ДЗУПВ). У статического ЗУПВ записанная информация сохраняется, пока она не будет удалена или пока не исчезнет сетевое напряжение. У динамического ЗУПВ микроконденсаторы в полупроводниковых пластинках в цикле записи заряжаются, а в цикле считывания опрашиваются на предмет их напряжения. Поскольку эти микроконденсаторы непрерывно теряют свой заряд, то сохраненную информацию спустя несколько миллисекунд приходится вновь записывать. Этот процесс называется циклом обновления или циклом регенерации.

Запоминающие устройства с произвольной выборкой используют для сохранения часто меняющейся информации. Оперативной памятью вычислительных установок и цифровых систем управления являются именно ЗУПВ. При исчезновении сетевого напряжения содержимое такой памяти пропадает. Запоминающие устройства с произвольной выборкой приходится периодически подпитывать от батареек или аккумуляторов, чтобы шунтировать кратковременные отключения сетевого электропитания (рис. 360).

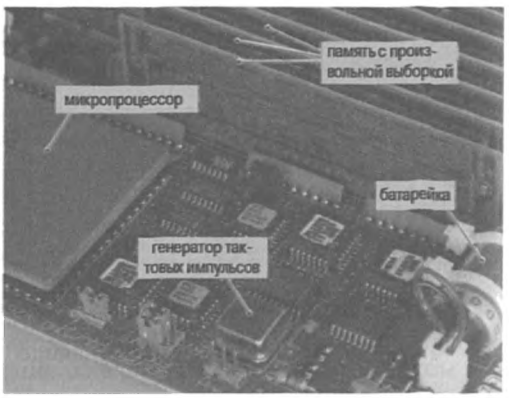


Рис. 360. МикроЭВМ с ЗУПВ

Повторение и закрепление материала

1. *Каково принципиальное отличие ПЗУ от ЗУПВ?*
2. *Какие существуют возможности удаления содержимого ПЗУ?*
3. *Что происходит с ЗУПВ при исчезновении сетевого напряжения?*
4. *Какую функцию выполняют диоды в ЗУ с диодной матрицей?*
5. *Чем статическое ЗУПВ отличается от динамического?*
6. *Для чего обычно используют ЗУПВ и для чего — ПЗУ?*
7. *Какими качествами обладают СППЗУ?*

2.6. Опасности и меры защиты при работе с электрическими установками

В принципе, все токопроводящие элементы подлежат экранированию, не допускающему непосредственного соприкосновения с ними. Исключения возможны в случае безопасных малых напряжений до макс. 25 В переменно-

го тока или 60 В постоянного тока. Во взрывоопасных помещениях все токопроводящие элементы должны быть защищены от прямого прикосновения. Не стоит забывать, что даже малые токи порядка 10 миллиампер (10 мА) при неблагоприятном прохождении (например, через сердечную мышцу) могут стать смертельными. Протекание тока при контакте с токопроводящими деталями зависит от сопротивления организма и места поражения. Сопротивляемость организма человека подвержена значительным колебаниям, как и переходное сопротивление контакта. Оно зависит, например, от того, были ли у человека влажные руки, не выступил ли пот и т. п. Без преувеличения смертоносным считается пользование электроприборами во влажных помещениях (рис. 361). Опасным для жизни, часто со смертельным исходом, становится, как правило, нарушение запрета на пользование электроприборами в ванне (рис. 362).

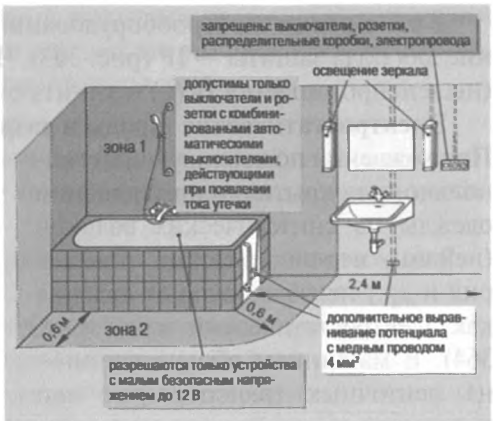


Рис. 361. Меры защиты во влажных помещениях

Рис. 362. Ситуация, опасная для жизни

Не помешает напомнить еще раз: пользование электроприборами в ванной комнате опасно для жизни и категорически запрещается!

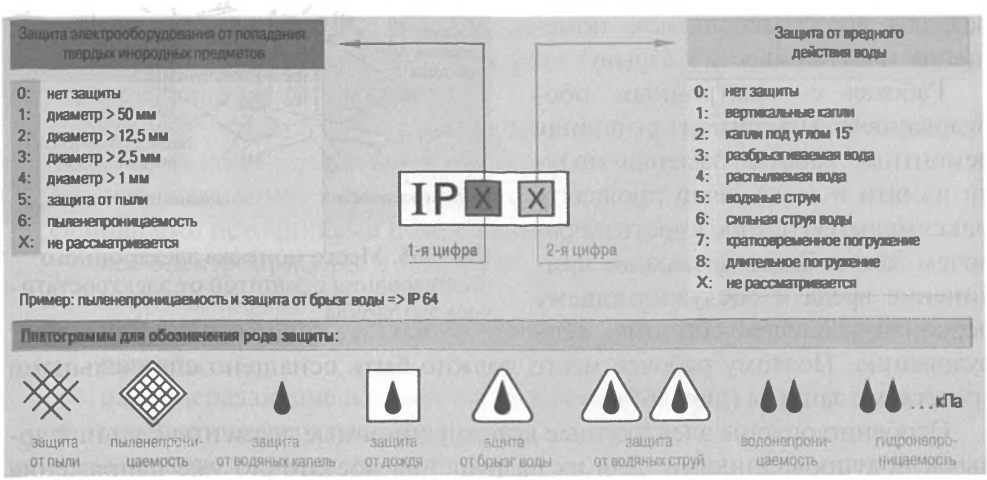


Рис. 363. Род защиты IP

В отношении электрооборудования существует международное обозначение для рода защиты — IP (рис. 363). Чаще всего выбирают род защиты IP 65 (пыленепроницаемость (6) и защита от брызг воды (5)).

Электростатические заряды и разряды

При хождении по изолирующему напольному покрытию и при ношении одежды из синтетических волокон (нейлон, перлон, эластан, полиакрил и др.) неизбежно такое явление как электростатический заряд (рис. 364). В машинном оборудовании — на ленточных транспортерах или в деталях из изоляционного материала — также нередко отмечается появление электростатических зарядов. Напряжения при этом могут доходить до нескольких десять тысяч вольт. В таком случае разряды бывают порой с видимым и слышимым искровым перекрытием.

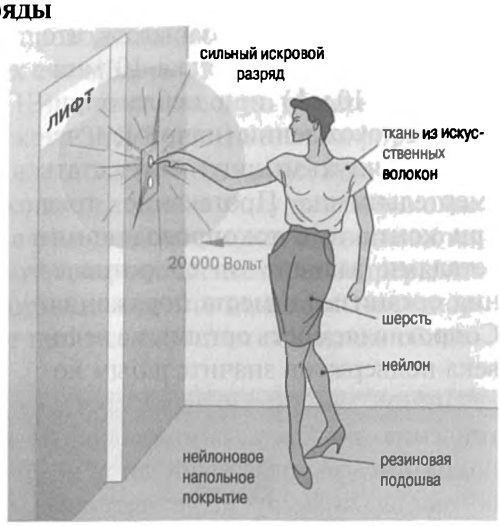


Рис. 364. Электростатический заряд и разрядные искры

Непосредственную опасность для человека такие разряды обычно не несут, поскольку разрядная энергия при этом довольно мала. Иное дело, если разряд происходит во взрывоопасной атмосфере — например в очень пыльном помещении или на складе с парами бензина.

Внимание! Электростатические разряды во взрывоопасном помещении могут привести к взрыву!

Работая с электронным оборудованием (например выполняя ремонтные работы, заменяя модули памяти и т. д.), надо проявлять максимальную осторожность на рабочем месте. Здесь возможно причинение вреда и обслуживающему персоналу, и электронному оборудованию. Поэтому рабочее место должно быть оснащено специальными средствами защиты (рис. 365).

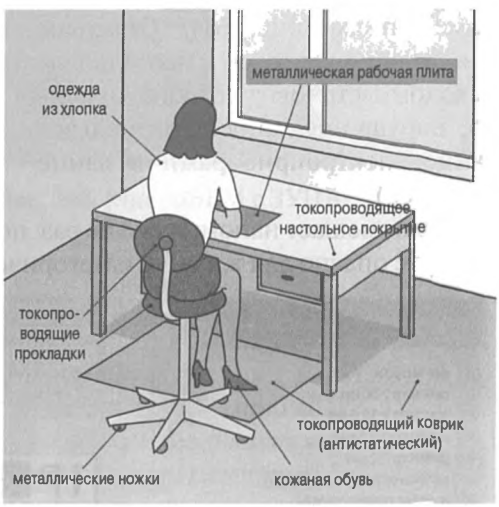


Рис. 365. Место монтажа электронного оборудования с защитой от электростатического заряда

Особенно опасны электронные конструкционные элементы с униполярными полупроводниками. Для их разрушения достаточно уже напряжения 100 В.

Перед началом работы с электронными модулями надо соответствующим образом разрядиться, коснувшись земли или защитного провода — особенно, если одежда или белье содержат искусственные волокна.

Повторение и закрепление материала

1. *Начиная с какого переменного напряжения и с какого постоянного напряжения становится опасным прямое прикосновение к токопроводящим элементам?*
2. *В каких случаях даже малые напряжения способны стать опасными?*
3. *Что означает род защиты IP 65?*
4. *Какова причина возникновения электростатического заряда?*
5. *Как можно избежать электростатического заряда?*
6. *Какие опасности таят в себе электростатические заряды?*
7. *Какие защитные меры необходимо соблюдать при работе с электронным оборудованием?*
8. *Для каких электронных модулей особенно опасны электростатические разряды?*
9. *Как правильно оснастить рабочее место для монтажа электронного оборудования?*

2.7. Электромагнитная совместимость

Электрические устройства обладают электромагнитной совместимостью, если они не оказывают недопустимого электромагнитного воздействия на свое окружение и сами способны надежно работать при допустимом электромагнитном воздействии со стороны окружающей среды.

Любое электрооборудование, имея протекающие токи и соответствующее напряжение, оказывает влияние на все находящееся вокруг. Протекающие токи создают магнитные поля, а напряжения — электрические поля. Когда в результате энергообмена происходит чередование магнитных и электрических полей, возникают распространяющиеся во все стороны электромагнитные волны. Искровые разряды тоже способны инициировать электромагнитные волны, а также вызвать механические, тепловые и химические реакции. И, наконец, электрические токи в электросетях могут стать причиной серьезных повреждений на любом уровне.

Электромагнитная совместимость достигается при наличии надежной защиты от помех и исключении источников этих помех.

Как избежать помех и сбоев в работе

Основными источниками помех являются:

- все электроприборы с искреним — выключатели, контакторы, двигатели с коллекторами,
  природные и искусственные молнии, а также электростатические разряды,
  радиопередающие и радарные установки,
  генераторы сверхвысоких частот,
  высоковольтные провода,
  электронные исполнительные органы (рис. 366).

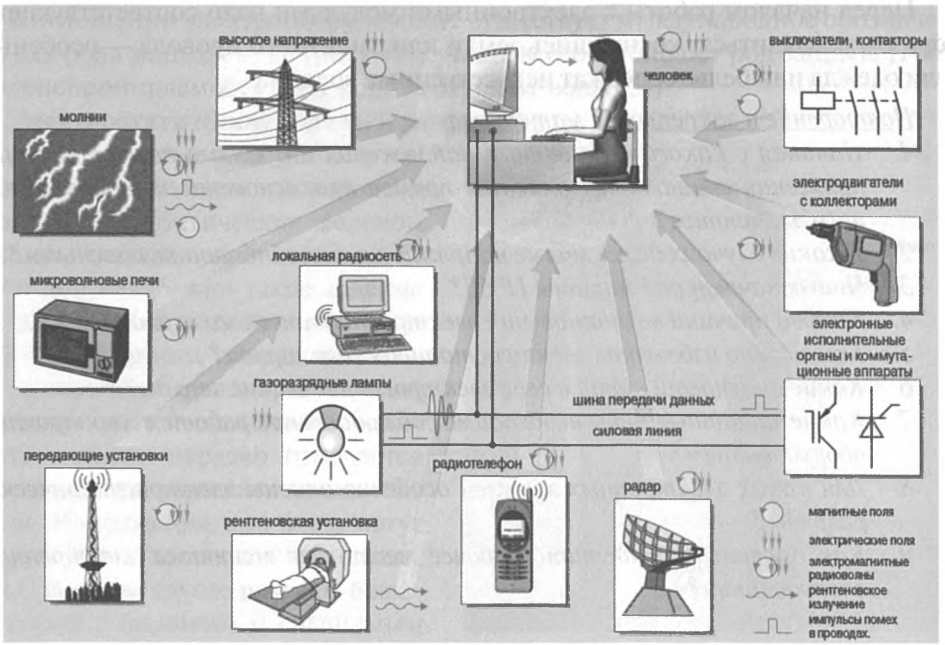


Рис. 366. Источники помех и объект их направленности

С принятием мер по подавлению помех в значительной мере удается избежать искрообразования. Это возможно, например, благодаря использованию диодов, резистивно-емкостных элементов и варисторов (см. здесь также п. 2.2.1). Электростатические заряды и разряды можно исключить путем применения проводящих материалов и грамотного заземления. Распространение магнитных полей заметно снижается при экранировании на основе материалов хорошей магнитопроводимости — железа, стали, магнитного сплава типа му-металла. Кабель лучше прокладывать в стальных трубках или с оплеткой из стальной проволоки. Коммутационные установки желательно размещать в нижней части распределительного шкафа. Провода должны быть обязательно скручены. При этом возникают поля с противоположными знаками, которые иногда полностью взаимно уничтожаются.

Помехи, вызванные статическими преобразователями частоты/исполнительными органами

Быстрое включение современных мощных полупроводников приводит к очень высокой крутизне характеристики напряжений и, следовательно, неизбежно вызывает сигналы помех через паразитные, то есть нежелательные емкости. Эти емкостные утечки тока возможны, например, при переходе от переключающих транзисторов

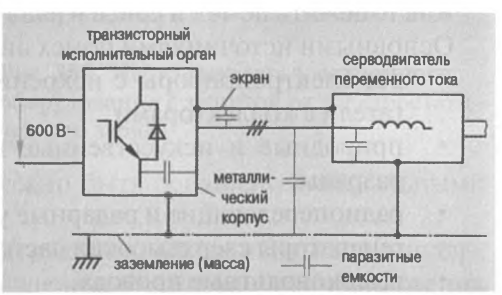


Рис. 367. Паразитные емкости

к поверхностям массы или от обмоток двигателя к его корпусу (рис. 367). Электромагнитные поля в таких случаях достигают порой 1 ГГц. Для обеспечения электромагнитной совместимости все токопроводящие провода прокладывают с экранированием вдоль поверхности массы или по электрическим соединениям через корпус, что позволяет снизить уровень излучения электромагнитных волн. Экраны размещают с обеих сторон корпуса, а именно с большой поверхностью контактирования, и проводят их напрямую до присоединения статического (вентильного) преобразователя частоты.

Защита от помех

Для экранирования электростатических полей вполне годится металлический корпус (клетка Фарадея). Тот же способ возможен и в отношении электромагнитных волн, но можно использовать и свинцовое стекло — например, в микроволновых печах или рентгеновских аппаратах.

Переменные магнитные поля приводят через индуктивные связи к напряжениям помех. Чтобы исключить или хотя бы сократить такие индуктивные (трансформаторные) связи, достаточно проложить скрученные провода. При этом индуктированные напряжения начинают действовать в противоположных направлениях и в значительной мере взаимно ликвидируются. Надежную защиту обеспечивает экранирование с применением хорошо проводящей экранирующей сетки или нанесенного металлического покрытия достаточной проводимости. Переменные магнитные поля создают в экране вихревые токи, противодействующие влиянию полей. Против полей равной напряженности рекомендуются устройства с му-металлом или стальные корпуса.

Во избежание емкостных паразитных связей не следует прокладывать провода параллельно линиям, создающим помехи, или их необходимо защитить, используя металлические экраны, в том числе клетки Фарадея, и заземленное экранирование.

От электромагнитных волн устройства защищают с помощью хорошо проводящих экранов или за счет поверхности корпуса. Паразитные связи через силовую сеть устраняются благодаря сетевым фильтрам. Защита от перенапряжений, в том числе от молний, достигается при использовании разрядников и молниеотводов. Это могут быть диоды, варисторы и проч.

Гальванических паразитных связей в сигнальных проводах удается избежать посредством промежуточного включения оптоэлектронных элементов связи. Это небольшие электронные детали, которые через фотодиод преобразуют электрический сигнал в свет, а этот свет через фотоприемник вновь преобразуют в сигнал.

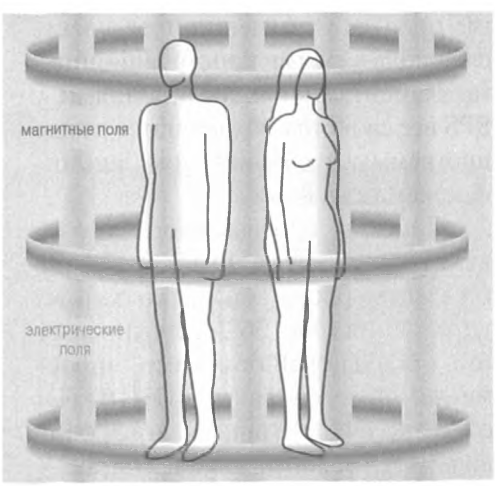


Рис. 368. Электромагнитные поля, пронизывающие человеческий организм.

Воздействие на человека

Поскольку у человека нет специального органа чувств для улавливания электромагнитных полей, то он их обычно и не ощущает. (Известно, впрочем, что при достаточно сильных электрических полях иногда встают дыбом волосы.)

Но, в любом случае, электромагнитные поля оказывают безусловное воздействие на живую, а именно электропроводящую ткань, на нервные клетки и, следовательно, на самого человека (рис. 368). Пока человек подвергается действию лишь небольших электромагнитных полей, какие могут исходить, например, от низковольтных установок (< 1000 В), их отрицательное влияние на его здоровье не столь опасно. Иная ситуация возникает при нахождении человека вблизи передающих и радарных установок. Особую опасность представляют высокочастотные электромагнитные волны — микроволны или рентгеновское излучение. Поэтому эксплуатировать микроволновую печь допустимо только при закрытой дверце.

2.8. Системы программного управления от ЗУ (SPS)

2.8.1. Структура и принцип действия

Система программного управления от ЗУ (SPS) по своему конструктивному исполнению напоминает компьютер. Она состоит преимущественно из сетевого блока (источника электропитания), устройства ввода сигналов, центрального блока с микропроцессором, памяти для хранения программ и устройства вывода сигналов. В отличие от систем управления с программируемой связью, где процесс управления определяется используемыми конструкционными элементами и их соединениями, у SPS все свойства сохраняются в виде программы в специальном запоминающем устройстве.

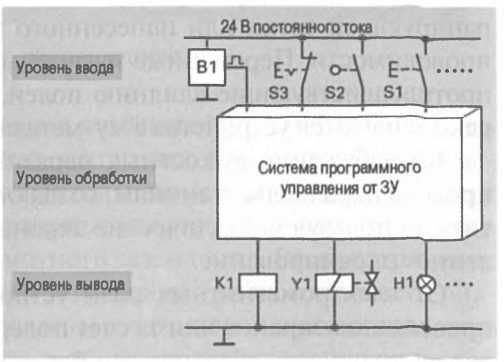


Рис. 369. Уровни управления

Рис. 370. Система программного управления от ЗУ в компактном исполнении

Система программного управления от ЗУ используется обычно в качестве блока обработки данных управления (рис. 369). Для управления небольшими объемами информации, то есть макс. 100 DI/DO (DI от англ. Digital-Input — цифровой ввод, DO от англ. Digital Output — цифровой вывод), находят применение так называемые компактные

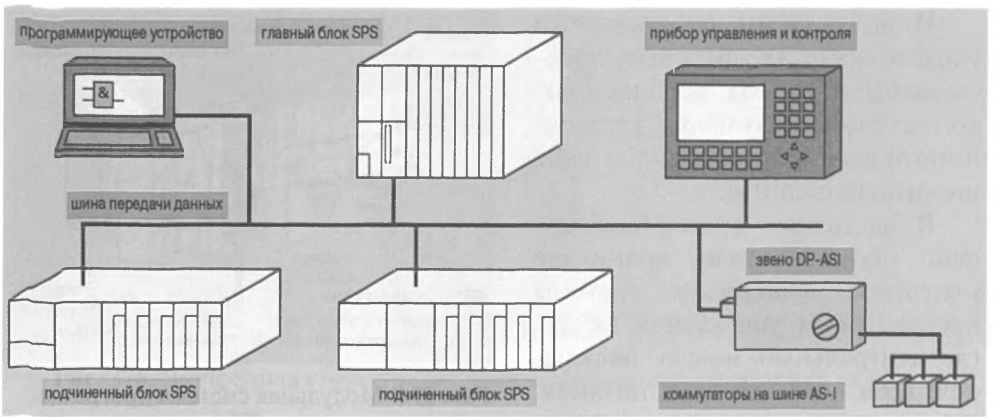


Рис. 371. Сетевая система программного управления от ЗУ

SPS, или микроSPS (рис. 370). При расширенных задачах управления с более чем 100 DI/DO предпочтение отдается модульным вариантам SPS.

Локальные SPS удобны также для монтажа на каждом из стандартизованных узлов с возможностью соединения через шину (например PROFIBUS-DP) для обмена информацией с главным модулем (Master) (в отличие от подчиненных ему блоков — Slave). Могут подключаться и другие компоненты, например, приборы управления и контроля или устройство сопряжения с шиной AS-I (от англ. Actuator-Sensor-Interface) для децентрализованной обработки сигналов (рис. 371).

Систему программного управления от ЗУ можно интегрировать в другие микропроцессорные системы управления, например числового программного управления с помощью ВМ. Если требуются лишь некоторые из функций SPS, то они реализуются исключительно программными средствами в рабочей программе ЧПУ на базе ВМ. В этих случаях систему программного управления от ЗУ именуют также PLC (от англ. Programmable Logic Controller — программируемое логическое управляющее устройство) (рис. 372). Все чаще в качестве SPS используются и промышленные ВМ (рис. 373), и тогда функции управления при помощи хранимой в памяти программы берет на себя вставленная в ПК плата.

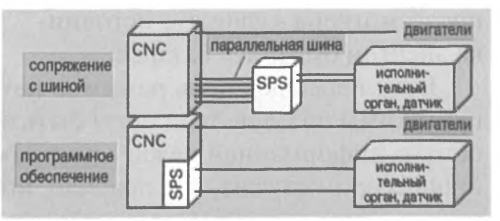


Рис. 372. Интегрированная система программного управления от ЗУ

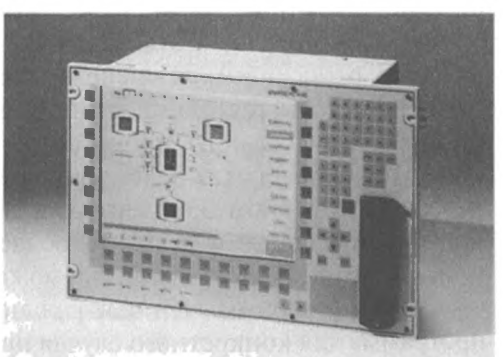


Рис. 373. Промышленный ПК

Итак, системы программного управления от ЗУ могут быть представлены в разных исполнениях: компактном, модульном, сетевом, интегрированном, а также в виде промышленной ВМ.

В настоящее время наибольшей популярностью пользуется модульное исполнение системы программного управления от ЗУ, где центральный модуль включает в себя сетевой блок питания, центральный процессор, минимум одно устройство цифрового ввода и одно устройство цифрового вывода (рис. 374).

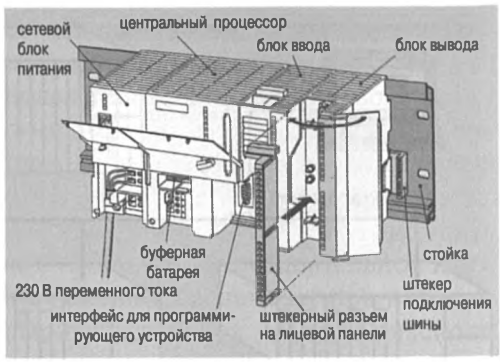


Рис. 374. Модульная система программного управления от ЗУ

Для работы центральный процессор подключается к источнику питания — обычно к 24 В постоянного тока (рис. 375).Чтобы при внезапном исчезновении сетевого напряжения не потерять сохраненные данные, на случай обрыва питающей линии или иных сбоев предусмотрена в качестве источника энергии буферная батарея.

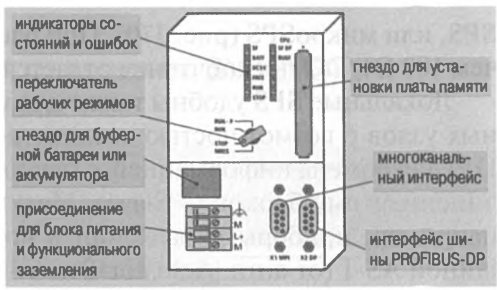


Рис. 375. Центральный процессор, вид спереди

Если переключатель режимов находится в положении останова (STOP), программы пользователя могут быть переданы в центральный процессор. Для обмена информацией между программирующим устройством и центральным процессором служит, как правило, интерфейс, пригодный для работы в многоканальном режиме. Переключатель рабочих режимов располагает позицией полного сброса содержимого памяти центрального процессора. В позиции RUN обрабатывается программа пользователя, а при выборе RUN-P можно, помимо этого, при необходимости выполнять еще изменение переменных.

Через интерфейс PROFIBUS-DP достигается сопряжение и с другими блоками, относящимися к децентрализованной периферии.

Индикаторы состояний и ошибок дают сведения о текущем рабочем состоянии центрального процессора. При индикации возможной ошибки (сбоя, неисправности) более точная информация запрашивается в диагностическом буферном ЗУ. Центральный процессор обладает, кроме прочего, микропроцессором и разными областями памяти (загрузочной, оперативной, системной), соединенными между собой общей шиной.

В загрузочной памяти центрального процессора хранится управляющая программа для конкретного случая применения (рис. 376). Эта память может быть выполнена как ЗУПВ или СППЗУ с возможностью расширения на основе запоминающей платы (Memory Card). Если указанная плата оснащена

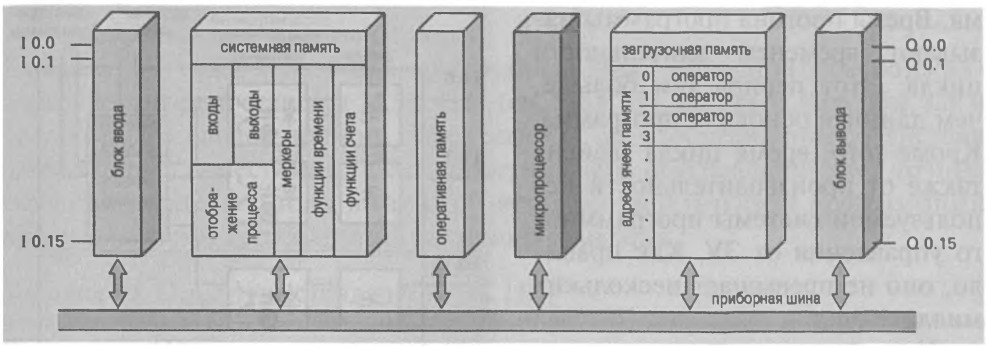


Рис. 376. Внутренняя структура системы программного управления от ЗУ

стираемым программируемым постоянным ЗУ, то программа пользователя может загружаться в режиме offline — независимо от центрального процессора. Оперативная память выполнена в виде быстродействующего ЗУПВ. Туда копируются данные, важные для выполнения программы пользователя. Системная память содержит переменные, именуемые также операндами, которые могут запрашиваться программой. Они объединены в области операндов, размер которых зависит от установленного центрального процессора.

Области операндов центрального процессора:

- входы (I) как отображение процесса на блоках ввода цифровых данных,
- выходы (Q) как отображение процесса на блоках вывода цифровых данных,
- меркеры (M) как ячейки памяти для хранения информации,
- функции времени (T) как реле выдержки времени, устанавливающие периоды управления и контроля,
- функции счета (C) как программные счетчики для прямого и обратного счета.

Когда переключатель рабочих режим устанавливается на RUN (прогон программы), начинается циклическое выполнение программы пользователя (рис. 377). Сначала из системного ЗУ считывается текущее состояние входов, то есть отображение процесса на входах. Затем осуществляется обработка основной (ведущей) программы. Потом вытекающие отсюда состояния выходов (отображение процесса на выходах) передаются в системное ЗУ и присваиваются соответствующим выходам. Теперь отображение процесса на входах актуализируется (обновляется), после чего вновь обрабатывается основная програм-

Рис. 377. Обработка программы пользователя

ма. Время прогона программы называют временем длительности цикла. Этот период тем больше, чем длиннее основная программа. Кроме того, время цикла зависит также от производительности используемой системы программного управления от ЗУ. Как правило, оно не превышает нескольких миллисекунд.

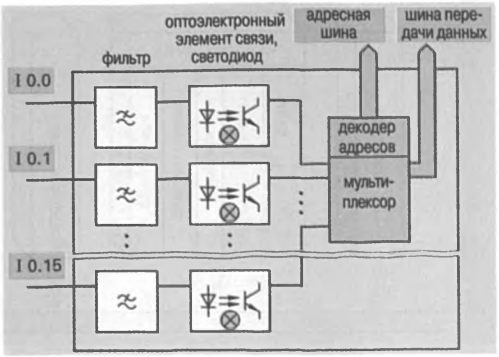


Рис. 378. Монтажная схема входов

Устройство ввода делится на блоки ввода по 8 или 16 двоичных входов в каждом (рис. 378). Каждый блок ввода содержит схемы для согласования по уровням сигнала, например делитель напряжения и резистивно-емкостный фильтр для подавления помех. Для сигналов постоянного напряжения имеется диод в качестве защиты от переполюсовки, а для сигналов переменного напряжения — мостовая выпрямительная схема. Для разделения потенциалов защищенный от помех сигнал постоянного напряжения подается через оптоэлектронный элемент связи (фотодиод в качестве передатчика и фототранзистор в качестве приемника в одном конструкционном узле). При вводе в эксплуатацию или при поиске ошибок светодиод позволяет максимально быстро распознать коммутационное положение входных сигналов. Мульплексор (многопозиционный переключатель) включается через декодер адресов.

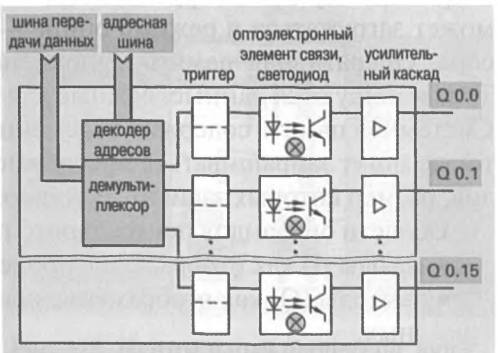


Рис. 379. Монтажная схема выходов

Устройство вывода также разделено на блоки вывода по 8 или 16 двоичных выходов в каждом (рис. 379). Каждый блок вывода содержит мощные каскады, например транзисторы для двоичных сигналов переменного напряжения (24 В, 200 мА) либо триак (симметричный триодный тиристор, или симистор) для прямого управления симметричными нагрузками (например, 50 Гц, 230 В).

Если по причине какого-либо сбоя не выполняется регулярный программный цикл, то по истечении установленного времени цикла выключаются все выходные каскады, отключая присоединенные исполнительные органы машины. Это позволяет предотвратить возможные опасные ситуации.

Отдельные выходы включаются микропроцессором через их адреса. В декодере адресов расшифровывается адрес выхода, выбранного программой, и посредством многоканального коммутатора осуществляется последовательное переключение коммутационного сигнала.

2.8.2. Программирование

2.8.2.1. Языки программирования

С начала 90-х годов действует разработанный Международной электротехнической комиссией стандарт МЭК 1131 (см. табл. 39), который, впрочем, так и не стал обязательной нормой. Директива PLCopen (объединение содействия разработкам совместимого с SPS программного обеспечения) дает точные указания касательно того, в каких областях соответствующий программный продукт отвечает требованиям указанного стандарта.

Таблица 39. Структура стандарта МЭК 1131

Часть №	Название	Содержание
Часть 1	Общая информация	- Определение понятий - Функциональные признаки SPS
Часть 2	Требования к оборудованию и испытания	- Электрические требования - Механические требования - Функциональные требования - Типовые испытания - Условия окружающей среды - Классы нагрузки аппаратных средств
Часть 3	Языки программирования	- Модель программного обеспечения - Языки программирования
Часть 4	Указания для пользователя	- Системный анализ - Выбор устройств - Техническое обслуживание и уход
Часть 5	Связь	- Связь между устройствами разных изготовителей и с прочим оборудованием - Связь через сети - Обмен информацией - Обработка аварийных сигналов - Сетевое управление

Рассматриваются следующие языки программирования:

- список операторов (AWL),
- структурированный текст (ST) в качестве контекстно-ориентированного языка,
- контактная схема (KOP),
- язык функциональных модулей (FBS) и
- язык хода процесса (AS) как графико-ориентированный язык.

Язык программирования «функциональная схема» (FUP) обозначен в МЭК как «язык функционального модуля» (FBS). Впрочем, такого названия придерживаются не все изготовители. Языки программирования «контактная схема» (KOP), «список операторов» (AWL) и «функциональная схема» (FUP) распространены достаточно широко, поскольку с их помощью, ис-

пользуя простые символы или буквы, легко отображать управляющие функции (см. табл. 40).

Таблица 40. Функции SPS согласно ДИН 19 239 МЭК 1131-3 (выдержка)

Обозначение	Представление		
	AWL	**FBS/FUP**	**KOP**
И	U/A	&	
ИЛИ	O	≥1	
НЕ (вход)	N		
НЕ (выход)	N		
Присваивание	=	=	
Установка	S	S	S
Сброс	R	R	R

При программировании в контактной схеме (KOP) форма представления очень напоминает схему цепей тока.

При программировании FBS или соответственно FUP используются графические условные обозначения функций. Для программного управления последовательностью выполнения операций также имеется специальный язык (AS). Регулярно повторяющиеся по ходу процесса элементы языка функциональных модулей объединяются в языке AS с образованием новых, упрощенных языковых элементов.

Список операторов (AWL) — самый универсальный язык программирования. Однако большие программы, записанные на этом языке, быстро теряют свою ясность и становятся непонятными.

Прежде чем передать программу пользователя в систему программного управления от ЗУ, все операторы управления с помощью компилятора переводятся в код, который эта система способна расшифровать (рис. 380). Каждый оператор управления содержит поле кода операции и поле операнда (рис. 381). Первое показывает, какая операция должна выполняться с этим оператором; второе, в свою очередь, делится на две

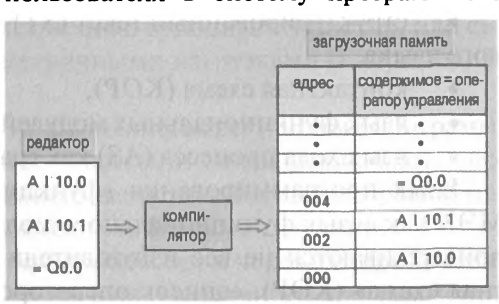


Рис. 380. Передача операторов управления

части — для идентификатора (например, 2 бита) и для параметра (например, 10 бит). Битами идентификатора устанавливается, относится ли данный оператор к входу (I), выходу (Q) или к другому операнду. Параметр же определяет адрес операнда, причем первое число есть адрес байта, второе число — адрес бита (рис. 382).

Рис. 381. Оператор управления согласно ДИН 19 239

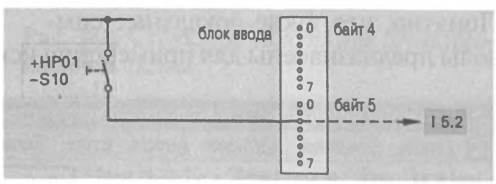


Рис. 382. Параметр операнда у блока ввода

2.8.2.2. Разработка программы

По нормам МЭК 1131 любая задача автоматизации рассматривается как «проект», внутри которого существует определенная иерархия (рис. 383). Поскольку сама программа для программирования записана на объектно-ориентированном языке, то программные блоки проекта есть объекты, которым пользователь при программировании присваивает определенные свойства. После того как проект составлен, с помощью редактирующей программы определяется, какая перекрестная связь здесь предусмотрена, после чего устанавливаются необходимые для данного проекта аппаратные средства (рис. 384). С этой целью конфигурируются блок питания от сети, центральный процессор и блок ввода-вывода. По завершении конфигурации технического обеспечения завершается и структура в иерархии. Теперь можно приступить к записи модулей программы пользователя. При этом допустимо использовать уже имеющиеся исходные программы. Можно также записывать программы, не отнесенные ни к каким аппаратным средствам. Позднее их часто используют в качестве исходных программ.

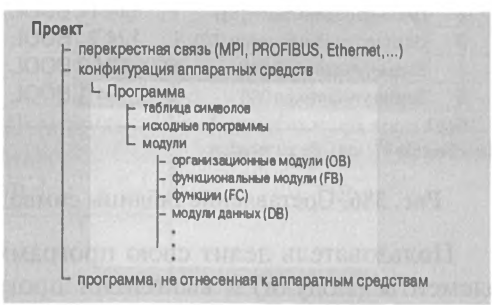


Рис. 383. Объектная иерархия в проекте

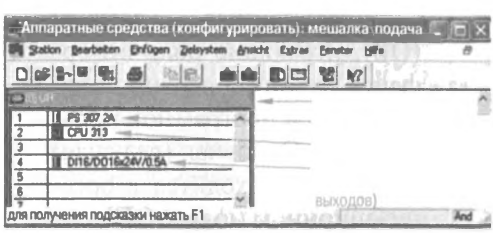


Рис. 384. Конфигурация аппаратных средств

Адресация на основе символов представляется более удобной (рис. 385), поскольку пользователь быстрее распознает перепутанные имена, чем неправильную последовательность цифр — например I 124.5 и I 125.4.

Пользователь может вместо абсолютного адреса использовать имя (символ). В таблице на рис. 386 представлены лишь общие символы: они известны во всей программе пользователя и имеют во всех модулях одинаковое значение. Но, помимо этого, имеется возможность применения и так называемых локальных символов, относящихся к конкретным модулям. Их имена установлены в описательной части соответствующего модуля. Понятно, что такие локальные символы предназначены для применения исключительно в пределах одного модуля.

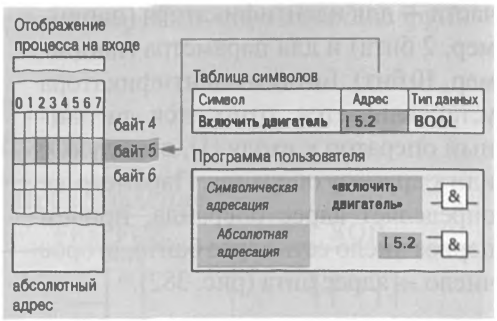
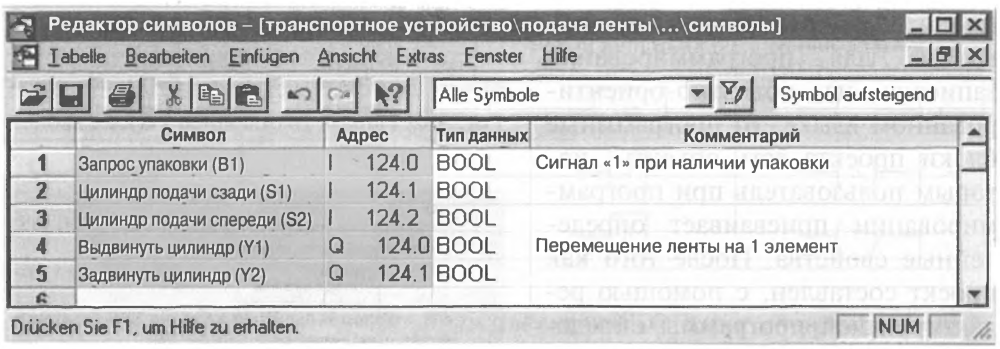


Рис. 385. Связь между абсолютной и символической адресацией



	Символ	Адрес	Тип данных	Комментарий
1	Запрос упаковки (B1)	I 124.0	BOOL	Сигнал «1» при наличии упаковки
2	Цилиндр подачи сзади (S1)	I 124.1	BOOL	
3	Цилиндр подачи спереди (S2)	I 124.2	BOOL	
4	Выдвинуть цилиндр (Y1)	Q 124.0	BOOL	Перемещение ленты на 1 элемент
5	Задвинуть цилиндр (Y2)	Q 124.1	BOOL	
6				

Рис. 386. Составление таблицы символов

Пользователь делит свою программу на небольшие, хорошо обозримые элементы (модули) и выполняет программирование по принципу структурирования с использованием языков программирования согласно нормам МЭК 1131-3 (см. рис. 387).

Существуют следующие типы модулей:

- организационные модули (OB), играющие роль интерфейса между операционной системой и программой пользователя. Основная (ведущая) программа находится в организационном модуле OB1;
- функции (FC), с помощью которых программируют часто повторяющиеся функции автоматизации; на их основе программа пользователя структурируется с разделением на части, имеющие между

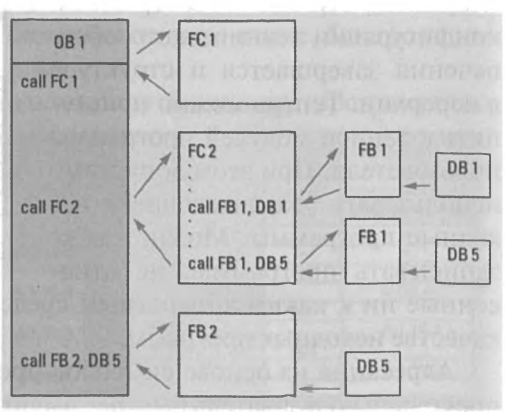


Рис. 387. Структурирование программы

собой технологические связи. FC могут запрашивать и другие модули;

- функциональные модули (FB) — это сегменты программы, запрос которых параметрируется через параметры модуля. Они обладают памятью для хранения переменных, которая находится в модуле данных;
- модули данных (DB), содержащие постоянные и переменные данные для программы — например измеренные величины, индицируемые датчиком давления.

Рис. 388. Структура модуля для функциональной схемы

Таблица 41. Модули программы

Программа (модули кода)	**Данные** модули данных	
Организационный модуль OB		Глобальный модуль данных DB
Функциональный модуль FB, SFB	Локальный модуль данных DB	
Функция FC, SFC		

Библиотеки служат для хранения вновь и вновь используемых компонентов программы. Чтобы иметь возможность как угодно часто применять в программах кодовые модули, таковые должны быть снабжены соответствующими параметрами. При программировании функций и функциональных модулей используемые параметры модулей должны быть описаны в соответствующей таблице. При этом параметры модулей содержат символьные адреса, обозначаемые также как «формальные параметры». Таковые могут быть декларированы в качестве входных (in), выходных (out) либо проходных (in_out) параметров. Кроме того, можно дополнительно описать переменные как «временные локальные данные» (temp), а в случае функциональных модулей — дополнительно

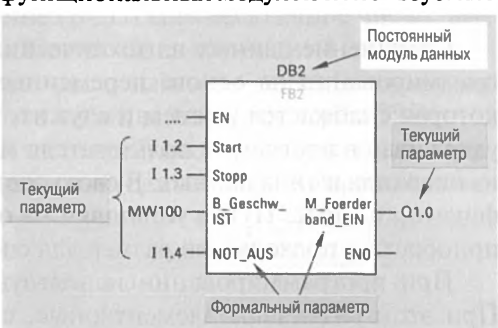


Рис. 389. Запрос параметрированного функционального модуля в функциональной схеме

как «постоянные локальные данные» (stat) (см. табл. 42).

При запросе модуля его формальные параметры снабжаются постоянными, операндами или переменными (рис. 389). Это все фактические параметры. При частых запросах данного модуля каждый раз могут использоваться другие текущие параметры. Тип данных действительного параметра должен соответствовать типу данных формального параметра (рис. 390). При отсутствии относящихся к нему текущих параметров модуль работает с данными по умолчанию.

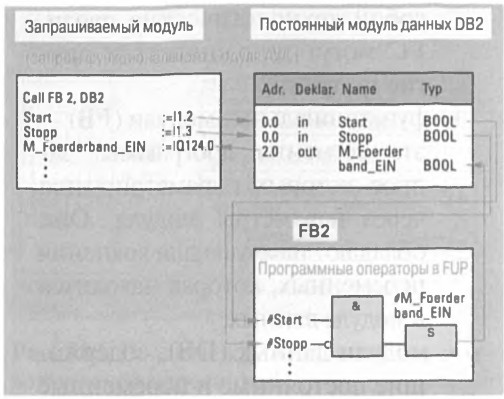


Рис. 390. Передача параметров при запросе функционального модуля

Таблица 42. Таблица описаний функционального модуля (пример)

Адрес	Описание	Имя	Тип	Начальное значение	Комментарий
0.0	in	Пуск	BOOL	ложное	Включение транспортера
0.1	in	останов	BOOL	истинное	Выключение транспортера
2.0	in	заданная скорость	INT	0	Заданная скорость
4.0	out	транспортер вкл.	BOOL	ложное	Сигнал двигателя
6.0	in_out	аварийное выключение	BOOL	ложное	
8.0	stat	действительная скорость	INT	0	Действительная скорость транспортера
0.0	temp	промежуточный результат	INT		Начальное значение невозможно

Сохранение данных из технических установок осуществляется при программировании на основе переменных. Переменная есть ячейка в памяти, которая снабжается именем и служит, таким образом, символом замещения, удерживая в программе пользователя место для данных. Переменная состоит из операнда и типа данных. В свою очередь, операнд включает в себя идентификатор и адрес. Путем установки на определенный тип данных переменная приобретает подходящий размер для соответствующих данных.

При программировании используют обычные для ЭВМ типы данных. При этом различают элементарные, составные (сложные) и определяемые пользователем типы данных. Для программирования системы программного управления от ЗУ (SPS) должны быть известны важнейшие элементарные типы данных (см. табл. 43).

Таблица 43. Элементарные типы данных (выборка)

Тип данных	Описание		Пример
BOOL	Бит	1 бит	TRUE FALSE (истина/ложь)
BYTE	Байт — 8-битовое шестнадцатеричное число	8 битов	B#16#00 B#16FF
WORD	Слово — 16-битовое шестнадцатеричное число 16-битовое двоичное число трехдекадное двоично-десятичное счетное значение	16 битов	W#16#0000 W#16#FFFF 2#000_000_000_000 2#111_111_111_111 C#000 C#999
INT	Число с фиксированной запятой	16 битов	-32768 +32768
DINT	Число с фиксированной запятой	32 бита	L#-2 147 483 648 L#+2 147 483 647
REAL	Число с плавающей запятой	32 бита	+123.4567 +1.23234567E+02
TIME	Текущее значение в МЭК-формате	32 бита	TIME#24d20h31m23s647ms TIME#24d20h31m23s647ms
S5TIME	Текущее значение в формате S5	16 битов	S5T#0ms S5TIME#2h46m30s

Переменная данных типа BOOL представляет собой одно двоичное значение — например вход I 5.2, выход Q 0.2 или ячейку памяти (меркер) M 100.0. Переменные типа данных BYTE, WORD и DWORD есть двоичные последовательности, а именно слова, состоящие из 8, 16 и 32 бит. Для расчетов используются типы данных INT и REAL. Отдельные биты не оцениваются. Специальные формы представляют собой двоично-кодированные десятичные числа (BCD) и CHAR (character) — знак в системе кодов ASCII.

Двоично-кодированное представление (BCD) есть десятичное число, выраженное в виде групп двоичных цифр (битов). Одна группа из 4 битов представляет собой одну цифру десятичного числа или знак перед десятичным числом. Группы из 4 битов образуют слово либо двойное слово (рис. 391).

Для выполнения цифровых операций часто требуются целые или вещественные числа. Одна целочисленная переменная типа данных INT (Integer) включает в себя 16 битов. Значения сигналов битов от 0 до 14 предназначены для цены разряда числа. Бит 15 отображает стоящий перед числом знак. Таким образом, диапазон представления чисел может быть от –32768 до +32767. Числа больше +32767 и

Рис. 391. Трехразрядное двоично-кодированное десятичное число со знаком

меньше –32768 сохраняются в виде DINT-переменных (Double Integer). Эти переменные занимают 16 битов, то есть представляют собой одно двойное слово. Поскольку бит 31 используется для знака, то числовая область может составлять от –21147483648 до +21147483647. Переменное число с плавающей точкой типа данных REAL состоит из 32 битов и имеет разделение через точку, а не через запятую. Диапазон значений числа с плавающей точкой находится в пределах от $-3{,}402823 \cdot 10^{+38}$ до $-1{,}175495 \cdot 10^{-38}/\pm 0/+1{,}175495 \cdot 10^{-38}$ до $+3{,}402823 \cdot 10^{+38}$ (см. табл. 44).

Таблица 44. Числа с фиксированной и плавающей точкой

Вид числа	Пояснение
Число с фиксированной точкой **INT** Пример: +312	0000 0001 0011 1000 256+32+16+8=312
Число с фиксированной точкой **INT** Пример: –312	1111 1110 1100 1000 256+32+16+4+2+1=311 311+1=312 Отрицательные числа отображаются в виде двоичного дополнения положительного целого числа
Число с плавающей точкой **REAL** Пример: 10.0	Знак Показатель степени 8 бит 0 1000 0010 Мантисса 23 бит 010 0000 0000 0000 0000 0000 $2^7+2^1=130$ $2^{-2}=0{,}25$ $10{,}0=1{,}25 \cdot^{2130-127}$ Целочисленная часть мантиссы всегда есть 1.

Повторение и закрепление материала

1. *Опишите принцип действия системы программного управления от ЗУ.*
2. *Какими модулями должна располагать модульная система программного управления от ЗУ?*
3. *Какова роль отображения процесса?*
4. *Какими ЗУ обладает система SPS? Какие области операнда хранятся в системной памяти SPS?*
5. *Какие языки программирования предусматриваются нормами МЭК 1131?*
6. *Что означает символическое программирование операнда?*
7. *С помощью каких вспомогательных средств можно выполнять структурирование программы SPS?*
8. *Почему для переменных используются разные типы данных?*
9. *В чем различие между числом с плавающей точкой и числом с фиксированной точкой?*

2.8.3. Основные функции

2.8.3.1. Двоичные логические функции

Логические связи двоичных значений сигналов могут быть реализованы посредством функций И, ИЛИ и НЕ. Не всегда при этом упоминается тождественность, или идентичность (функция ДА), при которой выдается сигнал со значением «1», когда на входе тоже имеет место сигнал «1» (рис. 392).

Рис. 392. Тождественность

Функция И соединяет друг с другом два двоичных значения сигнала и выдает логический результат 1, если оба результата запроса одновременно являются 1. Если функция И имеет более двух выходов, результатами опросов всех входов должны быть 1, что-

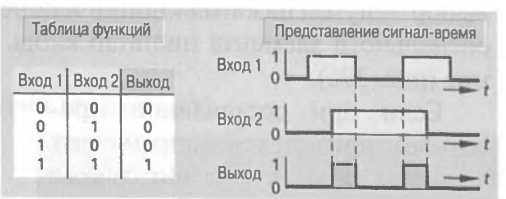


Рис. 393. Функция И

Цилиндр двустороннего действия при срабатывании переключателя S1 должен извлечь заготовку из магазина. Если резервное число заготовок окажется меньше установленного, процесс подачи прерывается. Запас заготовок контролируется конечным выключателем S2. Решение задания представлено на языках программирования: AWL (список операторов), KOP (контактная схема) и FBS/FUP (функциональный модуль/функциональная схема).

Технологическая схема

24V

S1

S2

I 0.7 ..... I 0.1 I 0.0

Q 0.7 ..... Q 0.1 Q 0.0

Y1

FBS/FUP с обозначением модуля:

модуль: FC1 подача деталей

схема: 1 смещение

I 0.0
I 0.1
&
Q 0.0
=

Контактная схема

I 0.0 I 0.1 Q 0.0

Символ	Адрес	Тип данных	Комментарий
Сместить заготовку (S1)	I 0.0	BOOL	
Есть заготовка (S2)	I 0.1	BOOL	
Выдвинуть цилиндр (Y1)	Q 0.0	BOOL	

Список операторов с абсолютной адресацией:

```
A  I  0.0
A  I  0.1
=  Q  0.0
```

Список операторов с символической адресацией:

A «сместить заготовку (S1)»
A «есть заготовка (S2)»
= «выдвинуть цилиндр (Y1)»

Рис. 394. Пример функции И

бы получился общий логический результат 1. Рис. 393 показывает таблицу функций и функцию И в представлении сигнал–время.

Функция ИЛИ связывает двоичные значения друг с другом и выдает логический результат 1, если хотя бы одно из значений (результат опроса) есть 1 (рис. 395).

Рис. 395. Функция ИЛИ

Пример:

Измерительное устройство должно срабатывать от цилиндра двойного действия. Сигнал для перемещения цилиндра вперед может подаваться — на выбор — путем нажатия кнопки или педали. После отпуска соответствующего сигнального элемента цилиндр вновь должен занять свое исходное положение (рис. 396).

Если при составлении программы приходится запрашивать значение сигнала чувствительного элемента датчика, то необходимо учитывать, выполняет этот датчик функцию замыкающего или размыкающего контакта. У центрального процессора нет возможности установить, занят ли вход замыкающим или размыкающим контактом. Замыкающий контакт дает при срабатывании значение сигнала 1; он подлежит прямому опросу, если задействованный датчик должен показать результат опроса 1. Размыкающий контакт дает при срабатывании значение сигнала 0; если при его активизации имеет место результат опроса 1, то он должен быть с отрицанием (функция НЕ; рис. 397). Таким способом могут опрашиваться и входы, которые должны активизироваться при значении сигнала 0 (состояние нулевой активности).

Рис. 396. Пример с измерительным устройством

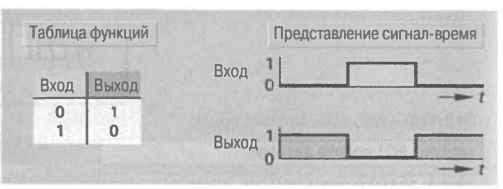


Рис. 397. Функция НЕ

Пример:

На ленточном транспортере, отходящем от накопителя заготовок, должен быть установлен датчик B3 (замыкающий контакт). Если этот датчик сообщает, что на ленте еще находится деталь, то уже невозможно достать из накопителя и переместить на транспортер следующую деталь (рис. 398).

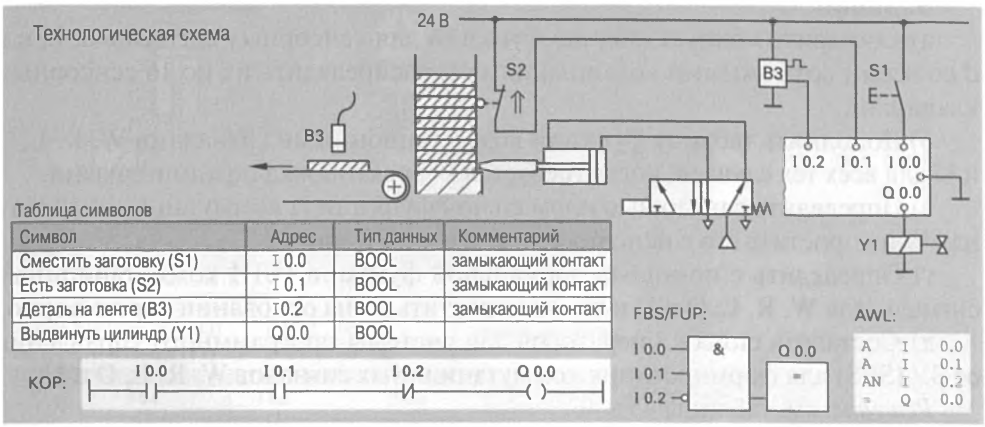


Рис. 398. Пример функции НЕ

Упражнение: Комбинаторная система управления.

Автоматизированный захват оснащен 16 тактильными сенсорными клавишами, размещенными в матрице 4 × 4 (рис. 399). Допустим, данный робот предназначен для захвата шаровых цапф. При этом включается — в зависимости от положения места захвата — одна из 16 сенсорных клавиш. В идеальном варианте это будет одна из четырех клавиш, размещенных по центру (рис. 400). Если при неблагоприятном захвате включается какая-нибудь крайняя сенсорная клавиша, то по управляющему сигналу W операция захвата должна быть выполнена повторно, а робот подлежит корректировке относительно чувствительной поверхности датчика: вправо (R) или влево (L), или вверх (O), или вниз (U) — с помощью сигналов R = 1 или L = 1 или O = 1 или U = 1.

Эти 16 тактильных сенсорных клавиш закодированы таким образом, что при касании двух верхних рядов датчиков получают сигнал a = 1; при касании двух левых рядов — сигнал b = 1; при касании двух средних вертикальных рядов — сигнал c = 1 и при касании двух средних горизонтальных рядов — сигнал d = 1 (рис. 379).

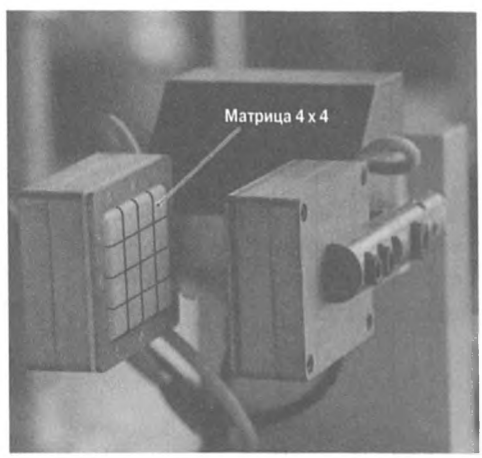


Рис. 399. Автоматизированный захват с тактильными датчиками в матрице 4 x 4

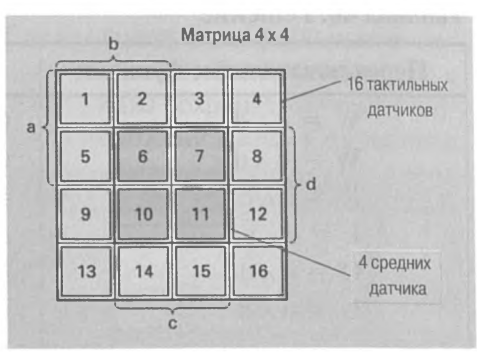


Рис. 400. Расположение тактильных датчиков

Задания

а) Составить полную таблицу функций для сенсорных сигналов a, b, c и d со всеми возможными комбинациями и распределить их по 16 сенсорным клавишам.

б) Дополнить таблицу функций коммутационными сигналами W, R, L, O и U для всех тех случаев, когда требуется корректировка позиции захвата.

в) Определить с помощью нормальной функции И коммутационный сигнал W и упростить его с использованием карты Карно.

г) Определить с помощью нормальной функции ИЛИ коммутационные сигналы для W, R, L, O и U и также упростить их на основании карты Карно.

д) Составить список операторов для системы программного управления от ЗУ (SPS) для формирования коммутационных сигналов W, R, L, O и U.

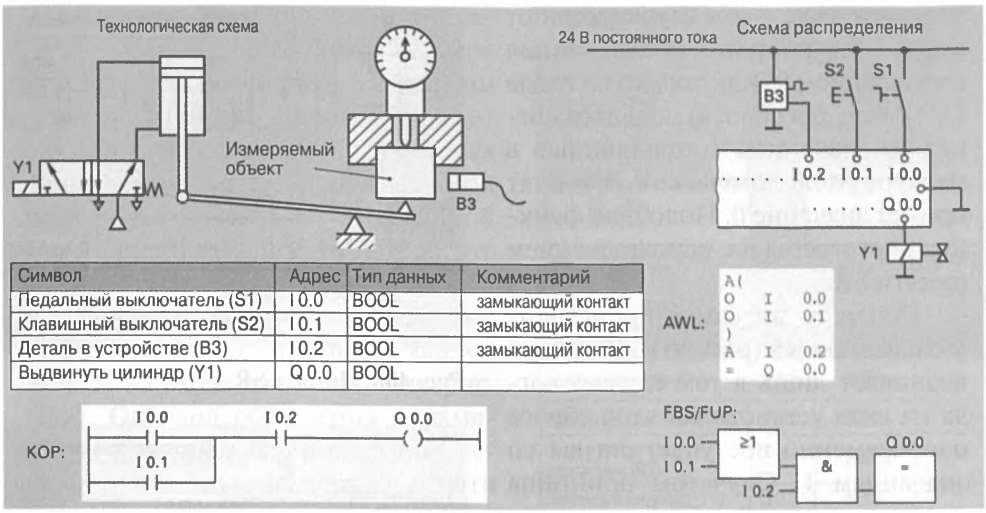
Решение: см. таблицы 45 и 46.

Таблица 45. Решение

a	B	C	d	Датчик №	W	R	L	0	U
0	0	0	0	16	1	1	0	0	1
0	0	0	1	12	1	1	0	0	0
0	0	1	0	15	1	0	0	0	1
0	0	1	1	11	0	0	0	0	0
0	1	0	0	13	1	0	1	0	1
0	1	0	1	9	1	0	1	0	0
0	1	1	0	14	1	0	0	0	1
0	1	1	1	10	0	0	0	0	0
1	0	0	0	4	1	1	0	1	0
1	0	0	1	8	1	1	0	0	0
1	0	1	0	3	1	0	0	1	0
1	0	1	1	7	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	5	1	0	1	0	0
1	1	1	0	2	1	0	0	1	0
1	1	1	1	6	0	0	0	0	0

Таблица 46. Решение

Переключательные функции	Список операторов			
$\overline{W} = c \wedge d$	: ON	C	: =	L
$W = \overline{c} \wedge \overline{d}$	: ON	d	: A	a
$R = \overline{b} \wedge \overline{c}$	: =	w	: AN	d
$L = b \wedge \overline{c}$	: AN	b	=	o
$O = a \wedge \overline{d}$	: AN	c	: AN	a
$U = \overline{a} \wedge \overline{d}$	: =	R	: AN	d
	: A	b	: =	U
	: AN	c	: xxx	



Символ	Адрес	Тип данных	Комментарий
Педальный выключатель (S1)	I 0.0	BOOL	замыкающий контакт
Клавишный выключатель (S2)	I 0.1	BOOL	замыкающий контакт
Деталь в устройстве (B3)	I 0.2	BOOL	замыкающий контакт
Выдвинуть цилиндр (Y1)	Q 0.0	BOOL	

Рис. 401. Измерительное устройство

Пример логической связи ИЛИ-перед-И. У измерительного устройства по рис. 401 движение цилиндра вперед может начинаться только после сообщения датчика B3 о том, что измеряемый объект заложен в устройство. Цилиндр выдвигается, как только будет дополнительно приведен в действие клавишный или педальный выключатель.

При сочетании разных двоичных элементов следует учитывать общепринятые правила вычислений. Так, «И-перед-ИЛИ» действительно в той же мере, что и правило «точка перед черточкой» в алгебре. Поэтому при связи «ИЛИ-перед-И» при программировании с AWL (список операторов) должны обязательно устанавливаться скобки (рис. 401).

Логический результат связи ИЛИ можно сохранять и в ячейках памяти, именуемых меркерами. Тогда при последующей связи будут запрашиваться именно эти меркеры. Меркеры обрабатываются, как выходы, только они не ведут «наружу», действуя по принципу вспомогательного контактора

2.8.3.2. Функции памяти SR/RS

Часто бывает необходимо сохранить кратковременный сигнал, для чего в системе программного управления от ЗУ используются специальные ячейки памяти — меркеры (рис. 402). Часть меркеров может быть установлена с возможностью самоудержания, то есть они способны сохранять соответствующее значение сигнала даже в обесточенном положении SPS. Сохранение сигналов реализуется обычно посредством основных двоичных связей (рис. 403).

Если на входе I 0.0 (вход для установки) на короткое время окажется сигнал со значением 1, то логическим результатом для меркера M0.0 будет 1, причем это со-

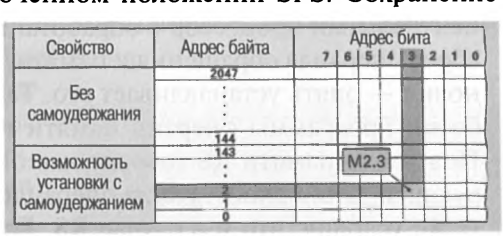


Рис. 402. Меркеры

хранится даже в том случае, если от входа I 0.0 поступит новый сигнал со значением 0. Как только на входе I 0.1 (вход для сброса) появится сигнал со значением 1, хранящийся в меркере M0.0 логический результат примет значение 0. Подобная функция достигается и с использованием памяти SR.

Почти то же самое происходит и с памятью RS (рис. 404). Различие возникает лишь в том случае, когда на вход установки и вход сброса одновременно поступает сигнал со значением 1. С учетом принципа последовательной обработки операторов центральный процессор с обработанным сначала входом для установки при SR устанавливает операнд обращения к памяти (меркер, выход, ...), но затем — при обработке возвратного входа — осуществляет его сброс (рис. 405). Тогда в остальной части обработки программы операнд обращения к памяти остается в сброшенном состоянии. Поэтому память SR принято считать «запоминающим устройством с доминирующим сбросом». Если операндом памяти является выход (Q), то эта кратковременная установка имеет место только в отображении процесса на выходах; что же касается относящегося сюда блока вывода, то на его выходе это никак не сказывается.

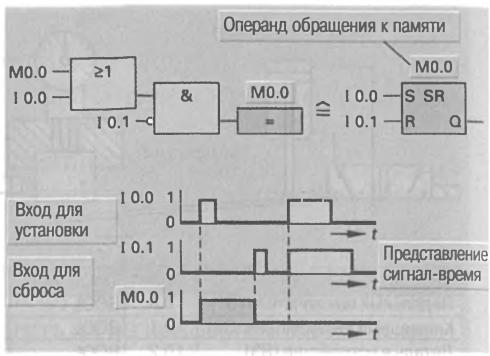


Рис. 403. Память SR

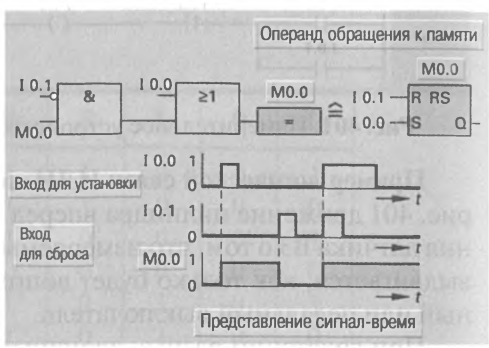


Рис. 404. Память RS

Рис. 405. Последовательная обработка и блокирование запоминающих устройств

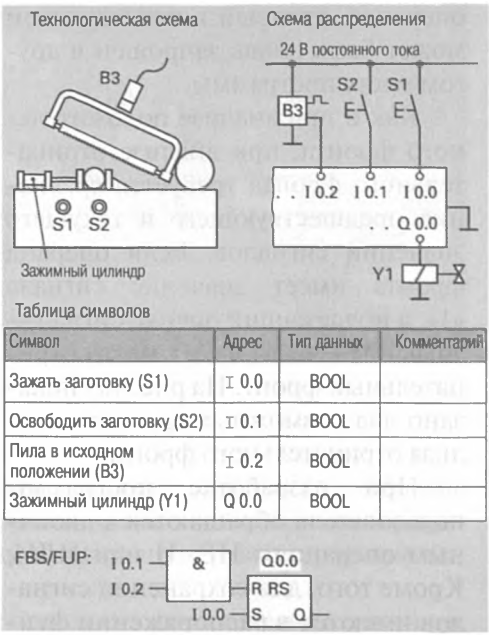
Если в случае памяти RS на вход установки и сброса одновременно поступает сигнал со значением 1, то центральный процессор с обработанным сначала входом сброса производит сброс операнда обращения к памяти, но затем — после обработки входа установки — опять устанавливает его. Таким образом, в оставшейся части обработки программы операнд памяти находится в установленном состоянии. Поэтому о памяти RS говорят как о «запоминающем устройстве с доминирующей установкой». Когда операндом памяти является выход, то действуют те же условия, что и в случае RS. Если необходимо, чтобы операнд памяти после выключения напряжения имел сигнал со значением 0, надо использо-

вать меркер без установленного самоудержания (адрес байта меркера > 143). Это различие в поведении при сохранении данных целесообразно используется в системах управления, когда, например, при сбое в работе автоматизированной установки требуется предотвратить ошибочное срабатывание.

Функции памяти могут взаимно блокироваться с помощью операции И на входе для установки (рис. 384). Операнд обращения к памяти устанавливается только при условии, что другой операнд памяти имеет сигнал со значением 0.

Пример:

При работе лучковой пилы производится пневматический зажим заготовки (рис. 406). Процесс зажима инициируется нажатием клавишного переключателя (S1), а для освобождения из зажима предусмотрена клавиша (S2). Однако прекращение зажима возможно только при условии нахождения пилы в исходном положении (B3).



Символ	Адрес	Тип данных	Комментарий
Зажать заготовку (S1)	I 0.0	BOOL	
Освободить заготовку (S2)	I 0.1	BOOL	
Пила в исходном положении (B3)	I 0.2	BOOL	
Зажимный цилиндр (Y1)	Q 0.0	BOOL	

Рис. 406. Пример памяти RS

Важными функциями памяти является сохранение с доминирующим сбросом (SR) и сохранение с доминирующей установкой (RS). В качестве операндов в большинстве случаев служат меркеры или выходы.

2.8.3.3. Анализ фронтов

На основе анализа фронтов регистрируется изменение значения сигнала, фронт сигнала. Положительный (нарастающий) фронт имеет место, когда сигнал переходит от значения 0 к значению 1. В противном случае говорят об отрицательном (спадающем) фронте (рис. 407). С помощью длительного сигнала формируется импульс, который в процессе выполнения программы в системе программного управления от ЗУ на протяжении одного цикла имеет значение «1». Поскольку во время каждого программного цикла значение сигнала результата двоичной связи сравнивается со значением сигнала результата предыдущей логической связи, могут иметь место определенные изменения. Поэтому в операнде фронта сохраняется результат выполненной логической операции предыдущего состояния.

На рис. 408 представлено два возможных варианта анализа положительного фронта. Значение сигнала между функцией И и функцией памяти SR сохраняется с помощью функции соединения в импульсном

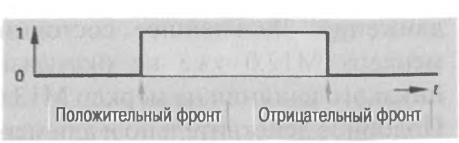


Рис. 407 Фронты сигналов

операнде, который в последующем может быть вновь запрошен в другом месте программы.

Как и при анализе положительного фронта, при анализе отрицательного фронта требуется сравнение предшествующего и текущего значений сигналов. Если операнд фронта имеет значение сигнала «1», а подлежащий оценке сигнал — значение «0», то имеет место отрицательный фронт. На рис. 409 показано два возможных варианта анализа отрицательного фронта.

При разработке программы пользователя обращаются к двоичным операциям НЕ, И или ИЛИ. Кроме того, для сохранения сигналов имеются в распоряжении функция SR, функция RS, функция распределения и функция соединения. Элементы анализа фронта находят применение также при программировании с целью сохранения сигналов.

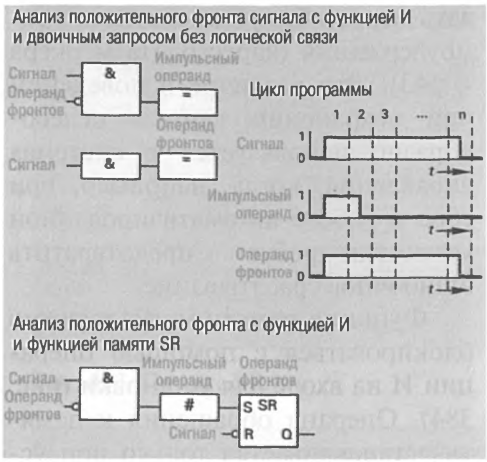


Рис. 408. Анализ положительного фронта сигнала

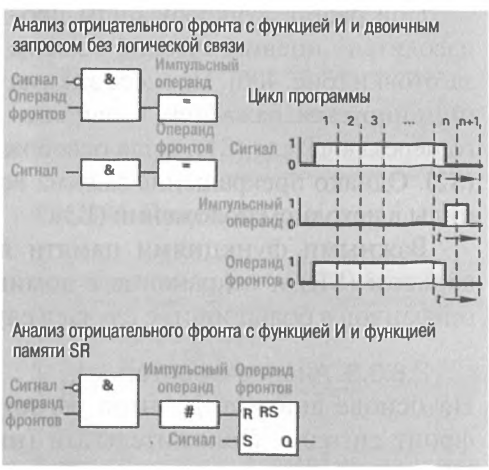


Рис. 409. Анализ отрицательного фронта сигнала

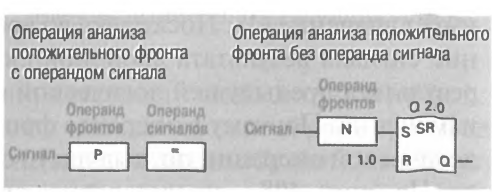


Рис. 410. Операторы для анализа фронтов сигналов

Пример: Анализ фронтов операнда.

При управлении лифтом требуется проверить, срабатывает ли кнопка вызова определенного этажа (рис. 411). Допустим, лифт стоит на втором этаже (вход I 124.1). При нажатии кнопки вызова на третьем этаже состояние сигнала в меркере M12.0 изменяется с 0 на 1 (положительный фронт). Меркер фронтов M12.1 посылает соответствующий импульс. Тогда устанавливается меркер M13.0, закрывается дверь лифта, после чего начинается его движение. Дальнейшее состояние меркера M12.0 уже не оказывает никакого влияния на меркер M13.0. Подобное действительно и для меркеров M10.0 и M10.1, когда кнопка вызова нажимается на первом этаже.

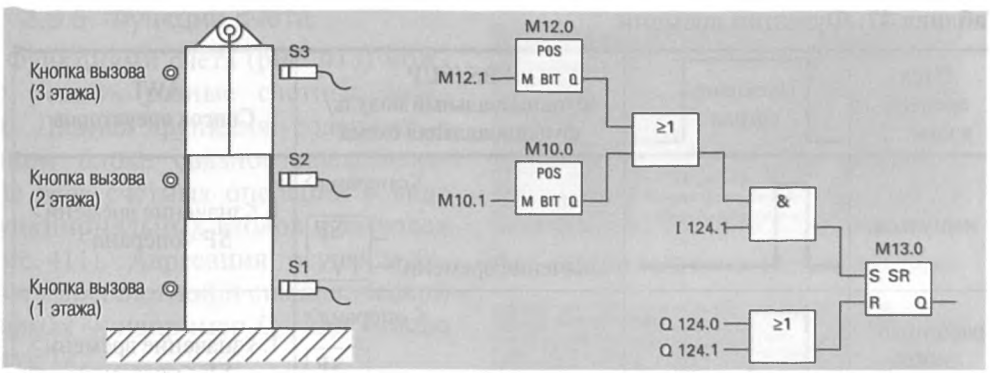


Рис. 411. Управление лифтом

2.8.4. Функции времени

С помощью функций времени удается реализовать программно-техническими средствами требуемые временные последовательности, как то: периоды ожидания и время контроля, измерение промежутка времени или формирование импульсов.

Функция времени включает в себя следующее: формирование импульса, расширение импульса, выдержка времени при включении, сохраняемое запаздывание при включении, выдержка времени при выключении (см. табл. 47).

Соответствующая временная функция запускается, когда логический результат связи изменяет свое состояние перед стартовым входом. При запаздывании выключения (SF) логический результат должен изменить свое значение с 1 на 0, а все прочие функции времени запускаются с изменением результата связи с 0 на 1. Установка заданного текущего значения времени осуществляется на входе TV.

Формат ввода определяется изготовителем. В системе S7-SPS продолжительность времени указывается как S5T#..h..m..s..ms, где означает: h = часов, m — минут, s — секунд, ms — миллисекунд (например, S5T#5s для продолжительности в 5 секунд). Показание текущего времени поступает на выход Q и может запрашиваться также двоичным функциональным входом. Выход Q не подлежит шунтированию.

Пример: листогибочный пресс (рис. 412).

При выполнении операций прессования, штамповки или резки металла существует повышенная опасность несчастных случаев. Во избежание этого часто прибегают к двухручному управлению с соответствующей временной характеристикой. Согласно нормам техники безопасности элементы двухручного управления с временной характеристикой настраиваются с таким расчетом, чтобы за 0,5 секунды срабатывали оба сигнальных датчика (рис. 390). Если в течение 0,5 секунды (500 миллисекунд) задействуются клавишные переключатели 1 и 2, листогибочный пресс может начинать работу. При нажатии только одной их этих клавиш и по истечении более 0,5 секунды до срабатывания второй клавиши сигнал со значением 1 функции истекшего времени T0 препятствует установке выхода Q 0.0. Только после отпуска обеих клавиш (сигнал со значением 0) можно вновь инициировать процесс запуска.

Таблица 47. Функции времени

Пуск времени в виде ...	Пусковой сигнал	FBS/FUP Функциональный модуль/ функциональная схема	AWL Список операторов
импульса		<операнд> SP <значение времени> TV	L <значение времени> SP <операнд>
расширенного импульса		< операнд> SE <значение времени> TV	L <значение времени> SE <операнд>
замедления включения		<операнд> SD <значение времени> TV	L <значение времени> SD <операнд>
сохраняемого замедления включения		<операнд> SS <значение времени> TV	L <значение времени> SS <операнд>
замедления выключения		<операнд> SF <значение времени> TV	L <значение времени> SF <операнд>

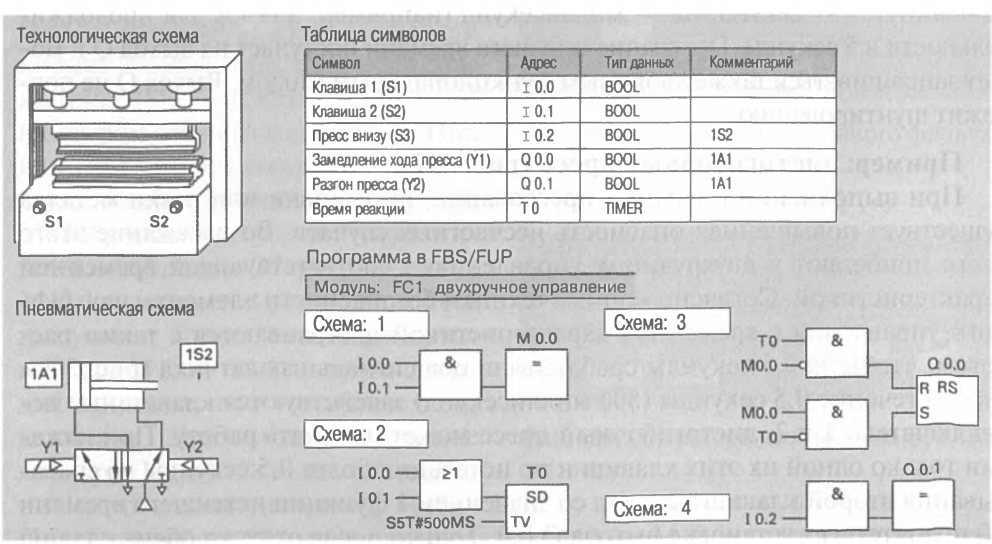


Рис. 412. Управление листогибочным прессом

2.8.5. Функции счета

С функциями счета (рис. 413) можно решать разные счетные задачи. Данная функция содержит в одном блоке связное представление всех счетных операций в виде функциональных входов и выходов (рис. 411). Адресация осуществляется в абсолютной и символической формах — например С4 или «число штук 1».

Рис. 413. Комплектная счетная функция

Рис. 414. Отдельные элементы функций счета

Счет в прямом направлении (**CU** от англ. to count up). Счет ведется в прямом направлении, если результат связи на входе CU меняется с 0 на 1 (положительный фронт). Каждая такая перемена повышает показание счетчика на одну единицу.

Счет в обратном направлении (**CD** от англ. to count down). Счет ведется в обратном направлении, если результат связи на входе CD меняется с 0 на 1 (положительный фронт). Каждая такая перемена понижает показание счетчика на одну единицу.

Установка заданного значения счета (**PV** от англ. programmed value — программируемое значение). При установке функция счета воспринимает значение, имеющееся на входе PV. Уставка счетного значения возможна в форме постоянной величины — например С#50 для показания счетчика 50.

Установка счетчика S. Счетчик устанавливается, когда результат связи перед входом установки S меняется с 0 на 1 (положительный фронт). «Установить счетчик» означает, что функция счета устанавливается на свое начальное значение (рис. 415).

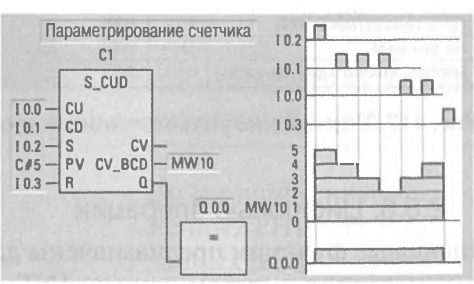


Рис. 415. Характеристика сигнала счетчика

Сброс счетчика R. Функция счета сбрасывается, когда на входе сброса R имеет место состояние сигнала 1. Сброс счетной функции устанавливает показание счетчика на «нуль».

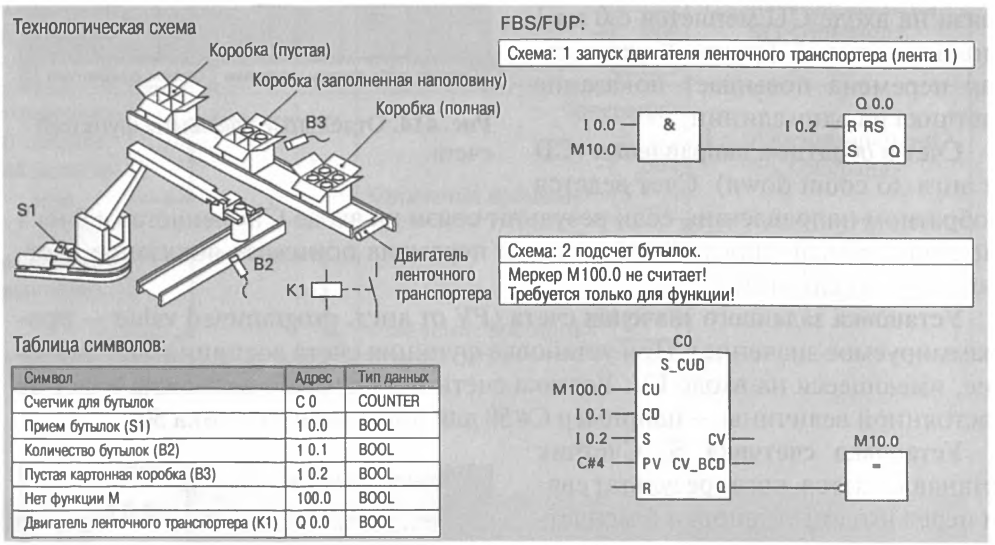
Запрос показаний счетчика CV/CV_BCD (CV от англ. counter — счетчик, value — значение). Выход CV предлагает текущее показание счетчика в двоично-кодированном виде, а выход CV_BCD — в двоично-десятично-кодированном виде (рис. 416).

Рис. 416. Сохранение показаний счетчика

Запрос показания счетчика Q. Выход Q проводит сигнал со значением 1, если текущее значение счета больше нуля.

Пример: Упаковочная установка (рис. 417).

В соответствующей позиции автоматической упаковочной установки автомат загружает в картонные коробки по 4 бутылки. Когда коробка полна, ленточный транспортер подает следующую пустую коробку. После ее заполнения счетчик устанавливается на 0, автомат готов к приему новой коробки, запускается двигатель ленточного транспортера и продолжает работать до тех пор, пока очередная пустая коробка не достигнет позиции заполнения (B3). При поступлении от датчика B3 сигнала со значением 1 показание счетчика устанавливается на 4. Каждый раз, когда на подающую ленту загружается бутылка, датчик B2 понижает показание счетчика на одно значение.



Символ	Адрес	Тип данных
Счетчик для бутылок	C 0	COUNTER
Прием бутылок (S1)	I 0.0	BOOL
Количество бутылок (B2)	I 0.1	BOOL
Пустая картонная коробка (B3)	I 0.2	BOOL
Нет функции M	100.0	BOOL
Двигатель ленточного транспортера (K1)	Q 0.0	BOOL

Рис. 417. Управление упаковочной установкой

2.8.6. Цифровые операции

Цифровые функции предназначены для обработки цифровых значений преимущественно с типом данных INT, DINT и REAL, расширяя тем самым функциональность системы программного управления от ЗУ.

Арифметические и математические функции

Большинство управляющих систем располагают арифметическими функциями (основные действия арифметики, см. табл. 48) и математическими функциями (тригонометрические функции, возведение в степень, извлечение корня и логарифмирование, см. табл. 49). Помимо этого, в наборе операций имеются еще функции сравнения, сдвига, преобразования и передачи.

Таблица 48. Арифметические функции

Функция	Представление	Описание
Сложение	ADD_I EN вычисляемое значение_1 — IN1 OUT — результат вычисляемое значение_2 — IN2 END	Суммирование двух переменных, тип данных INT, в функциональной схеме
Умножение	MUL_DI EN вычисляемое значение_1 — IN1 OUT — результат вычисляемое значение_2 — IN2 END	Умножение двух переменных, тип данных DINT, в функциональной схеме
Деление с частным в качестве результата	L вычисляемое значение_1 L вычисляемое значение_2 /R T результат	Деление двух переменных, тип данных REAL, в списке операторов

Таблица 49. Математические функции

Функция	Представление	Описание
Возведение в квадрат	SQR EN OUT — результат вычисляемое значение_2 — IN END	Возведение в квадрат переменной, тип данных REAL в функциональной схеме
sin	L PHI SIN L Ток *R L Напряжение *R L Мощность	Вычисление синуса переменных PHI (угол), тип данных REAL, в списке операторов. Угол задается в радианной мере
Экспоненциальная функция для основы *e*	EXP ... — EN OUT — результат показатель степени — IN END	Вычисление степени из *e* и показателя степени, тип данных REAL, в функциональной схеме

Функции загрузки и передачи

Речь идет о передаточных функциях системы программного управления от ЗУ, с помощью которых данные из источника загружаются в накопитель SPS и передаются по назначению.

В качестве накопителя служит рабочий регистр, который является частью центрального процессора и играет роль промежуточного ЗУ. Для источника и места назначения данных могут использоваться операнды длиной в байт, слово и двойное слово либо переменные в формате INT, DINT и REAL.

В языке программирования AWL (список операторов) функция загрузки состоит из операции L и числового операнда (см. табл. 50), причем данные из источника поступают сначала в накопитель. Функция передачи состоит из операции T и числового операнда. При этом информация из накопителя отправляется по месту назначения.

Таблица 50. Примеры команд загрузки и передачи в AWL

Команды загрузки	
Оператор	*Примечание*
L IB 10	Загрузка входного байта 10
L QW 124	Загрузка выходного слова 124
L PIW 128	Загрузка периферийного входного слова 128
L -27648	Загрузка целого числа -27648 (константа)
L DB20.DBW2	Загрузка из модуля данных 20 слова данных 2
Команды передачи	
Оператор	*Примечание*
T QB 124	Передать выходному байту 124
T PQW 130	Передать выходному слову периферии 128
T MW 100	Передать слову меркера 100
T DB10.DBD40	Передать модулю данных 10 двойное слово данных 40

В языке функционального модуля FBS/FUP функция загрузки и передачи отображается через MOVE-Box (рис. 418). Здесь содержатся команды и для загрузки, и для передачи. Данные, имеющиеся на входе IN, загружаются в накопитель и сразу же передаются операнду на выходе OUT. Вход EN и выход ENO могут быть исключены.

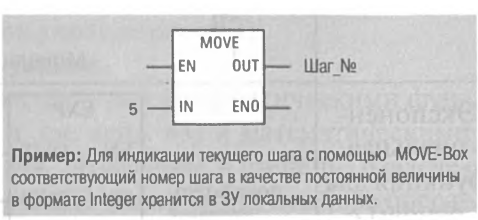


Рис. 418. Команда загрузки и передачи в FBS/FUP

Функции сравнения

С помощью этой функции сравниваются значения двух операндов одного типа данных (см. табл. 51). При этом результат сравнения может быть истинным или ложным и предлагается поэтому в виде булева значения. Производится сравнение на: больше чем, больше или равно, равно, не равно, меньше или равно и меньше чем. В качестве операндов выступают переменные в формате INT, DINT или REAL.

Таблица 51 Функции сравнения

GT	>	больше
GE	>=	больше или равно
EQ	==	равно
NE	<>	не равно
LE	<=	меньше или равно
LT	<	меньше

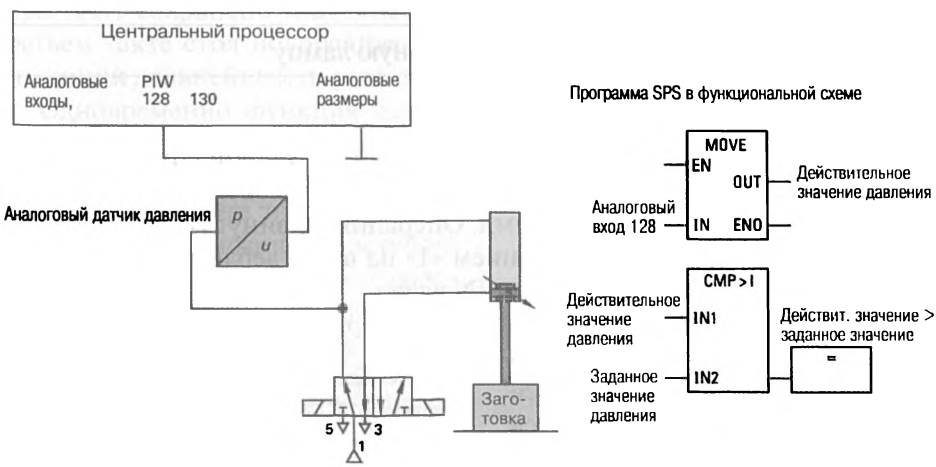


Рис. 419. Монтажная площадка

Пример 1: Рабочее место монтажника (рис. 419).

На монтажной площадке требуется выполнить зажим заготовок, прежде чем произвести необходимые рабочие манипуляции. Во избежание повреждений некоторые заготовки можно зажимать лишь с меньшим усилием, чем остальные. Поэтому с помощью аналогового датчика давления регистрируется текущее усилие зажима и сравнивается с заданным значением.

Пример 2: Рабочее место монтажника (рис. 419).

Если пневматическое давление падает ниже 5,5 бар, на это указывает вспыхнувшая сигнальная лампа.

Датчик: 0 10 бар $\triangleq$ 0 10 В.

Надо составить список операторов (см. табл. 52).

Таблица 52. Список операторов

Команда	Комментарий
LPIW 752	Считать аналоговое значение
ITD	Преобразовать в слово двойной длины
DTR	Преобразовать в действительное число
L 2.7648e3	Загрузить постоянную преобразования
/ R	Разделить
TMW0	Записать в MW
L 5.5	Загрузить заданное давление
< R	Сравнить
= Q 0.0	Включить сигнальную лампу

Функции сдвига

Функции сдвига предназначены для перемещения двоичной комбинации переменной на определенное число разрядов вправо или влево. Освободившиеся при этом позиции заполняются нулями. Операция «сдвинуть на 16 битов влево» активируется сигналом со значением «1» на входе деблокирования EN и по битам сдвигает биты 0–15 от входа EN влево.

Вход N показывает, на сколько двоичных разрядов был произведен сдвиг. Если N больше 16, команда записывает 0 на входе OUT. Освободившиеся справа позиции битов заполняются нулями. Результат операции сдвига можно запросить с помощью выходного параметра OUT.

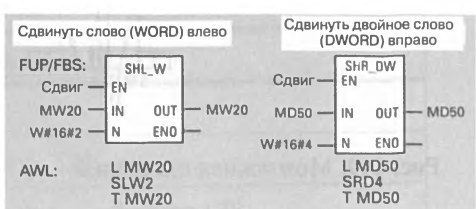


Рис. 420 Функции сдвига

Функции сдвига влево или вправо могут быть реализованы также путем умножения или деления в степени двух. Так, операция «сдвинуть на два разряда влево» может быть заменена умножением на 4. Функция «сдвинуть на четыре разряда вправо» успешно заменяется делением на 16.

Пример: Круглый делительный стол.

Круглый делительный стол является частью технологической линии. В позиции передачи предварительно просверленные заготовки передаются дальше обрабатываю-

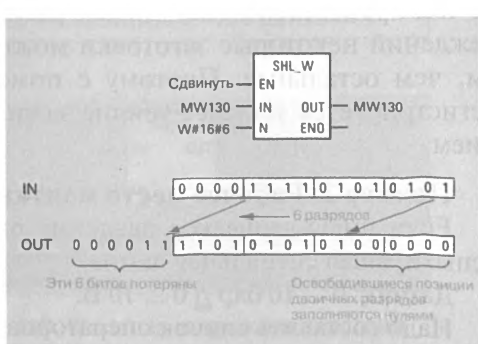


Рис. 421. Сдвиг слова влево

щим механизмом. На первом такте стол поворачивается к контрольному устройству, которое проверяет, правильно ли просверлена заготовка и годится ли она для следующей операции обработки — развертыванию. Если все в порядке, то эта информация сохраняется в бите 0 слова MW100 со значением 0. Если заготовка просверлена неудовлетворительно, то в бите 0 слова MW100 запоминается значение 1. При следующем тактовом шаге стол поворачивает заготовку для выполнения операции развертывания. Одновременно с помощью функции сдвига SHL (сдвиг бита на один разряд влево) содержимое бита меркера 100.0 передается биту 100.1. Обработка «развертывание» не выполняется, если в бите меркера 100.1 сохранено значение. На третьем такте стол поворачивается к позиции дальнейшей передачи.

Одновременно функция сдвига SHL инициирует передачу содержимого бита 100.1 биту 100.2. И только если там сохранено значение 0, заготовка из этой позиции поступает на следующую станцию производственной установки. В противном случае на пульте управления появляется предупреждение о дефектной заготовке. Тогда она изымается, а стол после квитирования продолжает свое движение в тактовом режиме.

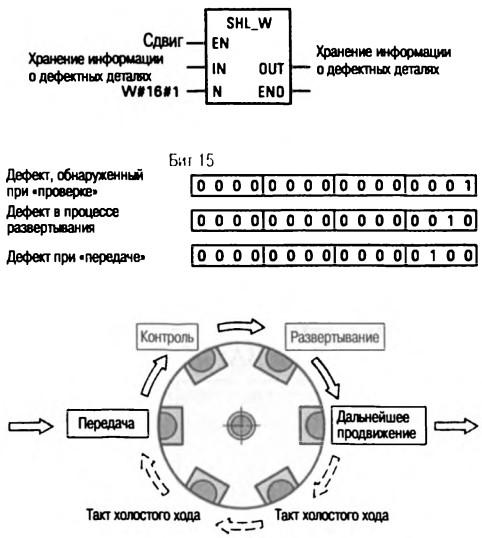


Рис. 422. Круглый делительный стол

2.8.7. Системы автоматического программного управления

2.8.7.1. Структурирование и представление

С целью придания программе наглядной формы, облегчающей ее понимание не только самим составителем, прибегают к так называемому структурированному способу программирования (см. табл. 53). При этом программу разбивают на отдельные схемы, каждая из которых содержит одну связную древовидную логическую цепь. Несколько таких схем, близких по содержанию, могут затем объединяться в функции (FC). В организационном модуле OB1 устанавливается порядок прохождения запросов отдельных функций, снабженных соответствующим текущим номером (xx). Для особо сложных функциональных блок-схем создатели определенных систем управления предусматривают также уже готовые программные модули, функции (FC) и функциональные модули (FB), которые могут быть дополнены еще только по ряду параметров.

Таблица 53. Структурированное программирование

Разделение на схемы		Задачи
Организационный модуль OB 1 Вызов модуля BA: FC 1		Режимы работы пуск, останов автоматический режим ручной режим
⇓	схема 1 схема 2 ⋮ схема xx	
Конец модуля BE: Вызов модуля BA: FC 2		Последовательность выполнения операций условия переключений
⇓	схема 1 схема 2 ⋮ схема xx	
Конец модуля BE: Вызов модуля BA: FC 3		Вывод команд команды управления
⇓	схема 1 схема 2 ⋮ схема xx	
Конец модуля BE: Вызов модуля BA: FC 4		Сообщения Диагностика
⇓	схема 1 схема 2 ⋮ схема xx	
Конец модуля BE:		

Для проверки комплектных программ или отдельных их сегментов вместе с управляющей системой изготовитель поставляет обычно и программное обеспечение SPS (как составную часть программирующих программ), действующее по принципу реального программного управления от ЗУ. Это позволяет осуществлять непосредственное наблюдение за программой в режиме online еще до того, как будет скомпонована сама система управления.

Системы управления располагают в большинстве случаев двумя режимами работы — автоматическим и шаговым (одноцикловым), для чего программируются специальные модули.

Модуль последовательности выполнения операций содержит для каждого режима управления так называемый меркер шагов и переключательную функцию с условиями последовательного включения для установки каждого

следующего шага. Это условие последовательного включения называют также переходом.

Модуль вывода команд содержит команды вывода, которые зависят от отдельных шагов и текущего рабочего режима. Этим модулем управляются относящиеся сюда исполнительные органы.

В модуле сообщений/диагностики определяются переключательные функции, сообщающие о возможных нештатных ситуациях и сбоях в работе.

Представление систем программного управления осуществляется на основе блок-схемы программы согласно нормам ДИН 40 719 Т6, ДИН 61 131-3 или МЭК 1131-3. При этом отдельные шаги отображаются в виде квадратов (рис. 423), а начальный шаг отмечается квадратом с двойной рамкой. Шаги соединяются направляющими линиями, переходы обозначены поперечными штрихами на этих линиях. В прямоугольниках рядом с каждым условным обозначением шага указаны относящиеся сюда действия/команды.

Каждый шаг *n* содержит в качестве центрального функционального элемента собственный шаговый меркер, устанавливаемый функцией памяти SR (рис. 424).

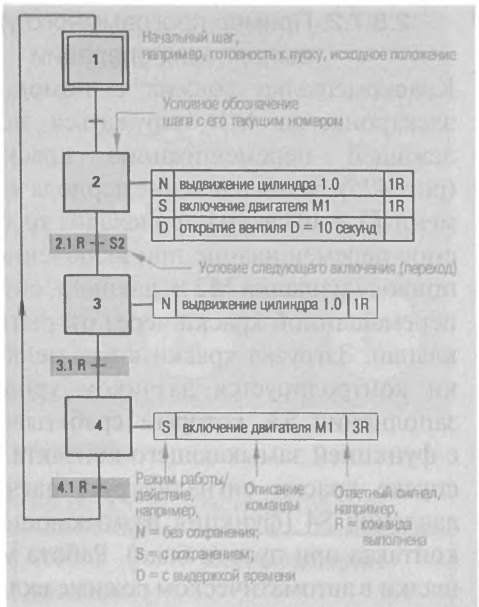


Рис. 423. Представление программного управления последовательностью операций согласно нормам ДИН 40 719 Т6

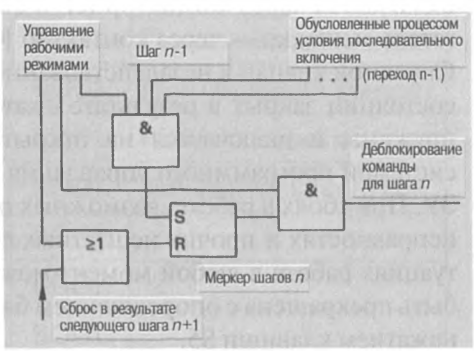


Рис. 424. Структура шага

Шаговый меркер может устанавливаться только при условии установки предыдущего шага *n*-1 И выполнения условия последовательного включения.

Условия последовательного включения вытекают, с одной стороны, из самого процесса (например, уровня заполнения) и, с другой стороны, из управления рабочими режимами. Так, в автоматическом режиме работы один шаг следует за другим, если выполнены зависимые от процесса условия последовательного включения. В пошаговом рабочем режиме последовательное включение возможно только при условии, что выполнение следующего шага инициируется нажатием клавиши. Сброс содержимого меркера шагов происходит при установке меркера *n*+1 следующего шага ИЛИ при выключении работы в соответствии с заданной программой и возвращении в исходное положение либо при необходимости перехода к другому шагу.

2.8.7.2. Пример программного управления последовательностью выполнения операций

Краскомешалка должна с помощью электронасоса M1 загружаться подлежащей перемешиванию краской (рис. 425). Затем в течение периода времени T1 = 10 секунд происходит требуемое перемешивание при включенном приводе мешалки M2 и, наконец, спуск перемешанной краски через открытый клапан. Загрузка краски в бак мешалки контролируется датчиком уровня заполнения S3, который срабатывает с функцией замыкающего контакта. О спуске краски сигнализирует датчик давления S4 (функция размыкающего контакта при пустом баке). Работа мешалки в автоматическом режиме включается через клавишный переключатель S1 (замыкающий контакт) и выключается клавишей S2 (функция размыкающего контакта). Двигатель насоса включается через контактор K1, а двигатель мешалки — через контактор K2. Спускной клапан в незадействованном состоянии закрыт в результате сжатия пружины и включается на открытие системой программного управления от ЗУ. При сбоях в работе, возможных неисправностях и прочих нештатных ситуациях работа в любой момент может быть прекращена с опорожнением бака нажатием клавиши S5.

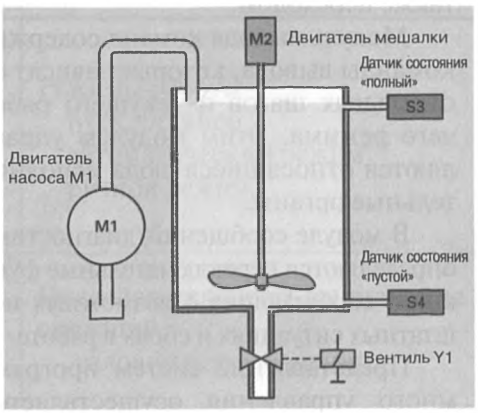


Рис. 425. Краскомешалка

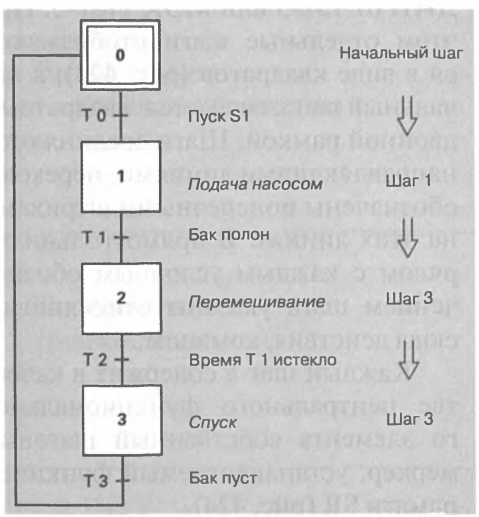


Рис. 426. Программируемый цикл согласно МЭК 1131-3

Для составления требуемой схемы был разработан программируемый цикл согласно нормам МЭК 1131-3 (рис. 426). Блок-схема программы начинается соответственно с начального рабочего шага, позиционируемого как исходное положение устройства. В этом исходном положении бак должен быть абсолютно пуст.

За указанным начальным шагом следуют шаги: «подача краски насосом», «перемешивание» и «спуск». Если устройство не находится в позиции начального шага, то его придется установить вручную (S5).

После составления блок-схемы программы переходим к электромонтажной схеме (рис. 427). Здесь все имеющиеся входы надо отнести к соответствующим выключателям и датчикам, а выходы — к исполнительным элементам (см. табл. 54).

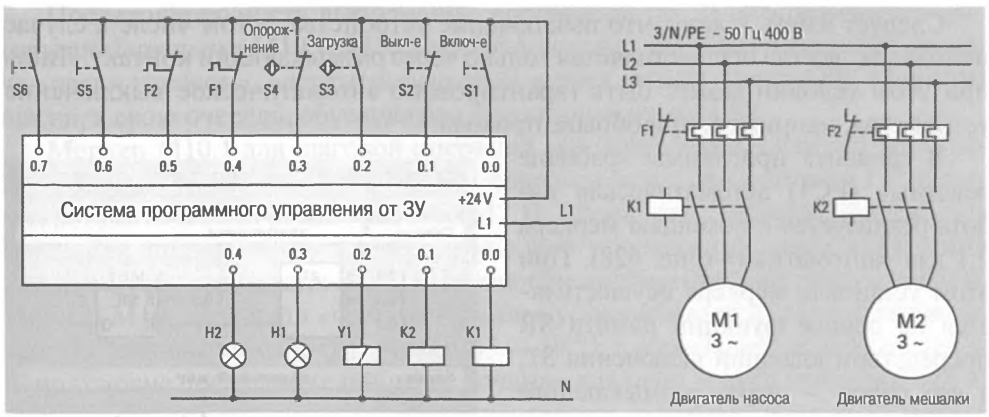


Рис. 427. Электромонтажная схема краскомешалки

Таблица 54. Таблица символов для управления работой краскомешалки

Символ	Адрес	Тип данных	Комментарий
Клавиша включения (S1)	I 0.0	BOOL	Замыкающий контакт
Клавиша выключения (S2)	I 0.1	BOOL	Размыкающий контакт
Датчик уровня заполнения (S3)	I 0.2	BOOL	Замыкающий контакт
Реле давления (S4)	I 0.3	BOOL	Размыкающий контакт
Перегрузка двигателя M1 (F1)	I 0.4	BOOL	Размыкающий контакт
Перегрузка двигателя M2 (F2)	I 0.5	BOOL	Размыкающий контакт
Опорожнить бак (S5)	I 0.6	BOOL	Замыкающий контакт
Автоматический режим работы	M 2.1	BOOL	
Основной шаг	M 2.2	BOOL	
Спустить краску	M 2.3	BOOL	
Шаг 1	M 10.1	BOOL	Подача насосом
Шаг 2	M 10.2	BOOL	Перемешивание
Шаг 3	M 10.4	BOOL	Спуск краски
Контактор двигателя M1 (K1)	Q 0.0	BOOL	
Контактор двигателя M2 (K2)	Q 0.1	BOOL	
Спустить краску (Y1)	Q 0.2	BOOL	Клапан
Неисправность (H1)	Q 0.3	BOOL	Сигнальная лампа
Продолжительность перемешивания	T 1	TIMER	

Следует иметь в виду, что выключение устройства, в том числе в случае неполадок, всегда осуществляется только через размыкающий контакт. Лишь при этом условии может быть гарантировано автоматическое выключение устройства, например, при обрыве провода.

В сегменте программы «рабочие режимы» (FC1) автоматическая работа реализуется с помощью меркера 2.1 для «автоматики» (рис. 428). При этом установка меркера осуществляется на основе функции памяти SR посредством клавиши включения S1, а его сброс — через размыкающий контакт клавиши выключения S2. Чтобы этот выключатель срабатывал при размыкании, вход R должен включаться через инвертированный сигнал. Поскольку устройство будет останавливаться и при срабатывании тепловых реле F1 и F2, эти размыкающие контакты должны быть связаны через элемент ИЛИ с размыкающими контактами клавиши выключения. Благодаря связи ИЛИ размыкающих контактов на выходе элемента ИЛИ образуется значение 1, когда срабатывает один либо несколько размыкающих контактов.

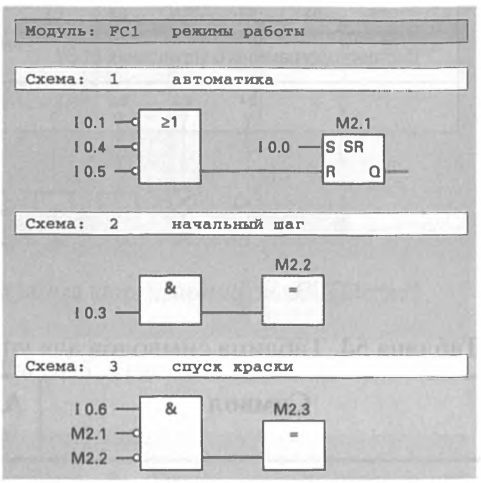


Рис. 428. Программный блок «режимы работы»

Начальный шаг (M 2.2) также относится к режимам работы. Он всегда имеет место, когда бак пуст (реле давления S4 не включено). Начальный шаг не подлежит сохранению во избежание создания опасных ситуаций. Если требуется изменить исходное положение после установки меркера, то это можно сделать без каких-либо последствий для установленного программного цикла. В случае прерывания цикла работы краскомешалки можно нажатием клавиши S5 перевести ее в режим «спуска краски» (M 2.3). Этот режим сохраняется, пока бак пуст, то есть пока реле времени не разомкнет выключатель S4, и не будет достигнута позиция начального шага.

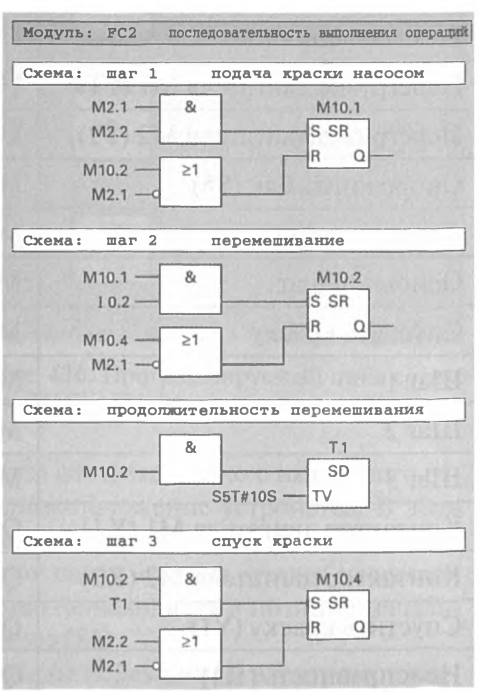


Рис. 429. Программный блок «последовательность выполнения операций»

Последовательность выполнения программы (FC2) обеспечивается шаговыми меркерами M10.1, M10.2 и M10.4 для трех шаговых операций: «подача краски насосом», «перемешивание» и «спуск краски» (рис. 429). Меркеры шагов, в свою очередь, обусловлены функциями памяти SR.

Меркер M10.1 для шаговой операции «подача краски насосом» устанавливается, когда начальный шаг M2.2 проводит сигнал со значением 1 И включен автоматический режим работы (M2.1). Сброс этого меркера происходит, когда бак полон, то есть имеется условие последовательного включения для шага «перемешивание» ИЛИ выключен автоматический режим работы. Меркер M10.2 для шага «перемешивание» устанавливается, если установлен шаг «подача насосом» И бак полон (S3 → 10.2), а сбрасывается, когда выполнено условие последовательного включения для шага «спуск краски» (M10.4) ИЛИ выключен автоматический режим работы. Шаговый меркер M10.4 для операции «спуск краски» устанавливается, если установлен шаг «перемешивание» И истекло время перемешивания T1 = 10 секунд. Сброс этого меркера осуществляется при достижении начального шага (бак пуст) ИЛИ при выключенном автоматическом режиме работы.

Сегмент программы «вывод команд» (FC3) в данном примере весьма прост (рис. 430). Сигнал вывода для включения насоса (K1) формируется на основе того, что шаговый меркер M10.1 с тождественностью распределяется выходу Q 0.0. Равным образом формируется сигнал вывода для включения двигателя краскомешалки (K2), а именно: шаговый меркер M10.2 с тождественностью распределяется выходу Q 0.1. Включение спускного клапана посредством Q 0.2 осуществляется посредством шагового меркера M10.4 ИЛИ в рабочем режиме «спуск краски».

Рис. 430. Программный блок «вывод команд»

Для целей сигнализации и диагностики (FC4) в этом простом примере достаточно включения сигнальной лампы H1, когда один ИЛИ оба автомата защиты двигателя обнаруживают перегрузку двигателя (рис. 431). Все сегменты программы записаны в виде функций (FC), поскольку они представляют собой повторяющиеся функции процесса автоматизации. Исходя из организационного модуля OB1, создающего сопряжение с операционной системой программного управления от ЗУ, сегменты программы могут запрашиваться в твердо установленной последовательности, например call FC1, call FC2, call FC3, call FC4 (англ. call — вызов).

Рис. 431. Программный блок «сообщения»

Таким образом, системы автоматического программного управления обычно разбиваются на сегменты: «режимы работы», «последовательность выполнения операций», «вывод команд» и «сообщения». Это делает программы более наглядными и удобными в исполнении.

2.8.7.3. Программирование на уровне цепочки шагов

Составленная с применением этого языка программа очень напоминает уже рассмотренную выше блок-схему программы согласно ДИН 40 719 Т6 (рис. 432), где каждый шаг инициирует выполнение одного или нескольких действий. Переход от одного шага к другому определяется условием последовательного включения (переходом). Попробуем на примере все той же краскомешалки более подробно рассмотреть данный способ программирования.

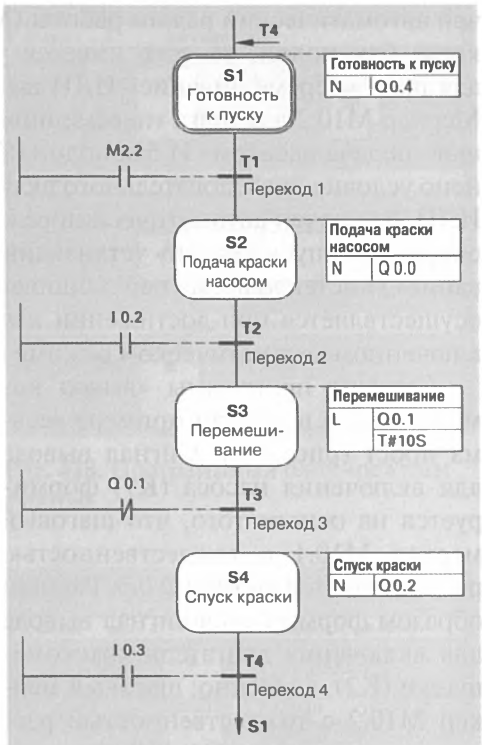


Рис. 432. Программа управления работой краскомешалки

С активизацией начального шага S1 вся цепочка подлежащих выполнению шаговых операций готова к пуску, что и показывает световой сигнализатор Н2 (Q 0.4). Как только меркер М2.2 (основной шаг) получает сигнал со значением 1, выполняется переход Т1 и активизируется шаг S2. Когда датчик уровня заполнения S3 сообщает о заполнении бака, переход Т2 деблокирует шаг S3, который должен на 10 секунд включить двигатель краскомешалки. Такая уставка достигается с помощью команды типа L (от англ. limited — ограниченный; здесь — временной). После отключения привода краскомешалки выполняется переход Т3 и осуществляется спуск краски. При опустевшем баке переход Т4 (реле давления S4 с сигналом 0) деблокирует возврат к начальному шагу S1.

Чтобы эту систему управления можно было запрограммировать по цепочкам шагов согласно норме МЭК 1131-3, необходимо — в отличие от языка на уровне функциональных схем и функциональных модулей (FBS/FUP) — внести некоторые изменения в организационный модуль OB1 и в таблицу символов. Сегменты программы «последовательность операций» (FC2) и «вывод команд» (FC3) соединены в цепочку в соответствии с рассматриваемым языком программирования, так что все шаговые меркеры становятся избыточными (см. табл. 55). Сегмент программы «сообщения» (FC4) встроен в организационный модуль. Последовательность выполне-

ния программы управляется функциональным модулем (FB1) с относящимся к нему модулем данных (DB1) (рис. 433). Управление режимами работы берет на себя функциональный модуль, так что соответствующий сегмент программы (FC1) здесь более не требуется. Системная функция SFC 64 управляет тактовыми импульсами функционального модуля. Указанный модуль данных содержит всю информацию, необходимую для выполнения запрограммированной цепочки шагов. Функциональный модуль FB1 является составной частью программного обеспечения для программирования, пользователю остается его только параметрировать. У символа FB слева приведены все входы, а справа — все выходы, которые могут при этом потребоваться. Но понятно, что при этом не обязательно распределять абсолютно все имеющиеся входы и выходы.

Клавишей включения S1 устанавливается меркер M0.1 в схеме 1, что вызывает включение функционального модуля FB1 с переводом его в основное положение, после чего активизируется начальный шаг.

Меркер M0.2 имеет сигнал со значением 1, когда приводится в действие клавишный переключатель S2 ИЛИ хотя бы срабатывает реле защиты двигателя от перегрузки. Меркером M0.2 (сигнал со значением 1) производится выключение запрограммированной цепочки шагов, поскольку сигнал меркера инвертируется на входе OFF_SQ функционального модуля FB1. Основной шаг и сигнал перегрузки двигателя программируются на языке FBS/FUP (функциональный модуль/функциональная схема) — так же, как без применения языка программирования по принципу цепочки шагов.

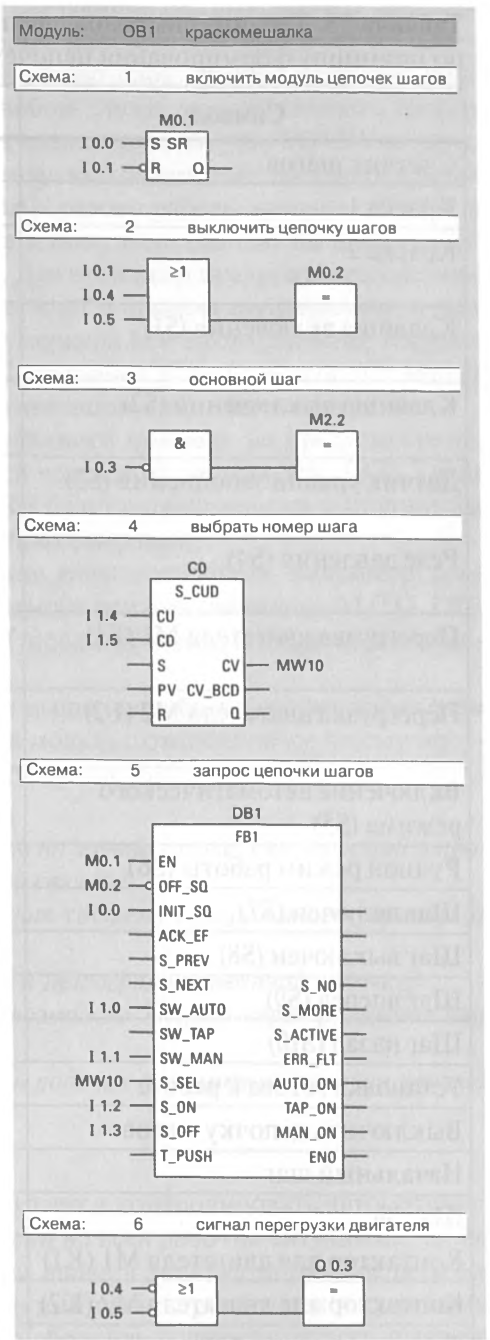


Рис. 433. Управление краскомешалкой на уровне организационного модуля OB1

Таблица 55. Таблица символов для программирования управления мешалкой по принципу формирования цепочек шагов

Символ	Адрес		Тип данных	Комментарий
Счетчик шагов	C	0	COUNTER	
Краска 1	DB	1	FB 1	
Краска 2	FB	1	FB 1	Модуль цепочек шагов
Клавиша включения (S1)	I	0.0	BOOL	Замыкающий контакт
Клавиша выключения (S2)	I	0.1	BOOL	Размыкающий контакт
Датчик уровня заполнения (S3)	I	0.2	BOOL	Замыкающий контакт
Реле давления (S4)	I	0.3	BOOL	Размыкающий контакт
Перегрузка двигателя M1 (F1)	I	0.4	BOOL	Размыкающий контакт
Перегрузка двигателя M2 (F2)	I	0.5	BOOL	Размыкающий контакт
Включение автоматического режима (S5)	I	1.0	BOOL	Замыкающий контакт
Ручной режим работы (S6)	I	1.1	BOOL	
Шаг включен (S7)	I	1.2	BOOL	
Шаг выключен (S8)	I	1.3	BOOL	
Шаг вперед (S9)	I	1.4	BOOL	
Шаг назад (S10)	L	1.5	BOOL	
Установка готова к работе	M	0.1	BOOL	
Выключить цепочку шагов	M	0.2	BOOL	
Начальный шаг	M	2.2	BOOL	
Шаг №	MW	10	INT	
Контактор для двигателя M1 (K1)	Q	0.0	BOOL	
Контактор для двигателя M2 (K2)	Q	0.1	BOOL	
Спустить краску (Y1)	Q	0.2	BOOL	Клапан
Неисправность (H1)	Q	0.3	BOOL	Сигнальная лампа
Устройство готово (H2)	Q	0.4	BOOL	
TIME TCK	SFC	64	SFC 64	Время доступа

Функциональный модуль предлагает следующие режимы работы: автоматический, стартстопный и ручной, которые пользователь выбирает по своему усмотрению. Эти рабочие режимы взаимно блокируются функциональным модулем таким образом, чтобы в любом случае мог действовать только один режим. С помощью S5 можно через вход модуля SW_AUTO (SW от англ. switsh — выключатель) включить автоматический режим работы. Посредством S6 выбирается через вход модуля SW_MAN режим работы вручную. Чтобы в этом режиме активизировать какое-то действие, надо сначала выбрать номер требуемого шага на входе модуля S_SEL. Для этой цели предусмотрен счетчик C0, который при использовании S9 ведет счет в прямом направлении, а при S10 — в обратном направлении. В слове меркера MW10 сохраняется текущее счетное значение, то есть номер шага. С помощью S7 выбранный шаг может быть активизирован, а с помощью S8 активизация может быть отменена.

Работа в стартстопном режиме для данного примера не предусмотрена. Но, в принципе, этот режим включается через вход модуля SW_TAP. Тогда при каждом срабатывании входа T_PUSH будет автоматически выполняться один шаг из цепочки запрограммированных операций.

Через входы функционального модуля можно включать, например, световые сигналы для того или иного активного режима работы — AUTO_ON, TAP_ON и MAN_ON. Выход ERR_FLT предназначен для индикации неисправности.

При программировании описанным выше способом в организационном модуле запрашивается функциональный модуль с относящимся к нему модулем данных, которые и берут на себя управление циклом работы.

Повторение и закрепление материала

1. *В чем различие между управлением на уровне логических операций и программным управлением с обратной связью?*
2. *На какие модули обычно разделяют систему программного управления последовательностью операций?*
3. *Какова структура каждого шага в запрограммированной цепочке?*
4. *Почему выключение установки возможно только через размыкающий контакт?*
5. *Каков принцип программирования рабочих режимов на уровнен цепочек шагов?*

2.8.7.4. Сигналы рабочих режимов

С помощью сигналов режимов работы удается контролировать автоматическое программное управление практически во всех рабочих ситуациях. Чтобы система программного управления при вводе в эксплуатацию имела однозначную позицию на входе, необходимо инициализировать цепочку рабочих шаговых операций. С этой целью надо сбросить содержимое всех шаговых меркеров — за исключением запоминающей ячейки для шага 1. Если последовательность операций программируется с применением памяти SR, то сигнал общего сброса (возврата в начальное положение) должен воздействовать на установочный вход шага 1 (шаг инициализации), и одновременно этот сигнал при всех прочих шаговых меркерах подается посредством логической

операции ИЛИ (наряду с другими сигналами) на вход Reset (рис. 434). Помимо прочего, сигнал сброса используется также для возврата в исходное состояние сохраненных выходных сигналов.

Для последовательного переключения с одной операции на другую устанавливается меркер шага *n*, если известно, что меркер шага *n-2* имеет сигнал со значением «0», а меркер шага *n-1* — сигнал рабочего режима со значением «1» (рис. 435).

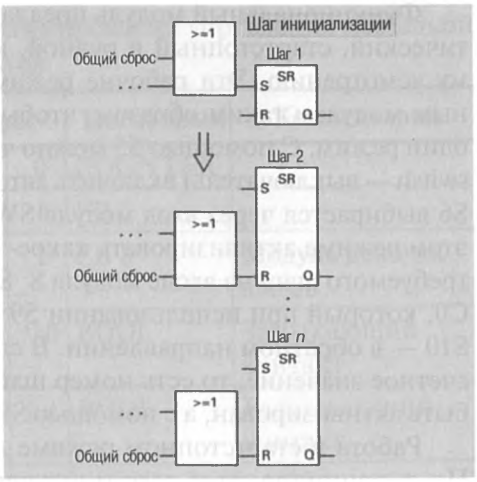


Рис. 434. Инициализация последовательности выполнения операций

Если был выбран сигнал рабочего режима «последовательное включение с условием» (W_m_B), то в логической операции И действует условие последовательного включения с сигналом W_m_B. Сигнал последовательного включения W_m_B применяется в большинстве случаев для деблокирования автоматического режима.

Это означает автоматическое последовательное включение шагов после выполнения соответствующего условия. Кроме того, сигнал W_m_B может использоваться в сигнальном сегменте программного управления для индикации автоматического режима работы.

При вводе в эксплуатацию или при сбоях в работе установки часто бывает необходимо осуществить определенный шаг в последовательности операций — без выполнения требуемого условия последовательного включения. Для этого служит сигнал рабочего режима «последовательнее включение без условия» (W_o_B).

Режим W_o_B можно также обозначить как «ручной режим работы», поскольку пользователь действует здесь вручную, вмешиваясь в процесс управления без условия последовательного включения. Сигнал W_o_B должен быть, в принципе, импульсным сигналом, поскольку он в качестве сохраненного сигнала способен вызвать неконтролируемое выполнение операций.

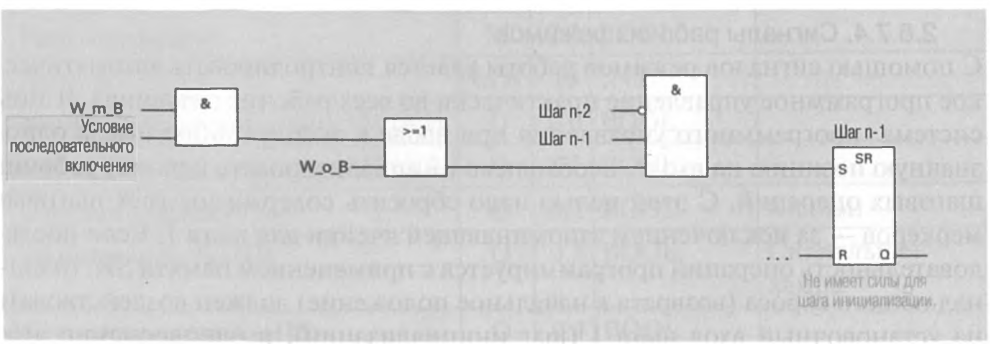


Рис. 435. Последовательное включение с условием или без условия

2.8.7.5. Функциональный модуль для рабочих режимов

Сегмент программы для переключения режимов работы при автоматическом программном управлении представляет собой соединение между пультом управления и запрограммированной последовательностью выполнения шаговых операций. Поскольку почти все системы программного управления располагают разными режимами работы, представляется целесообразным создать для них специальный функциональный модуль, пригодный для работы с библиотечными программами (рис. 436).

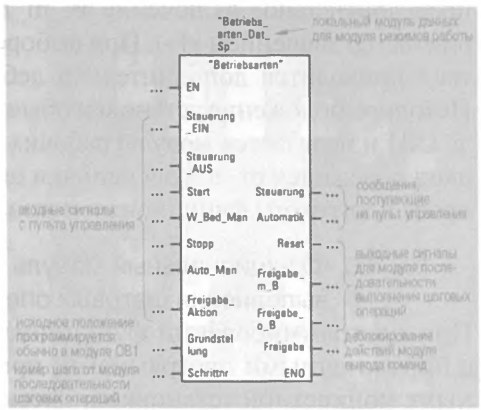


Рис. 436. Функциональный модуль для режимов работы

В сегменте режимов работы программируется в большинстве случаев память SR для включения и выключения управления. Кроме того, с помощью входного сигнала выбирается режим автоматический (сигнал со значением «1») или ручной (сигнал со значением «0»). Пусковой сигнал используется для того, чтобы запустить автоматический режим или выполнение какой-либо операции в ручном режиме. Сигнал останова заканчивает автоматическую работу, то есть процесс останавливается по достижении установкой ее исходного положения (начальной позиции).

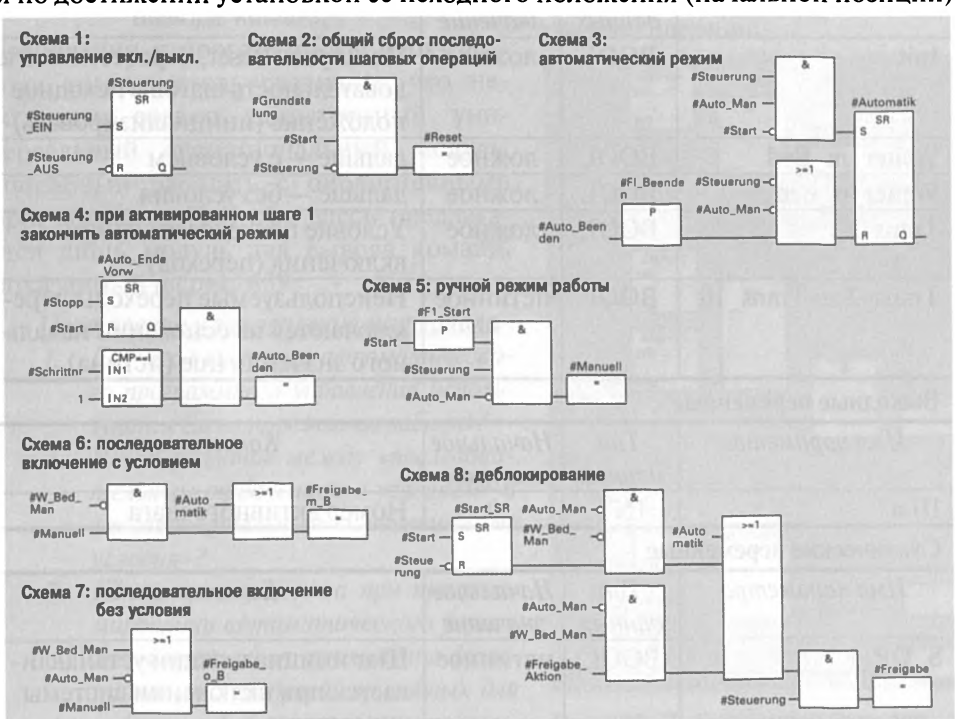


Рис. 437. Сегмент программы для рабочих режимов

С помощью еще одного входного сигнала (W_Bed_Man) выбирается ручное последовательное включение W_m_B (сигнал со значением «0») или W_o_B (сигнал со значением «1»). При выборе режимного сигнала W_o_B каждое действие приходится дополнительно деблокировать (операция деблокирования). Исходное положение установки обычно описывается в организационном модуле OB1 и передается модулю рабочих режимов в виде входного сигнала. Номер шага передается от модуля цепочки шагов. На рис. 437 представлен процесс запроса программы функционального модуля для режимов работы.

2.8.7.6. Функциональный модуль последовательности выполнения шаговых операций

При программировании функционального модуля, пригодного для работы с библиотечными программами, придется отказаться от операндов, связанных с конкретной установкой. Здесь могут применяться только формальные параметры (локальные данные). Поскольку такое решение должно быть по возможности универсальным, представляется целесообразным прибегнуть к помощи сигналов режимов работы.

В таблице 56 представлено описание функционального модуля для последовательности выполнения шаговых операций (всего 10 шагов).

Таблица 56. Описание модуля последовательности шаговых операций

Входные переменные			
Имя параметра	*Тип данных*	*Начальное значение*	*Комментарий*
Init	BOOL	ложное	Пользуясь Reset, перевести последовательность шагов в исходное положение (инициализировать)
Weiter_m_Bed	BOOL	ложное	дальше — с условием
Weiter_o_Bed	BOOL	ложное	дальше — без условия
Trans_1	BOOL	ложное	Условие последовательного включения (переход)
Trans_2 до Trans_10	BOOL	истинное	Неиспользуемые переходы переключаются на основании начального значения true (истина)
Выходные переменные			
Имя параметра	*Тип данных*	*Начальное значение*	*Комментарий*
Шаг	INT	0	Номер активного шага
Статические переменные			
Имя параметра	*Тип данных*	*Начальное значение*	*Комментарий*
S_OP_1	BOOL	истинное	Шаг инициализации устанавливается при включении системы управления
S_OP_2 до S_OP_10	BOOL	ложное	

Рис. 438 демонстрирует начальный и последующие шаги: все они обладают одинаковой структурой. Начальные значения входных параметров отнесены к ложным (false). Исключение составляет начальное значение перехода Trans_2 — Trans_10, которому присвоено true (истина), чтобы неиспользуемые шаги оставались открытыми, но последовательность не прерывалась

Операнду шага S_OP_1 присвоено начальное значение true (истина). Для начальных значений последующих шаговых операндов S_OP_2 — S_OP_10 было выбрано false (ложь), чтобы цепочка шагов при включении установки занимала исходное (основное) положение. В шаге исходных параметров после деблокирования посредством соответствующего операнда текущий номер шага сохраняется в виде целого числа.

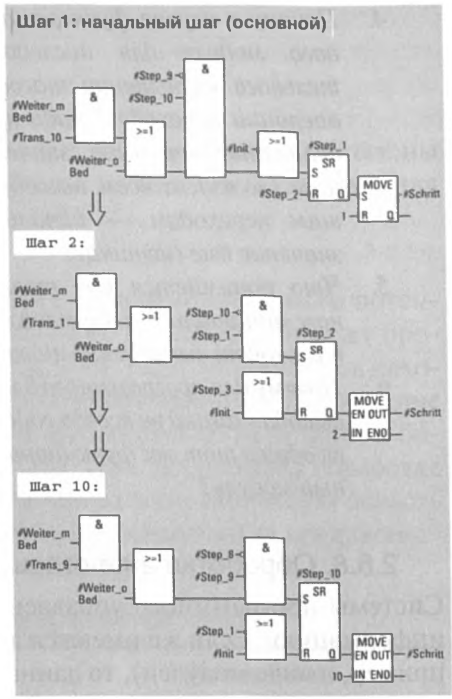


Рис. 438. Программный блок модуля последовательности выполнения шаговых операций

2.8.7.7. Функциональный модуль для вывода команд

Требования к программному блоку вывода команд столь различны, что невозможно создать единственный, универсальный функциональный модуль, способный работать с библиотечными программами. Поэтому здесь предлагается лишь модуль для вывода команд, показанный на рис. 439.

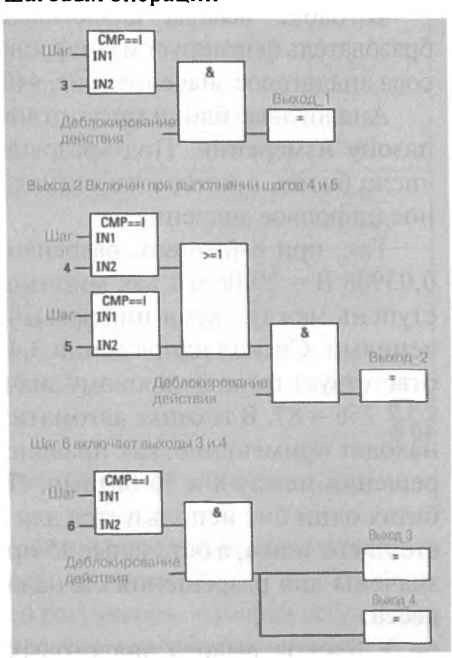


Рис. 439. Программный блок для вывода команд

<u>Повторение и закрепление материала</u>

1. *Для чего в системах автоматического программного управления используются сигналы режимов работы?*
2. *В чем различие между «последовательным включением с условием» и «последовательным включением без условия»?*
3. *Какие преимущества при программировании автоматического управления предлагает применение функциональных модулей, пригодных для работы с библиотечными программами?*

4. *Почему в случае функционального модуля для последовательного выполнения шаговых операций переходу 1 надо присваивать начальное значение false (ложь), а всем последующим переходам — начальное значение true (истина)?*
5. *Что понимается под термином «инициализация последовательности выполнения шагов»?*
6. *Почему для программного блока вывода команд не всегда годится один и тот же функциональный модуль?*

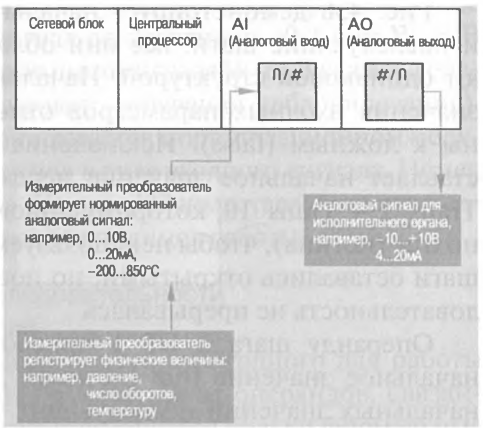


Рис. 440. Обработка аналоговых данных

2.8.8. Обработка аналоговых данных

Системы программного управления от ЗУ обрабатывают только цифровую информацию. Если же имеются аналоговые входные и выходные блоки (например, в виде модулей), то данная система способна принимать и выводить также и аналоговые сигналы процесса.

В блоке ввода аналоговых данных (AI) аналого-цифровой преобразователь переводит аналоговый сигнал в цифровое значение.

В блоке вывода аналоговых данных (AO) цифро-аналоговый преобразователь формирует из цифрового выходного сигнала центрального процессора аналоговое значение (рис. 440).

Аналоговые блоки могут отличаться по разрешающей способности и диапазону измерения. Под «разрешением» аналогового значения понимается число битов, с которыми сигнал процесса преобразуется в пропорциональное цифровое значение.

Так, при 8-битовом разрешении сигнала 0...10 В получается $\frac{10\text{В}}{2^8} = \frac{10\text{В}}{256} =$ 0,03906 В = 39,06 мВ как минимальная ступень между двумя цифровыми значениями. Сигнал напряжения 3,4 В соответствует тогда цифровому значению $\frac{3{,}4\ \text{В}}{10\ \text{В}}\ 256 = 87$. В технике автоматизации находят применение, как правило, разрешения между 8 и 16 битами. При 16 битах один бит используется для предстоящего знака, а остальные 15 предназначены для разрешения сигнала процесса.

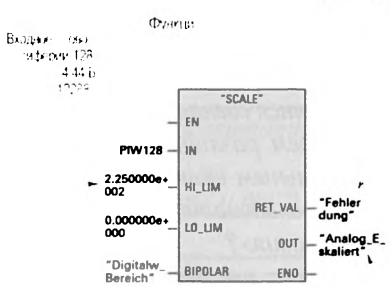


Рис. 441. Аналоговые значения: ввод и масштабирование

У блоков вывода аналоговых данных можно выбрать любой из следующих способов измерения:

- напряжение,
- ток,
- сопротивление и
- температуру.

Внутри перечисленных выше способов могут устанавливаться диапазоны измерения. Выходные блоки посылают сигналы напряжения или тока, для которых выбираются выходные области (см. табл. 57).

Пример: Линейная ось.

Положение линейной оси регистрируется с помощью линейного потенциометра. Он обладает диапазоном измерения от 0 до 225 мм и выдает пропорциональный измерительный сигнал от 0 до 10 В. Если линейная ось находится на уровне 100 мм, то линейный потенциометр генерирует напряжение 4,44 В, а аналого-цифровой преобразователь формирует из него при 16-битовом разрешении цифровую величину +12288. При дальнейшей обработке аналогового сигнала часто требуется масштабировать номинальную область входа. Для этой цели в библиотеках программного обеспечения предлагаются специальные функции масштабирования (рис. 441).

Таблица 57. Примеры диапазонов измерения и областей вывода

	Диапазоны измерения для напряжения и тока				**Области вывода для напряжения и тока**		
Область	± 10 В	Цифровое значение	0...20 мА	Цифровое значение	± 10 В	± 20 мА	Цифровое значение
Выбег	>11,7589	+32767	>23,515	32767	0	0	>32511
Перерегулирование	11,589... 10,0004	+32511... +27649	23,515... 20,0007	32511... 27649	11,7589... 20,007	23,515... 20,007	32511... 27649
Выбор размеров	10,00 ... −10,00	+27648... −27648	20,00... 0,00	27648... 0	10,00... −10,00	20,000... −20,000	27648... −27648
Управление по мин. значениям	10,0004... −11,759	−27648... −32512	−0,0007... −3,5185	−1... −4864	−10,0004... 11,7589	−20,007. ...−23,515	−27649... −32512
Потеря значимости	<−111,759	−32768	<−3,5185	−32768	0	0	<−32512

2.8.9. Программирование со структурированным текстом (ST)

2.8.9.1. Цифровое регулирование

Система автоматизации, располагающая блоками ввода и вывода аналоговых данных, может использоваться и для задач регулирования (рис. 442). Эта функция регулирования, в отличие от аналогового регулятора, отображается через математический алгоритм, который запрашивается в цикличном режиме и на основе текущего значения рассогласования *e* образует новое значение регулирующего воздействия *y*. Цифровой регулятор не может работать непрерывно.

Поэтому его характерным признаком является период съема данных, в течение которого можно реагировать на изменение регулируемого параметра. В случае системы программного управления от ЗУ временем цикла является, в принципе, минимально возможный период съема информации, который обычно выбирается на том уровне, когда уже не распознается градация регулируемой величины.

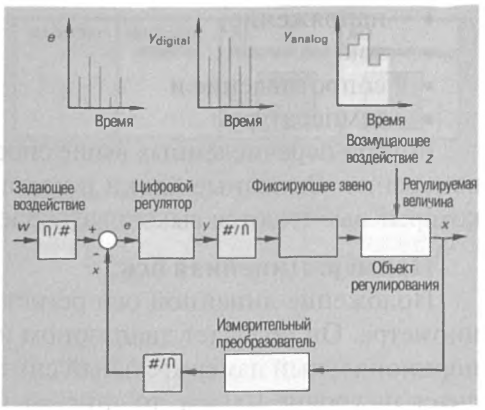


Рис. 442. Контур цифрового регулирования

Для переключательных и непрерывно действующих регуляторов стандартная библиотека программного обеспечения для целей программирования предлагает специально для устройств автоматизации функциональные модули регулятора, для разработки которых требуется точное понимание соответствующих программ регулирования. Эти программы содержат в большинстве случаев все необходимые расчеты, а также операторы (инструкции) перехода, выбора и повторения. Для преобразования в программу более подходящими считаются текстовые языки «список операторов» (AWL) и «структурированный текст» (ST), чем известные графические языки FUP, KOP и AS.

Каждый оператор в AWL точно соответствует инструкции по управлению системы SPS на машинном языке. Программы на языке AWL действуют поэтому очень быстро, но они менее наглядны. Язык программирования ST приближается к высокоуровневым языкам PASCAL и C. Преимуществом ST являются относительно короткие программы и их наглядная структура. На основе структурированного текста хорошо решается и проблема управления большими объемами информации и обработки комплексных задач. Программа ST редактируется в текстовом файле как исходная программа без синтаксического контроля. Ее затем приходится компилировать, то есть переводить на машинный язык. В результате создается работоспособная программа, позволяющая, кроме прочего, вывод сообщений об ошибках и аварийных сигналов разного рода. Ряд операторов структурированного текста приведен в таблице 58, а таблица 59 содержит некоторые операции.

Таблица 58. Элементы языка ST (выборочно)

Синтаксис	Пример	Описание
IF условие THEN оператор 1 ELSE оператор 2 END_IF	IF a = 100 THEN b:=false; c:=20 ELSE c:=50; y:=x END_IF;	Если условие имеет значение TRUE (истина), операторы выполняются после THEN. При FALSE (ложь) операторы выполняются после ELSE.

Таблица 58. *(Окончание)*

Синтаксис	Пример	Описание
CASE выражение выбора OF WERT1: оператор 1 WERT2: оператор 2 WERTE: оператор 3 ELSE: оператор 4 END_CASE;	CASE TW OF 1: DISPLAY: = температ. 2: DISPLAY: = число об. 11,13: DISPLAY: = 99; ELSE: DISPLAY: = 0; END_CASE;	При TW=1 оператор выполняется после 1: При TW=2 оператор выполняется после 2: При TW=11 или 13 оператор выполняется после 11, 13: При прочих значениях TW оператор выполняется после ELSE.
FOR рабочая переменная = пусковое значение TO конечное значение BY величина шага DO оператор END_FOR	FOR 1: = 1 TO 10 BY 2 DO MW(1+3): = IW(1) END_FOR	Входные слова от 1 до 10 присваиваются в словах меркеров 4 — 13.

Таблица 59. Операции ST (выборочно)

Оператор	Операция	Пример
; =	присвоение значения	x: =6
(...)	заключение в скобки	3* 4/2 — (7+3) / (–5) значение: 8
* *	возведение в степень	2* *3 значение: 8
NOT	дополнение	NOT TRUE значение: false
&, AND	булево «И»	FALSE & TRUE значение: false
<, >, >=, <=	сравнение	10 < 8 значение: false
MOD	по модулю	12 MOD 10 значение: 2 остаток при делении целых чисел

Пример: Решение треугольников.

На примере расчета сторон прямоугольного треугольника (по закону Пифагора) произведем сравнение языков программирования AWL (список операторов) и ST (структурированный текст). Допустим, требуется вычислить сторону *C* (рис. 443).

С FC1 запрашивается функция на обоих языках программирования.

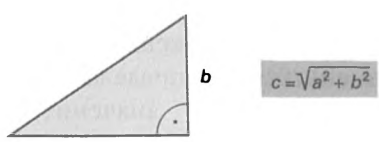


Рис. 443. Решение треугольника

2.8.9.2. Двухпозиционный регулятор

При двухпозиционном регулировании регулятор выполняет функцию выключателя, который в зависимости от имеющегося рассогласования формирует установочный сигнал включения или выключения (рис. 445). «Зоной неоднозначности» определяется расстояние между двумя коммутационными

точками. Если действительное значение ниже заданного значения за минусом половины зоны неоднозначности, регулятор включает установочный сигнал ВКЛ. Когда действительное значение достигает уровня выше заданного значения плюс половина длины зоны неоднозначности, регулятор включает установочный сигнал ВЫКЛ.

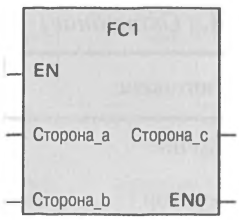


Рис. 444. Запрос от FC1

Функция FC1 в списке операторов

Имя	Тип данных	Начальное значение
IN		
Сторона_a	Real	0.0
Сторона_b	Real	0.0
OUT		
Сторона_c	Bool	False
TEMP		
a2	Real	
b2	Real	

```
L       #Сторона_a
SQR
T       #a2
L       #Сторона_b
SQR
T       #b2
L       #a2
L       #b2
+R
SQRT
T       #Сторона_c
```

Функция FC1 в структурированном тексте

```
FUNCTION      FC1 : void
VAR_INPUT
      Сторона_a : REAL
      Сторона_b : REAL
END_VAR
VAR_OUTPUT
      Сторона_c : REAL
END_VAR
VAR_TEMP
      a_quadrat : REAL
      b_quadrat : REAL
END_VAR
      a_quadrat=SQR (Сторона_a)
      b_quadrat= SQR (Сторона_b)
      Сторона_c=SQRT
      (a_quadrat+b_quadrat);
END_FUNCTION
```

Пример: Регулирование давления с помощью двухпозиционного регулятора.

Давление пневматической установки должно составлять 6 бар и в процессе эксплуатации может изменяться в пределах ± 0,3 бар. Действительное значение регистрируется аналоговым датчиком давления, который в диапазоне от 0 до 10 бар выдает пропорциональный сигнал напряжения от 0 до 10 В. Заданное значение и зона неоднозначности 0,6 бар устанавливаются на постоянном уровне в управляющей программе. На рис. 446 представлена функция двухпозиционного регулятора на языке программирования AWL (список операторов), а на рис. 447 — то же самое на языке ST (структурированный текст).

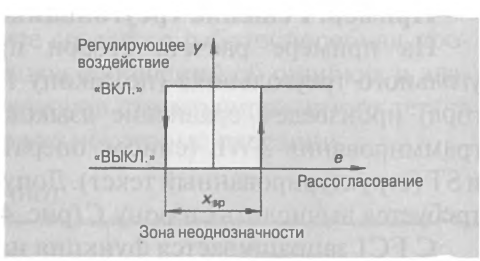


Рис. 445. Схема двухпозиционного регулятора

Имя	Тип данных	Начальное значение
IN		
деблокирование	Bool	False
заданное значение	Real	0.0
действительное значение	Real	0.0
X_{SD}	Real	0.0
OUT		
установочный сигнал	Bool	False
TEMP		
X_{SP}_2	Real	
Soll_m_X_{SD}_2	Real	
Soll_u_X_{SD}_2	Real	

```
AN    # деблокирование          // Если #деблокирование имеет сигнал со значением «0»,

R     # установочный сигнал     сбросить #установочный сигнал и
BEC                             // условный конец модуля
L     #X_SD                     // Если #деблокирование имеет сигнал со значением «1», про-
                                продолжать программу
L     2.000000e+000             //Разделить #X_SD на 2 и
/R                              // сохранить результат в #X_SD_2
T     #X_SD_2
L     # заданное значение
L     #X_SD_2
-R                              //Вычесть #заданное значение - #X_SD_2 и
T     #Soll_m_X_SD_2            //сохранить результат в # Sol l_m_X_SD_2
L     # заданное значение
L     #X_SD_2
+R
T     #Soll_u_X_SD_2            //Суммировать #заданное значение + #X_SD_2 и
L     # заданное значение       //сохранить результат в #Soll_u_X_SD_2
L     #Soll_m_X_SD_2
<R
S     # установочный сигнал     // Если #действительное значение < # Sol l_m_X_SD_2,
L     # действительное значение // установить # установочный сигнал
L     #Soll_u_X_SD_2
>R
R     # установочный сигнал     // Если #действительное значение > # Sol l_u_X_SD_2,
                                // сбросить # установочный сигнал
```

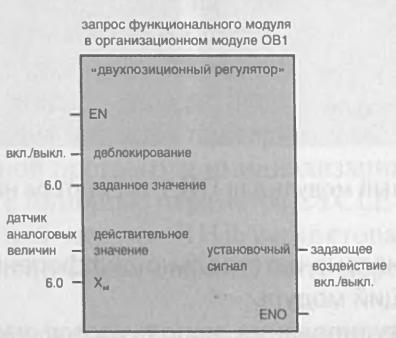


Рис. 446. Функция двухпозиционного регулятора на языке AWL

```
ФУНКЦИЯ FB1                    :  VOID

VAR_INPUT
 деблокирование                :  BOOL;
 действительное значение       :  REAL;
 заданное значение             :  REAL;
 Xsd                           :  REAL;
END_VAR

VAR_OUTPUT
 Stellsignal                   :  BOOL;
END_VAR

 IF деблокирование THEN
    IF действит.значение<заданн.значение – XSD/2 THEN установочный сигнал:=1; END_IF;
    IF действит.значение>заданн.значение – XSD/2 THEN установочный сигнал:=0; END_IF;
ELSE установочный сигнал:=0;
END_IF;

END_FUNCTION
```

Рис. 447. Функция двухпозиционного регулятора на языке ST

Рис. 448. ПИД-регулятор

```
FUNCTION_BLOCK FB10
VAR_INPUT
      FREIGABE  : BOOL;
      ISTWERT   : REAL;
      SOLLWERT  : REAL;
      Kp        : REAL:=1.0;  //Коэффициент пропорционального
                                  регулирования
      Tn        : REAL:=1.0;  //Время изодрома
      Tv        : REAL:=1.0;  //Время упреждения
      Ta        : REAL:=0.1;  //Время съема информации
      P_SEL     : BOOL;       //П-составляющая Вкл./Выкл.
      I_SEL     : BOOL;       //И-составляющая Вкл./Выкл.
      D_SEL     : BOOL;       //Д-составляющая Вкл./Выкл.
END_VAR

VAR
      E_Kp_t0   : REAL;       //Рассогласование предыдущего момента
                                съема информации I0, умноженное на Kp

      E_Summe   : REAL;       //Сумма всех рассогласований,
                                умноженная на Kp
END_VAR

VAR_TEMP
      E_Kp_t1   : REAL;   //Рассогласование, умноженное на Kp
      Stellgr_I : REAL;   //И-составляющая регулирующего воздействия
      Stellgr_D : REAL;   //Д-составляющая регулирующего воздействия
END_VAR

VAR_OUTPUT
      Stellgr   : REAL;   //Регулирующее воздействие
END_VAR

IF Freigabe = false THEN
      Stellgr   : = 0.0;
      E_Kp_t0   : = 0.0;
      E_Summe   : = 0.0;
      RETURN;
END_IF;

Stellgr     : = 0.0;
E_Kp_t1     : = Kp*(Sollwert – Istwert)      //Расчет П-составляющей

E_Summe     : = E_Summe + E_Kp_t1;
Stellgr_I   : = E_Summe*Ta/Tn;               //Расчет И-составляющей

Stellgr_D   : = Tv*(E_Kp_t1 – E_Kp_t0)/Ta;   // Расчет Д-составляющей

E_Kp_t0     : = E_Kp_t1;

IF P_SEL = true THEN
    Stellgr : = Stellgr + E_Kp_t1;           //Суммирование
                                               П-составляющей
                                               и регулирующего
                                               воздействия
END_IF;

IF I_SEL = true THEN
    Stellgr : = Stellgr + Stellgr_I;         //Суммирование
                                               И-составляющей
                                               и регулирующего
                                               воздействия
END_IF;

IF D_SEL = true THEN
    Stellgr : = Stellgr + Stellgr_D;         //Суммирование
                                               Д-составляющей
                                               и регулирующего
                                               воздействия
END_IF;

IF Stellgr < 0.0 THEN
    Stellgr : = 0.0;
      ELSIF Stellgr > 100.0 THEN Stellgr : = 100.0;
END_IF;

END_FUNCTION_BLOCK
```

Рис. 449. Функциональный модуль для ПИД-регулятора на языке ST

2.8.9.3. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулирующий модуль

Для непрерывного регулирования используются чаще всего ПИД-регуляторы (рис. 448). Поскольку функция пропорционально-интегрально-диф-

ференциального регулирования обладает свойствами памяти, необходимо использовать функциональный модуль согласно рис. 449. При этом могут выполняться разные функции регулирования: пропорциональные, пропорционально-интегральные, пропорционально-дифференциальные или пропорционально-интегрально-дифференциальные. Путем ввода параметров P_SEL, I_SEL и D_SEL можно по отдельности подключать и отключать П-, И- или Д-составляющие. Регулируемая величина варьируется в диапазоне чисел с плавающей точкой 0.0...±100.0.

Пример: Линейная ось.

Позиция линейной оси должна регулироваться в непрерывном режиме (рис. 450). Для этого используется функциональный модуль FB41 для непрерывного регулирования из стандартной библиотеки программного обеспечения для программирования устройств автоматизации. Этот модуль предлагает все функции, которые могут потребоваться для целей непрерывного регулирования. Путем параметрирования можно подключать или отключать подфункции ПИД-регулятора, подгоняя его к соответствующему объекту регулирования. Для инициализации при запуске системы программного управления от ЗУ модуль FB41 запрашивается в организационном модуле для пуска OB100.

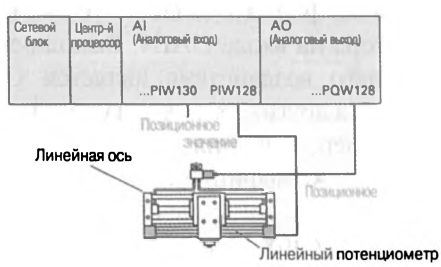


Рис. 450. Регулирование линейной оси

Параметр COM_RST (COMPLETE RESTART) устанавливается на *true*, чтобы запустить стандартную программу инициализации (рис. 451). Центральный процессор выполняет запуск — например, после включения сетевого напряжения или после переключения останова (STOP) на RUN-P. Расчет параметров в регулирующем модуле осуществляется правильно только при условии его запроса через определенные промежутки времени. Эту задачу берет на себя организационный модуль вызывной сигнализации OB35 (cyclic interrupt). Параметр COM_RST при этом запросе должен быть установлен на *false*, чтобы избежать повторного запуска стандартной программы инициализации. Период съема информации 100 мс задается с помощью параметра CYCLE (рис. 452).

```
OB 100 in AWL
CALL  FB 41
      Com_Rst:=TRUE
      cycle:=     T#100MS
      BE
```

Рис. 451. Запрос пускового организационного модуля

```
OB 35 in AWL
CALL  FB 41
      Com_Rst:=FALSE
      cycle:=     T#100MS
      BE
```

Рис. 452. Запрос организационного модуля вызывной сигнализации

На функциональный модуль ПИД-регулятора в целях позиционного регулирования линейной оси должны быть переданы следующие параметры.

Входу MAN_ON присваивается нулевой меркер, в результате чего прерывается процесс ручной передачи действительного значения. С таким же

нулевым меркером путем логической операции отрицания при PVPER_ON включается прием действительного значения на входе PV_PER.

Заданное значение передается при SP_INT в виде переменной в формате с плавающей точкой (REAL) и с масштабированием в диапазоне –100.0...100.0.

С помощью еще одной переменной в том же формате задается усиление регулятора на входе GAIN. Выход регулирующего воздействия является LMN_PER. На других входах могут задаваться, например, значения для разных величин сдвига, коэффициенты согласования или размер зоны нечувствительности. Среди прочих используемых выходных параметров можно назвать, в частности, рассогласование, П–, И–, Д–составляющие и регулирующее воздействие в формате с плавающей точкой.

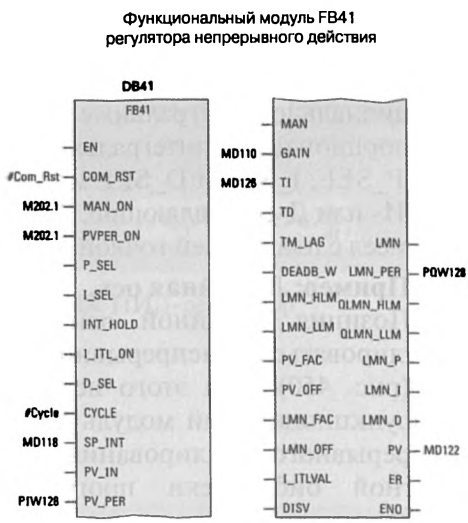


Рис. 453. Параметрирование регулирующего модуля

2.8.10. Контроль и управление производственными процессами

Современные машины или процессы, как правило, располагают системой управления и контроля, известной как HMI (Human Machine Interface). С помощью такой системы могут быть реализованы следующие функции:

- наблюдение за ведением процесса (сообщения о рабочих состояниях и ходе выполнения операций),
- управление процессом (пуск установки, задание параметров настройки),
- системная диагностика (сообщения об ошибках, сбоях и неисправностях),
- протоколирование и архивирование состояний процесса (например, на уровне принятия мер по обеспечению качества).

Для реализации системы HMI требуется установить программное обеспечение по проектированию, которое может быть включено в программы для программирования системы управления.

Рис. 454. Устройства визуализации

Для целей визуализации можно использовать ПК или специальные аппаратные средства. Самым простым способом визуализации считается текстовой дисплей, способный индицировать многострочные тексты. Панель управления рассчитана обычно на графическую индикацию и располагает подходящей клавиатурой. При использовании монитора с сенсорным экраном управлять процессом можно прямо на дисплее (рис. 454).

Для обеспечения связи между устройством управления и управляющей системой, а также для обмена данными, для разрабатываемого проекта выбираются наиболее подходящие переменные (рис. 455 и 456). После этого надо спроектировать хотя бы площадь экрана индикатора (рис. 458).

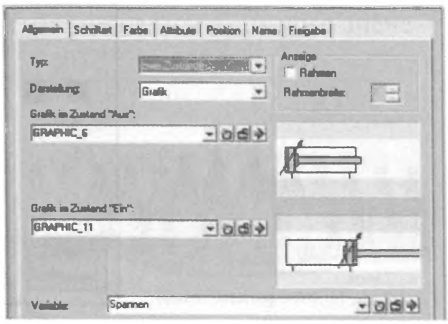


Рис. 455. Свойства переменной

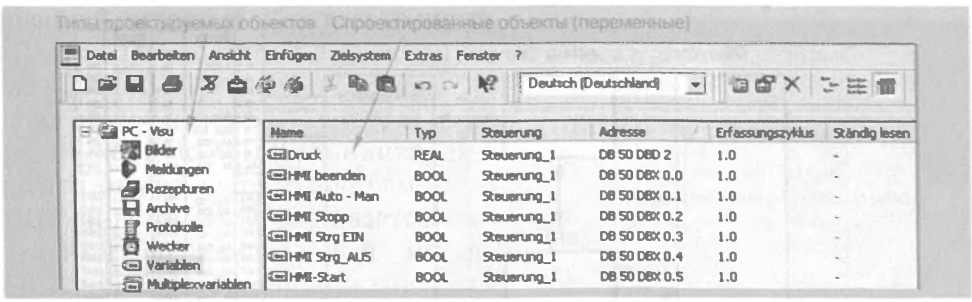


Рис. 456. Планирование объектов для обмена информацией

В верхней зоне экрана может высвечиваться описание наблюдаемого производственного процесса, ниже следует предусмотреть место для разного рода сообщений. Далее по центру обычно размещаются отображения процесса, а совсем внизу предусматриваются органы управления.

Пример: Чеканочный пресс.

В показанной позиции обработки (рис. 457) алюминиевые заготовки подвергаются калибровке. Для системы HMI (рис. 458) в нижней части индикаторной панели отображаются зажимный цилиндр и калибровочный цилиндр с соответствующими позиционными сенсорами. Указывается также время калибровки.

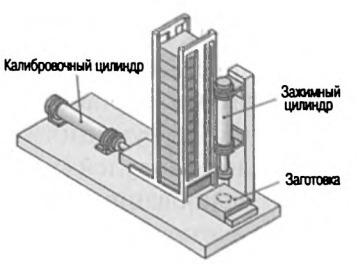


Рис. 457. Чеканочный пресс

Давление обработки индицируется в виде числа с плавающей точкой, а также в виде цветной гистограммы. Если она желтого цвета, значит, давление слишком низкое, в то время как зеленый цвет свидетельствует, что с давлением все в порядке. При чрезмерно высоком давлении гистограмма окрашивается в красный цвет.

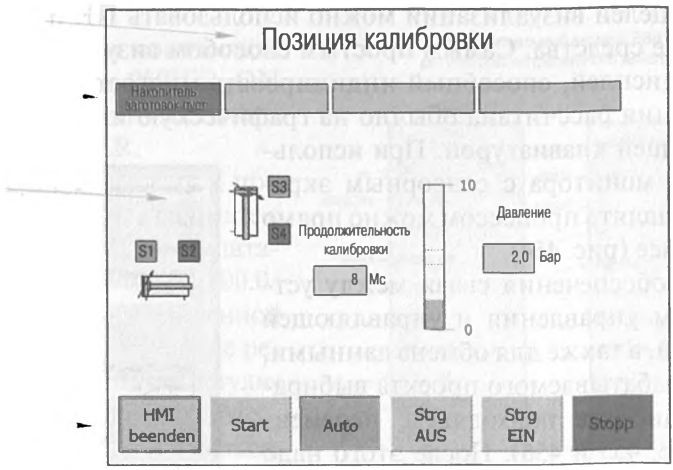


Рис. 458. Распределение изображения на устройстве управления

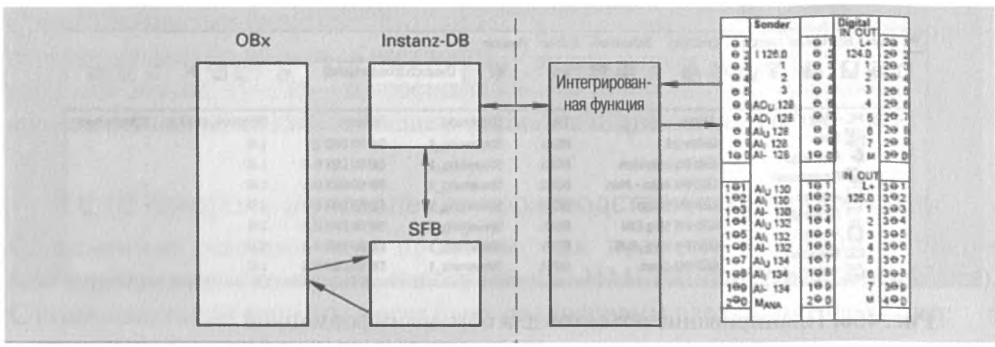


Рис. 459. Работа с интегрированными функциями

2.8.11. Ускоренные процессы счета

Если устройство автоматизации обладает интегрированными функциями, то в нем, как правило, имеется и так называемый быстрый счетчик (High speed counter) для регистрации счетных импульсов с частотой до 10 кГц. Серия типоразмеров S7 ф.Сименс содержит центральные процессоры со встроенными функциями, позволяющие с помощью специальных функциональных модулей (SFB) активировать скоростные счетчики.

Интегрированная функция должна быть сначала актирована в конфигурации аппаратного обеспечения, после чего с помощью специального функционального модуля SFB 29 (HS_COUNT) и локального модуля данных (DB 63 предварительно установлен) она запрашивается в операционной системе.

Данная функция имеет прямой доступ к интегрированным входам и выходам, без обхода через программу пользователя (рис. 459). Это позволяет свести к минимуму возможные воздействия на время цикла.

Следующие функции могут быть преобразованы с помощью модуля SFB 29:

задать и принять пусковое значение,
задать и установить эталонные величины,
деблокировать счетчик,
деблокировать цифровые выходы,
считать показание счетчика и текущие эталонные значения,
фиксировать положение показания счетчика для эталонного значения.

Пример: Установка розлива в бутылки.

В установке бутылочного розлива (рис. 460) заполненные бутылки перемещаются ленточным транспортером и упаковываются в пустые ящики. Чтобы всегда иметь достаточный запас бутылок, для них предусмотрен промежуточный накопитель, обладающий ограниченной емкостью. Как только число бутылок в нем достигает верхнего предела в 200 штук, отключается двигатель транспортера через STATUS_A и цифровой выход (рис. 461). Для инициализации при запуске системы программного управления от ЗУ запрашивается специальный функциональный модуль SFB 29 — DB63 в организационном модуле OB100 (рис. 462). При этом в процессе запуска на входах SET_COUNT и SET_COMT_A формируется положительный фронт и принимаются численные значения при PRES_COUNT и PRES_COMT_A.

Рис. 460. Установка бутылочного розлива

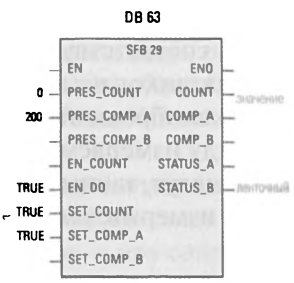


Рис. 461. Интегрированный счетчик SFB 29

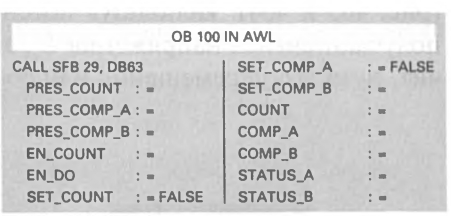


Рис. 462. Запрос пускового организационного модуля

Повторение и закрепление материала

1. *Опишите процесс обработки аналоговых данных в системе программного управления от ЗУ.*
2. *Что означает 12-битовое разрешение аналогового сигнала 0...10 В?*
3. *Почему язык ST предпочитается для программирования цифровых регуляторов?*
4. *Объясните принцип действия двухпозиционного цифрового регулятора.*
5. *Какие функции могут быть реализованы с помощью системы HMI?*
6. *Каким образом регистрируются высокочастотные сигналы с помощью системы программного управления от ЗУ?*

ГЛАВА 3

ТЕХНИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКОВ

Для управления, регулирования, контроля и защиты машин и оборудования используют чувствительные элементы, регистрирующие состояние технологического процесса или соответствующей машины. При этом — в зависимости от вида сенсорных сигналов — различают аналоговые, двоичные и цифровые сенсоры.

3.1. Аналоговые сенсоры

С помощью аналоговых сенсоров механические параметры (например, длина пути) или электрические параметры (например мощность) преобразуются в электрические сигналы напряжения или сигналы тока.

После соответствующей калибровки сенсоры могут использоваться и в качестве датчиков измеряемых величин.

Под «калибровкой» (в смысле ДИН 1319, л.1) понимается установление связи между измеряемой величиной и индикацией. Сигналы измерительных датчиков могут, таким образом, индицироваться в физических единицах, например, у измерительных датчиков перемещений — в миллиметрах.

3.1.1. Датчики перемещения, угла поворота, расстояния и толщины

Потенциометрические датчики с ползунком

В результате смещения ползунка y ползункового потенциометра либо при повороте вращающегося потенциометра сопротивление последнего изменяется (рис. 463 и 464). Используя потенциометр в качестве делителя напряжения, получают сигнал напряжения U_x, аналогичный положению ползунка x и, значит, пути его перемещения или соответственно углу поворота потенциометра

Рис. 463. Ползунковый потенциометр

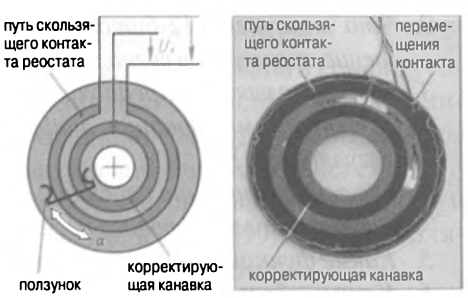


Рис. 464. Вращающийся потенциометр

(рис. 465). Если потенциометр не нагружен или лишь слегка нагружен (RL >> R) — например, в результате присоединения к цифровому вольтметру или измерительному усилителю, то выданный им сигнал напряжения будет пропорционален пути перемещения или соответственно углу поворота. В случае же нагрузки связь между перемещением и сенсорным сигналом не будет линейной.

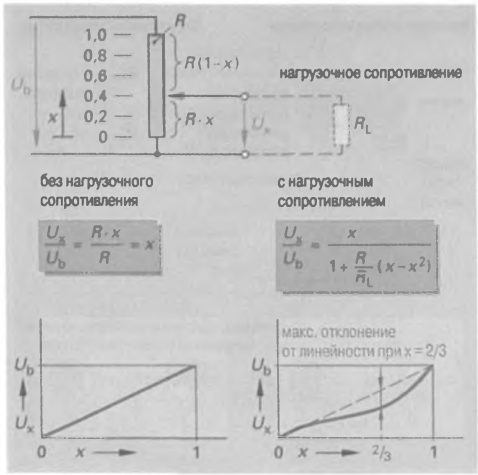


Рис. 465. Потенциометр в качестве делителя напряжения

Измерительные потенциометры обладают резистивным слоем из проводящей пластмассы. Этот слой весьма прочен на истирание и выдерживает примерно 108 циклов перемещений ползунка. Сами ползунки выполняются из благородного металла и в целях виброгашения оснащены эластомером. Типовая разрешающая способность, как правило, превышает 0,1 %, а линейность всегда лучше 1 %. Номинальная длина линейного потенциометра может составлять от 2 мм до 2 метров. Измерительные вращающиеся потенциометры способны в большинстве случаев прокручиваться с диапазоном измерения от 0° до 360°

Бесконтактные потенциометрические датчики

Бесконтактные потенциометры имеют в качестве резистивного элемента дифференциальный датчик напряженности магнитного поля (рис. 466). Резистивные датчики напряженности магнитного поля — это совсем небольшие полупроводниковые элементы, сопротивление которых повышается с возрастанием магнитодвижущей силы. У датчиков перемещений и углов поворота используют два резистивных элемента, намагничиваемых с помощью одного небольшого постоянного магнита (рис. 467).

В результате приближения управляющего электромагнита намагничивающая сила у резистивного датчика напряженности магнитного поля R1 повышается, а у датчика R2 — понижается. При этом R1 получает большее сопротивление, а R2 — меньшее сопротивление (рис. 467). Соответственно соотношению этих сопротивлений изменяется и сенсорный сигнал. Бесконтактное изменение сопротивления позволяет создать конструкцию, практически не подверженную износу. Существуют лишь силы трения подшипников. Отклонения от линейности составляют в линейной зоне около 2%.

Рис. 466. Потенциометр с магнитозависимым сопротивлением

Вращающиеся потенциометры с резистивным датчиком напря-

Рис. 467. Структура, электромонтажная схема и характеристика датчика угла поворота

Рис. 468. Индуктивный путевой датчик и схема обработки

женности магнитного поля используются обычно для измерения колебаний, регистрации положения компенсирующих валиков, а также в качестве датчиков углов поворота в копировальных системах управления, в педалях торможения и педалях акселератора у автомобилей.

Линейные потенциометры с резистивным датчиком напряженности магнитного поля находят применение при измерении пути небольшой длины и определении смещений (например в робототехнике); используют их также в качестве чувствительных элементов при определении положения нулевой точки в суппортах станков.

Индуктивные путевые датчики с ферритовым сердечником

Индуктивные путевые датчики имеют в качестве чувствительного элемента двойную (дифференциальную) катушку с ферромагнитным сердечником (рис. 468). Если этот сердечник находится в центре датчика, то сопротивления при переменном токе у обеих частей катушки находятся на одном уровне. При сдвиге сердечника влево индуктивность левой половины катушки возрастает, а индуктивность правой половины катушки понижается. Соответствующим образом изменяются и сопротивления при переменном токе в обеих частях катушки.

Оценка изменения сопротивления осуществляется с помощью измерительного моста переменного тока (рис. 468). Он состоит из полумоста сопротивлений (в дополнение к активным сопротивлениям катушек датчика до уровня полного моста), генератора переменного тока (обычно 5 кГц) для питания мостовой схемы, эквивалентной и фазовой коррекции для установки нулевой точки, усилителя и демодулятора для выпрямления в нужной фазе.

При сдвиге ферритового сердечника происходит рассогласование мостовой схемы и образуется напряжение в диагонали моста $U_{x\sim}$. Для определения направления сдвига на основе напряжения $U_{x\sim}$ требуется выпрямление в правильной фазе. С этой целью электронным способом изменяется полярность каждого второго полупериода (рис. 469).

Существуют индуктивные путевые датчики со стержнем, воспринимающим растяжение, или в виде штифта для измерения пути длиной от 1 мм до примерно 1 м. В случае использования такого штифта винтовая пружина при необходимости обеспечивает его отклонение. Разрешающая способность измерительного сигнала составляет порядка 0,1 %, то есть со штифтом для измерения перемещений с номинальной длиной пути 10 мм еще удается регистрировать перемещения до 10 мкм. Линейность составляет около 1 %, то есть при номинальной длине пути 10 мм достигается точность измерения почти 100 мкм.

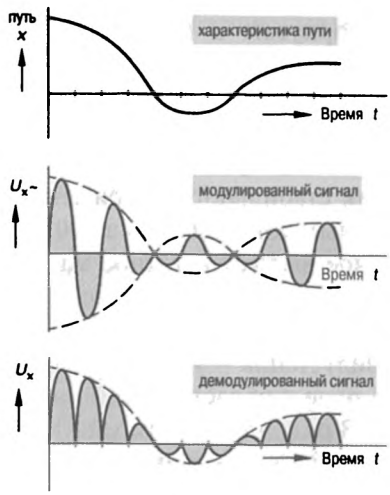


Рис. 469. Демодуляция посредством выпрямления в правильной фазе

Индуктивные путевые датчики используются в качестве щупов для измерения толщины заготовок, регистрации перемещений малогабаритных столов станков, в автооператорах — для контроля движений захвата, а также для измерения колебаний, в том числе на испытательных стендах.

Бесконтактные индуктивные путевые датчики

Функция этих датчиков основана на изменении индуктивности катушки при приближении к ферромагнитному предмету, например к стальной пластинке (рис. 470). Вторая катушка с регулируемой стальной пластинкой внутри датчика позволяет производить оценку результата посредством измерительного моста переменного тока. Связь между сигналом датчика и длиной пути остается линейной только при очень небольших изменениях и зависит от ферромагнитных свойств и формы приблизившегося предмета. Эта зависимость должна определяться экспериментальным путем, и такой процесс именуют «калибровкой». Измерительная длина составляет обычно около 1 мм.

Бесконтактные индуктивные датчики используются для измерения перемещений подвижных предметов — например перестановок шпинделей токарных станков (при нагрузке) — либо для контроля сварных швов и кромок листового металла при сварке с помощью роботов.

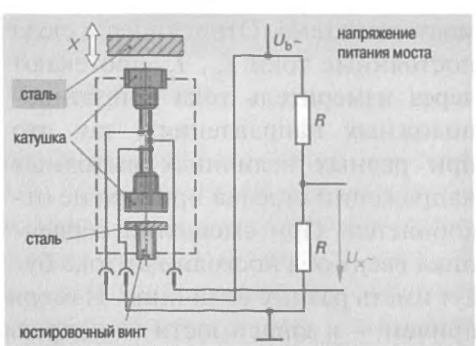


Рис. 470. Бесконтактный индуктивный датчик перемещений

Датчик FLDT (от англ. Fast Linear Displacement Transducer — быстродействующий линейный путевой датчик) состоит из однослойной

цилиндрической катушки с ферритовым корпусом в каркасе из высококачественной стали (рис. 471). В катушку вставлена подвижная алюминиевая трубка с толщиной стенки около 1 мм. Катушка работает через источник стабильного напряжения с переменным током порядка 100 кГц. Созданное высокочастотное магнитное поле вызывает в верхнем слое алюминия вихревые токи, которые — по правилу Ленца — уничтожают магнитное поле в области алюминиевой трубки. В результате этого индуктивность катушки образуется только из одной ее части, где существует магнитное поле. Поэтому перестановка алюминиевого сердечника вызывает изменение индуктивного сопротивления.

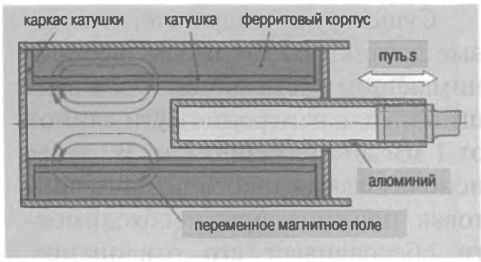


Рис. 471. Датчик FLDT

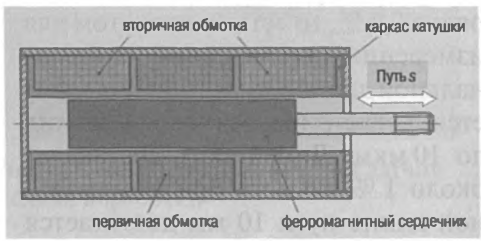


Рис. 472. Датчик LVDT

Примечание. Правило Ленца: вызванный индуктивностью ток всегда направлен на уничтожение этой индуктивности. Фридрих Эмиль Ленц, русский физик (1804–1865 гг.).

Датчики с изменением индуктивной связи

Датчик LVDT (от англ. Linear Variable Differential Transformer) есть линейный изменяемый дифференциальный трансформатор. Он обладает подвижным ферромагнитным сердечником и двумя выходными катушками (рис. 472). Принцип измерения основан на изменении индуктивной связи между входной катушкой и выходными катушками.

При простой схеме обработки (рис. 473) для выпрямления каждого из выходных напряжений используется своя двухполупериодная мостовая схема. Относящиеся сюда постоянные токи I_{21}, I_{22} протекают через измеритель тока в противоположных направлениях, так что при равных величинах выходных напряжений стрелка прибора не отклоняется. При смещении сердечника вверх оба постоянных тока будут иметь разные величины. Измеритель тока показывает сдвиг сердечника, причем — в зависимости от направления сдвига — с разным направлением тока.

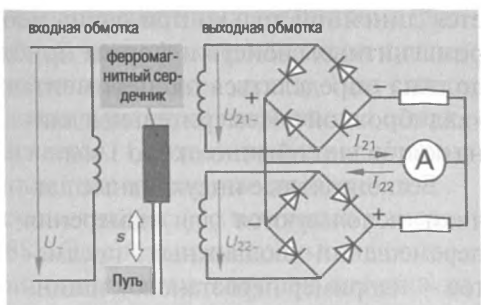


Рис. 473. Дифференциальный трансформатор с простой схемой обработки

Существуют датчики LVDT со встроенной электроникой, которая формирует питающее переменное напряжение с частотой около 20 кГц и демодули-

рует в правильной фазе, фильтрует и усиливает сигнал датчика на выходной стороне трансформатора. Такие датчики могут быть напрямую подключены к постоянному напряжению.

Итак, датчики LVDT имеют в большинстве случаев встроенную электронику и могут работать с постоянным напряжением.

Датчики с изменением затухания и полного сопротивления

Индуктивные бесконтактные предельные клавишные переключатели срабатывают при приближении к металлическому предмету (рис. 474). Из катушки с открытым чашеобразным (сегментным) сердечником формируется высокочастотное электромагнитное поле. Эта катушка есть индуктивная часть колебательного контура, который возбуждается генератором с частотой в несколько кГц. Когда металлический предмет попадает в зону вблизи катушки колебательного контура, в результате образовавшихся вихревых токов происходит резкое затухание колебания генератора, что приводит к срабатыванию последовательно включенного порогового выключателя.

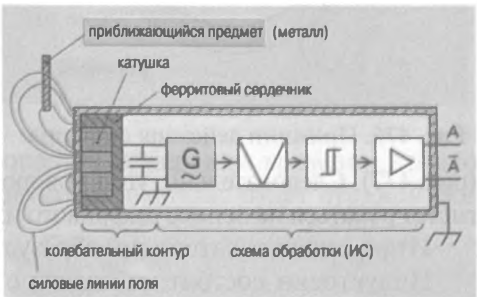


Рис. 474. Индуктивный предельный выключатель

Колебание генератора с большим омическим сопротивлением подводится к демодулятору и с помощью электронного порогового выключателя в качестве элемента предельного значения проверяется на присутствие сигнала со значением ниже номинального. Через логическую схему получают антивалентные (неравнозначные) сигналы, например с высоким (H) и низким (L) уровнями.

Сельсин-датчик предназначен для точного определения угла поворота или регулирования угла поворота. По своей конструкции он напоминает небольшой синхронный двигатель (рис. 475).

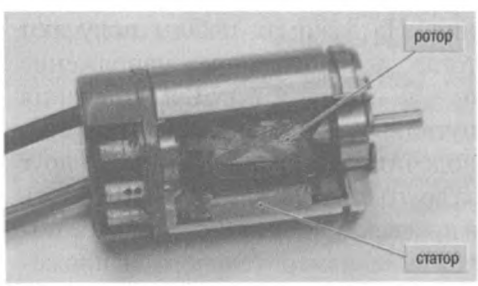


Рис. 475. Сельсин

Обмотки статора питаются двумя переменными напряжениями $u_1 = \hat{u}_1 \cdot \sin \omega t$ и $u_2 = u_1 \cdot \sin(\omega t + \pi/2) = \hat{u}_1 \cdot \cos \omega t$ (рис. 476). На размещенной с возможностью поворота обмотке ротора посредством как одной, так и другой обмоток статора индуцируется напряжение. При этом индукция будет максимальной, когда обмотка ротора и обмотка статора параллельны друг другу, и индукция будет равна нулю, когда обмотка ротора направлена поперек обмотки статора. Таким образом, измерительное напряжение на обмотке ротора зависит от угла поворота a_x. При коэффициенте трансформации 1:1 имеем: $u_x = u_1 \cdot \cos a_x + u_2 \cdot \sin a_x = \hat{u}_1 \cdot \sin \omega t \cdot \cos a_x + \hat{u}_1 \cdot \cos \omega t \cdot \sin a_x = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t + a_x)$, то есть измерительное напряжение u_x сдвинуто по фазе относительно питающего напряжения u_1 на угол a_x

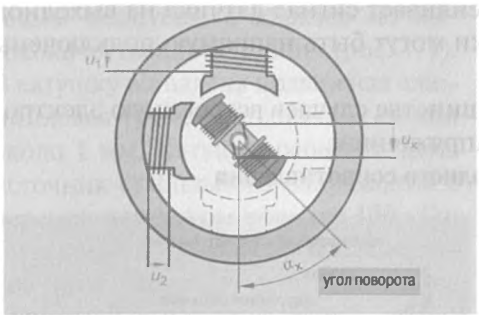


Рис. 476. Принцип действия сельсина

Рис. 477. Сдвиг фазы измерительного напряжения

(рис. 477). Следовательно, угол поворота соответствует сдвигу фазы и может регистрироваться на основе цифрового измерения фазы.

Итак, сельсин-датчик преобразует углы поворота в фазные углы.

Индуктосин состоит из шкалы с многосетчатой номограммой и движка с двумя многосетчатыми номограммами, смещенными относительно друг друга на четверть деления шкалы (рис. 478). При этом движок соответствует статору сельсина, а шкала — ротору. При смещении движка относительно шкалы одна и другая номограммы движка в циклическом (следующем друг за другом) чередовании с одинаковым перекрытием располагаются над номограммой шкалы. Поскольку движок имеет две номограммы с электрическим сдвигом на 360°/4 = 90°, то в шкале индуцируется два напряжения. На зажимах шкалы получают тогда измерительное напряжение $u_x = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t + a_x)$. Для измерения пути по всей длине шкалы требуется подсчитать циклы (следующие друг за другом чередования) и определить в пределах одного цикла фазовое положение измерительного напряжения u_x относительно u_1.

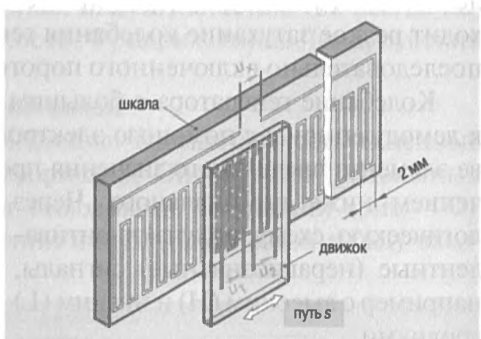


Рис. 478. Индуктосин

Емкостные путевые датчики

Для регистрации перемещений, в том числе на длинном пути до 2 метров, используют трубчатые датчики (рис. 479). При введении изолированно расположенного поршня в трубку неизбежно изменяется емкость датчика. Измерительным мостом переменного тока эта изменяющаяся емкость преобразуется в измерительный сигнал. Емкостные путевые датчики ис-

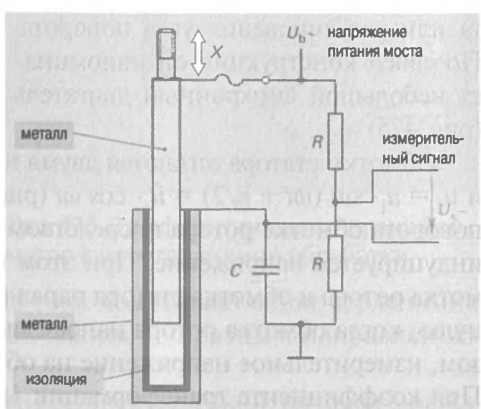


Рис. 479. Емкостный путевой датчик

пользуются, например, в установках литья под давлением для регистрации перемещений пуансона.

При резке с применением лазера расстояние между соплом резака и заготовкой определяется путем емкостного измерения (рис. 480). При этом одним электродом является сопло резака, а другим электродом — заземленная заготовка.

Рис. 480. Емкостный датчик при лазерной резке

Ультразвуковые путевые датчики

Принцип действия этих датчиков основан на измерении времени, которое проходит до того момента, как ультразвуковой импульс будет отражен подлежащим измерению предметом и вернется назад в виде отраженного сигнала («эха») (рис. 481). Роли передатчика и приемника играют либо громкоговорители с небольшой металлической мембраной, либо пьезоэлектрические кристаллы.

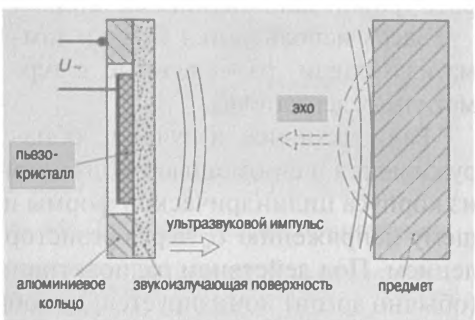


Рис. 481. Ультразвуковой путевой датчик

В первом случае ультразвуковые частоты находятся на уровне 50 кГц, а во втором случае достигают уже порядка 200 кГц. Поскольку вновь послать ультразвуковой импульс можно только после приема отраженного сигнала, то периодичность проводимых измерений зависит в данном случае от расстояния. Так, при удаленности до 1 метра можно провести примерно 4 измерения в секунду, а при удаленности до 10 метров — всего только два таких измерения. При расстояниях до 100 мм точность измерения составляет около 0,5 мм, а при расстояниях до 1000 мм — примерно 5 мм. Так как время распространения звука, кроме прочего, определяется температурой, давлением и влажностью воздуха, то о прецизионных измерениях здесь говорить не приходится.

Рис. 482. Автооператор с ультразвуковым датчиком

Ультразвуковые датчики пути используются для автоматической установки расстояния в фото- и киноаппаратах, для определения уровня заполнения котлов и силосных ям, а также находят применение в качестве «помощников» при парковке автомобилей. Ультразвуковые путевые датчики, встроенные в автоматизированные механизмы робототехники (механическая рука, автооператор), позволяют распознавать предметы и получать сведения об их удаленности (рис. 482).

Измерение толщины с помощью радиоактивных датчиков

В разных отраслях производства (при изготовлении ленточного материала, пенопластов и т. п.) нередко требуется непрерывный контроль толщины наносимого покрытия, плотности изделия или его веса на единицу поверхности, что успешно достигается с помощью ионизационной камеры или счетчика Гейгера-Мюллера (рис. 483). Принцип измерения при этом основан на частичном поглощении или отражении радиоактивного излучения, пропускаемого через подлежащий измерению материал. Таким способом вполне можно также измерять уровни заполнения емкостей.

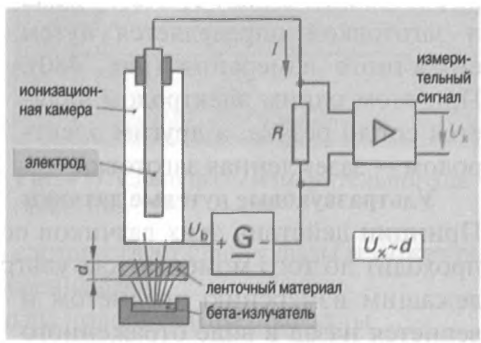


Рис. 483. Датчик радиоактивного излучения для измерения толщины

Здесь используются бета- и гамма-излучатели, размещенные в герметичных держателях.

Радиоактивное излучение обнаруживается и с помощью ионизационной камеры (рис. 483), которая состоит из корпуса цилиндрической формы и коллектора, присоединенного к питающему напряжению U_b через резистор с очень высоким омическим сопротивлением. Под действием радиоактивного излучения находящийся в камере газ (обычно аргон) ионизируется, приобретая некоторую проводимость. При использовании измерителя напряжения с очень высоким омическим сопротивлением удается измерить падение напряжения, возникшее на резисторе.

Оптический позиционный датчик

Когда луч света попадает на позиционный диод, тот выдает сигнал напряжения, зависимый от места попадания (рис. 484). Таким способом (это называется «триангуляция») можно очень точно определять расстояния до заготовки без всякого контакта с ней.

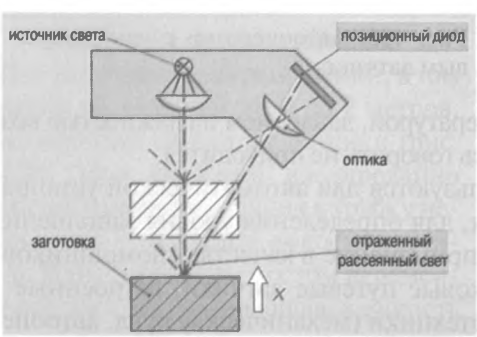


Рис. 484. Оптический позиционный датчик (метод триангуляции)

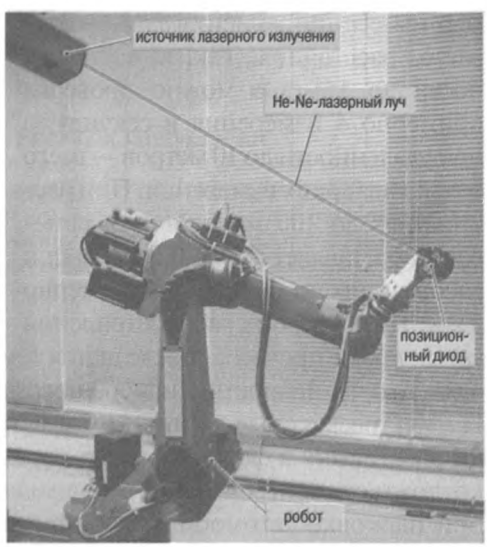


Рис. 485. Определение линейной точности у роботов с помощью позиционного диода

Существуют также позиционные датчики в виде квадратных пластинок с длиной кромок 15 мм x 15 мм. Если такую пластинку укрепить на станке или роботе и направить в ее центр тонкий лазерный луч, то любые отклонения от вертикального луча лазера будут фиксироваться с высокой точностью (рис. 485).

Позиционные диоды используют для бесконтактного измерения расстояний, прямолинейного выравнивания станков в сочетании с лазерным лучом и для определения изменений положения.

3.1.2. Датчики скорости

Тахогенераторы постоянного тока

Для измерения угловых скоростей используют небольшие тахогенераторы постоянного тока (рис. 486), генерирующие постоянное напряжение, пропорциональное числу оборотов.

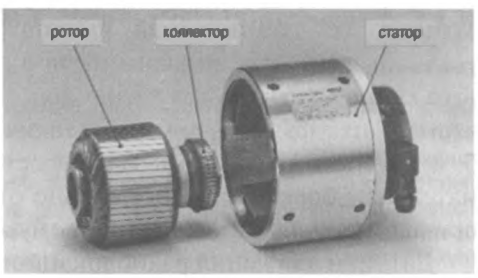


Рис. 486. Тахогенератор постоянного тока

В сильном магнитном поле, образующемся под действием постоянного магнита, якорь с обмоткой установлен с возможностью вращения, в процессе которого возникает постоянное напряжение. Конструкционное исполнение соответствует здесь исполнению генератора постоянного тока (или двигателя постоянного тока) — с той лишь разницей, что поперечные сечения проводов и, следовательно, конструктивные размеры в данном случае достаточно малы. Типовые характеристические параметры составляют от 0,012 В/мин до 0,06 В/мин, то есть при скорости вращения 1000 об/мин получают напряжение от 12 до 60 В в зависимости от типа генератора. Реверс числа оборотов вызывает также изменение знака напряжения. Генераторы постоянного тока используются для измерения числа оборотов приводов подачи и главных приводов в станках с ЧПУ.

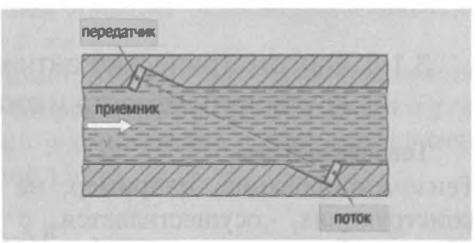


Рис. 487. Ультразвуковой датчик скорости течения

Ультразвуковой датчик скорости течения

Ультразвуковой датчик скорости течения состоит из передающего и приемного элементов (рис. 487), между которыми скорость распространения звука суммируется со скоростью движения текущей среды. В результате — в зависимости от скорости течения — имеет место разное время распространения звуковых импульсов, которое и подлежит измерению.

Датчик скорости радиолокационных сигналов

Устройством передачи радиолокационных сигналов чрезвычайно высокой частоты (около 25 гГц = $25 \cdot 10^9$) через небольшую рупорную антенну посылаются пакеты коротких импульсов и принимается сигнал, отраженный от предметов (рис. 488).

В таких устройствах (радарах) (Radar от англ. Radio Detecting and Ranging — радиолокация и радионавигация) используется принцип Доплера (Кристиан Доплер, австрийский физик, 1803–1853 гг.), согласно которому утверждается следующее: если датчик движется в направлении предмета или предмет, отражающий радиолокационные волны, придвигается в сторону датчика, то принимаемая частота увеличивается; иными словами, при отраженном сигнале получают сдвиг частоты или фазы. С помощью таких датчиков можно бесконтактным способом измерять движения в зависимости от их направления. Поскольку разные материалы более или менее сильно отражают радиолокационные сигналы, то приходится прибегать к настройке чувствительности сигналов движения.

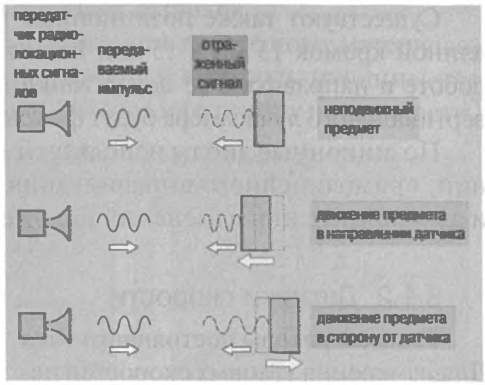


Рис. 488. Датчик движения радиолокационных сигналов

Датчики движения радиолокационных сигналов используются, например, в автоматических раздвижных дверях магазинов, а также на производственных предприятиях для контроля за транспортными и подающими установками.

3.1.3. Тензометрические датчики, датчики силы, крутящего момента и сжатия

Тензорезисторы

Тензометрирование, например, на машинах, опорах мостов и стальных конструкциях, осуществляется с использованием тензорезисторов, или тензодатчиков (рис. 489). Их задачей является проверка элемента конструкции при неподвижной (статической) нагрузке или определение возможных влияний при переменной (динамической) нагрузке. Изменение длины (= растяжение) при этом очень невелико и составляет обычно всего 0,1 мкм...10 мкм. Принцип действия тензорезистора основан на повышении сопротивления проводника, когда он удлиняется в результате растяжения, одновременно уменьшаясь в поперечном сечении. Тензорезисторы выполняются обычно в виде полосок фольги, причем, как и в случае

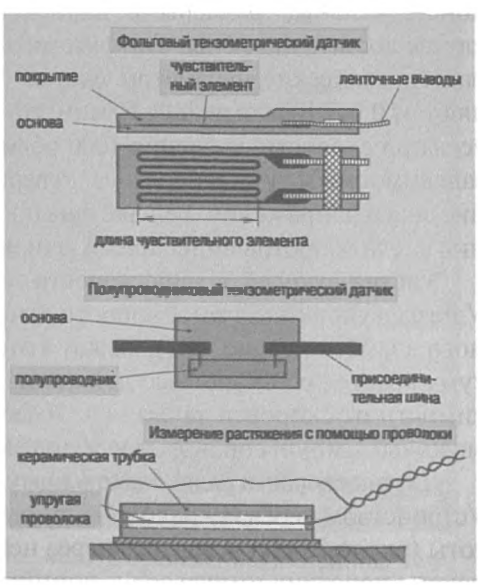


Рис. 489. Датчики измерения растяжения

изготовления печатных схем, на фольговую основу гальваническим способом наносится металлический чувствительный элемент. Для получения малых конструкционных длин всего в несколько миллиметров пути проводника выполнены по типу меандра, а именно очень тонкими в продольном направлении и широкими в поворотных петлях, то есть в поперечном направлении. Благодаря меандровой форме достигается большая эффективная длина проводника. Изменение сопротивления при растяжениях в продольном направлении достаточно велико, а при возможных поперечных растяжениях соответственно почти ничтожно.

Итак, сопротивление тензометрических датчиков при их растяжении повышается.

Тензометрические полоски приклеиваются к объекту измерения таким образом, чтобы продольное направление чувствительного элемента соответствовало тому направлению, в котором требуется измерять растяжения или механические напряжения. Для одновременного измерения сразу в нескольких направлениях существуют специальные тензодатчики — например в случае чувствительных элементов, ориентированных под углом 120° относительно друг друга или под углом 45° относительно продольного направления датчика (рис. 490).

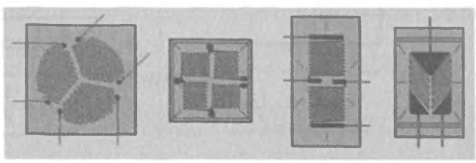


Рис. 490. Варианты исполнения тензометрических датчиков

Номинальные сопротивления тензометрических датчиков составляют 120 Ом, 350 Ом и 600 Ом. Изменение сопротивления при растяжении указывается через коэффициент $\boldsymbol{k}$, который у константана и хромоникелевого сплава равен 2,0, а у кремния — примерно 150.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \qquad \frac{\Delta \boldsymbol{R}}{\boldsymbol{R}} = \boldsymbol{k} \cdot \varepsilon$$

$\Delta \boldsymbol{R}$ изменение сопротивления
$\boldsymbol{R}$ номинальное сопротивление
$\boldsymbol{k}$ коэффициент
Δl изменение длины
l номинальная длина тензометрического датчика
ε растяжение

Пример:

Допустим, надо вычислить, как изменится сопротивление (600 Ом) тензометрического датчика из хромоникелевого сплава при растяжении его со скоростью 1 мкм/м.

Решение:

$$\frac{\Delta \boldsymbol{R}}{\boldsymbol{R}} = \boldsymbol{k} \cdot \varepsilon$$

$$\rightarrow \Delta R = R \cdot k \cdot \varepsilon = 600 \text{ Ом } 2 \cdot 10^{-6} = 1{,}2 \text{ мОм}.$$

Изменение сопротивления оценивается на основе мостовой схемы. При этом различают полную мостовую схему с четырьмя тензодатчиками, схему половины моста с двумя датчиками и схему четверти моста с одним активным тензометрическим датчиком (см. табл. 60).

Таблица 60. Мостовые схемы для тензометрических датчиков

Полная мостовая схема	Схема половины моста	Схема четверти моста
$U_x = k \cdot \varepsilon \cdot U_B$	$U_x = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \varepsilon \cdot U_B$	$U_x = \frac{1}{4} \cdot k \cdot \varepsilon \cdot U_B$
		B2: компенсационный тензодатчик
		k = коэффициент k
		$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ (растяжение)
Пример: измерение крутящего момента	Пример: измерение изгибающего момента	Пример:
$U_x \sim M_t$	$U_x \sim M_b$	$U_x \sim M_b, F, M_t (\vartheta)$

При полной мостовой схеме тензометрические датчики крепятся на конструкционном элементе с таким расчетом, что два из них растягиваются, а два сжимаются — например, при определении вращающего момента на валу. Основные растяжения и сжатия не превышают 45° относительно оси вала. Схема полного моста представляется наилучшим вариантом для такого рода измерений.

Схема половины моста содержит один растягивающийся и один сжимающийся тензодатчик — например, при измерении изгибающего момента. Чувствительность такой схемы вполовину ниже, чем при описанном выше исполнении.

Схема четверти моста располагает всего одним тензометрическим датчиком, подверженным измеряемому растяжению. Во избежание рассогласования мостовой схемы при изменении температуры в другое плечо моста включается еще один тензодатчик, который, однако, не подвергается растяжению. Он служит исключительно целям компенсации температур: если сопротивление активного тензодатчика изменяется не по причине растяжения, а в результате изменения температуры, то таким же образом изменяется и сопротивление компенсационного датчика, исключая возможное влияние температур.

Мостовые схемы могут работать как с переменным, так и с постоянным током. Соответственно напряжение в диагонали моста усиливается с помощью усилителей постоянного или переменного тока.

При питании моста переменным током в диагонали моста имеет место переменное напряжение. Амплитуда этого переменного напряжения соответствует силе растяжения. При этом говорят о модуляции несущей частоты. Частота источника переменного тока составляет, как правило, 5 кГц. Частота, при которой можно изменять растяжение (например при измерении колебаний), не должна в таком случае превышать 500 Гц. Для измерения колебаний до 5 кГц используют мостовые схемы переменного тока с несущей частотой 50 кГц или же мостовые схемы постоянного тока. Высокочастотные измерительные мосты несущей частоты здесь применяться не могут, поскольку они весьма чувствительно реагируют даже на малейшие отклонения индуктивности, вызванные, например, колебаниями подводящих проводов.

Динамометры и весовые механизмы с тензодатчиками

На основе растяжения и соответственно сжатия упругого тела можно с помощью динамометрического датчика производить измерение силы (рис. 491). Предлагаются динамометры с номинальным диапазоном от нескольких ньютон (Н) до нескольких меганьютон (мН).

Такие динамометрические датчики используются, в частности, для измерения усилий прессов либо в качестве встроенных в патрубок весовых элементов для больших емкостей.

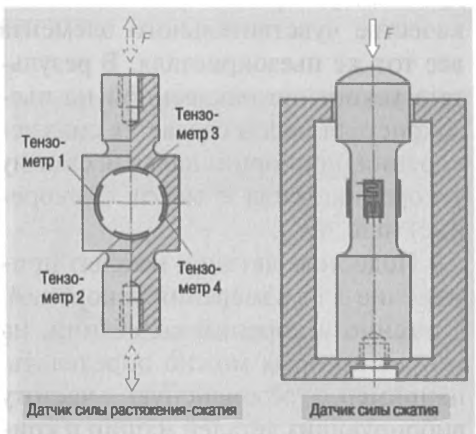


Рис. 491. Динамометрические датчики

Валы с тензометрами для измерения крутящих моментов

При таком способе измерения момент вращения воспринимается как крутящий момент (рис. 492). Через трансформатор с контактными кольцами или бесконтактным способом через индуктивный трансформатор передаются питающее напряжение тензометрической мостовой схемы измерения и сигнал датчика.

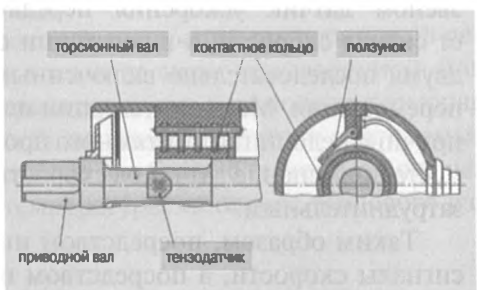


Рис. 492. Датчик крутящих моментов

Динамометрические датчики с пьезокристаллом

Кристаллы кварца и свинца-цирконата-титана при воздействии силы на их поверхность создают небольшой электрический заряд (рис. 493). Уложив слоями друг на друга несколько кристаллических пластинок, получают суммированный заряд и напряжение датчика. С помощью так называемого зарядового усилителя напряжение дат-

чика преобразуется в способный выдерживать нагрузку сигнал датчика.

Такие пьезодинамометры встраиваются в машины и оборудование для контроля допустимых нагрузок, например в подшипниковом узле шпинделя изделия токарного станка. Для определения силы резания используют трехкоординатную измерительную платформу, содержащую пьезодинамометры для трех осей измерения X, Y и Z.

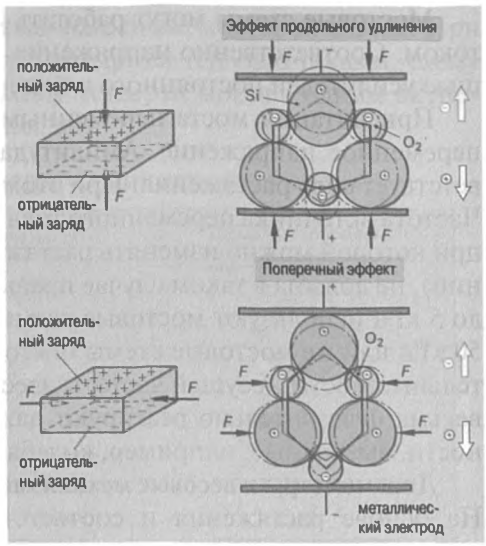


Рис. 493. Создаваемый кварцем пьезоэлектрический эффект

3.1.4. Датчики ускорения

Датчики ускорения часто имеют в качестве чувствительного элемента все тот же пьезокристалл. В результате ускорения наклеенной на пьезокристалл массы создается сила ускорения, пропорциональная самому ускорению (сила = масса × ускорение) (рис. 494).

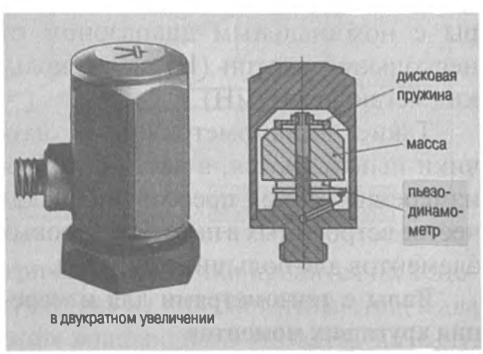


Рис. 494. Датчик ускорения

Подобные датчики находят применение для измерения ускорений, а именно ускорений колебаний, на основе которых можно определить, например, резонансную частоту вибрирующих деталей машин и критические числа оборотов.

В сочетании с интегрирующим звеном датчик ускорения передает сигнал скорости, а в сочетании с двумя последовательно включенными интегрирующими звеньями — сигнал перемещения. Метод интеграции нередко используется в ситуациях, когда по причине недостатка монтажного пространства или отсутствия опоры в нужном месте применение датчиков скорости или датчиков перемещений оказывается затруднительным.

Таким образом, посредством интеграции сигналов ускорения получают сигналы скорости, а посредством интеграции сигналов скорости получают сигналы перемещений.

3.1.5. Термодатчики

Термопары

Термоэлементы преобразуют тепловую энергию в электрические напряжения и состоят всего лишь из двух проволок разного металла — например

железа и константана. Концы проволок спаяны друг с другом (рис. 495). Если между этим местом спая и свободными концами имеется перепад температур, то на свободных концах устанавливают так называемое термонапряжение (см. табл. 61).

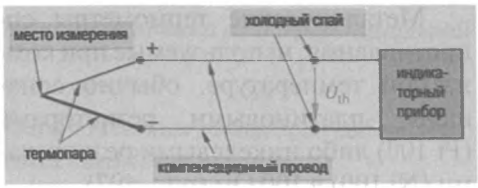


Рис. 495. Термопара

Таблица 61. Термонапряжения

Термопара	Диапазон измерения	Чувствительность при 20 °С
платино-платинородий	от –200°С до 1600°С	0,0065 мВ/К
никель-хромоконстантан	от –200°С до 800°С	0,0562 мВ/К
железо-константан	от –200°С до 600°С	0,0515 мВ/К
медь-константан	от –200°С до 500°С	0,041 мВ/К

Термоэлементы броневого типа окружены тонкой коррозионностойкой стальной оболочкой, так что они могут использоваться даже в самых неблагоприятных окружающих условиях (рис. 496).

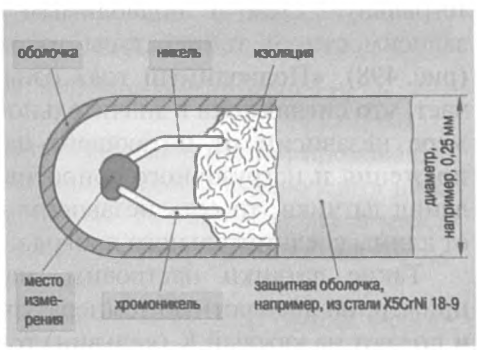


Рис. 496. Броневая термопара

Поскольку термонапряжение не очень велико, температура регистрируется через электронные измерительные усилители. Такие усилители калиброваны для наиболее распространенных термопар и учитывают в индикации некоторую нелинейность характеристики между термонапряжением и температурой.

Термоэлементы используются для точного измерения температуры в реакторах химической промышленности и в технике литья под давлением. Для измерения поверхностных температур регистрируют с помощью термопар тепловое излучение горячих поверхностей, например жидких и отжигаемых металлов, стекла и керамики. Измерительные приборы, с помощью которых достигается бесконтактное измерение температуры на основе теплового излучения, называют пирометрами.

Резистивные термометры

Резистивные термометры функционируют на основе изменения сопротивления металлов или полупроводников при изменениях температуры.

Сопротивление металлов возрастает по мере повышения температуры, а сопротивление полупроводников и некоторых металлокерамических сплавов, напротив, падает. Путем измерения сопротивления можно сделать вывод о температуре датчика.

Металлические термометры сопротивления, используемые при комнатной температуре, обычно оснащены платиновыми резисторами (Pt 100) либо никелевыми резисторами (Ni 100) в 100 Ом (рис. 497).

Резистивные термометры, как и термопары, находят применение в химических аппаратах, а также в электропечах, простых топочных установках, нагревательных котлах. Кроме того, они могут использоваться для регулирования температуры в автоклавах, в системах кондиционирования воздуха и морозильниках разного рода.

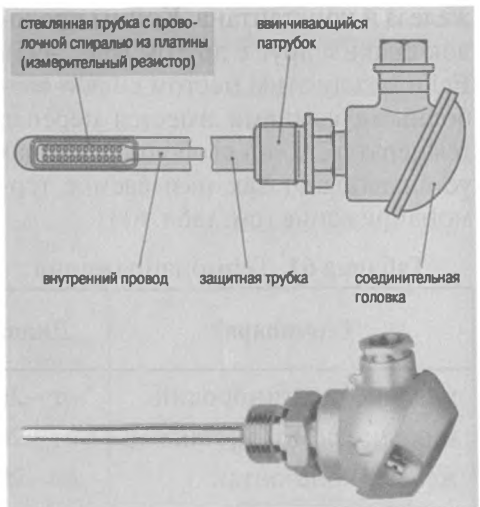


Рис. 497. Резистивный термометр

Полупроводниковые термодатчики

Полупроводниковый датчик температуры представляет собой интегральную схему с подводимым в зависимости от температуры током (рис. 498). «Подводимый ток» означает, что сигнал тока в значительной мере независим от питающего напряжения и нагрузочного сопротивления датчика, то есть независим и от длины соединительного провода.

Такие датчики настроены, например, на абсолютную температуру и подают на каждый К (кельвин) ток в 1 мкА, то есть при 25°С (298,2 К) будет иметь место ток в 298,2 мкА. Диапазон измерения составляет от –60°С до +150°С, точность измерения около 1 %.

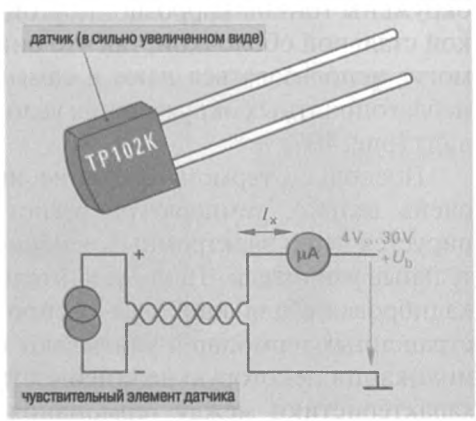


Рис. 498. Полупроводниковый датчик температуры

Полупроводниковые датчики температуры широко используются для индикации температуры, контроля температуры и регулирования температуры на многих машинах.

Повторение и закрепление материала

1. *Приведите примеры применения сенсоров.*
2. *Благодаря каким мерам сенсоры становятся датчиками измеряемых величин?*
3. *Какие механические параметры можно регистрировать с помощью потенциометрических датчиков?*
4. *Как изменяется характеристика потенциометра в зависимости от сопротивления нагрузки?*
5. *На чем основана работа бесконтактных потенциометрических датчиков?*

6. *Опишите принцип действия индуктивного датчика с дифференциальной катушкой.*
7. *Как функционирует датчик LVDT?*
8. *Каково назначение сельсина и по каким физическим законам он работает?*
9. *Опишите конструкцию тензометрического датчика.*
10. *Какие преимущества имеет полная мостовая схема по сравнению со схемой с четвертью моста?*

3.2. Двоичные сенсоры

Двоичные сенсоры — это чувствительные элементы с двоичным выходным сигналом, например с коммутационным сигналом включения/выключения, напряжением 0 В/10 В, током 0 мА/20 мА. По своему конструктивному исполнению двоичные сенсоры могут быть механическими переключателями либо аналоговыми сенсорами с электронным пороговым выключателем (триггерами). Как только регистрируемый сигнал достигает порога включения, производится операция включения. При возврате сигнала с порогом выключения ниже номинального происходит операция выключения. Разность сигналов между порогом включения и порогом выключения есть зона неоднозначности, характерная для всех двоичных сенсоров (рис. 499).

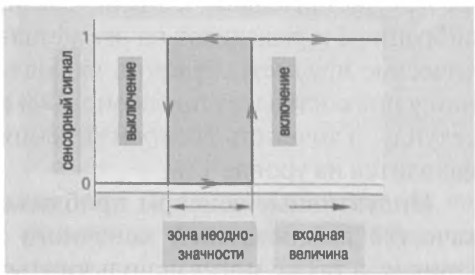


Рис. 499. Зона неоднозначности

Тактильные (контактные) сенсоры принимают сигналы на основе непосредственного прикосновения. Это могут быть, например, предельные клавишные выключатели с упругим стержнем для ощупывания предметов (рис. 500). Упругий стержень установлен в шаровом шарнире и реагирует на отклонение переключающего контакта. Контактные сенсоры широко применяют, в частности, в ленточных транспортерах для распознавания штучных изделий.

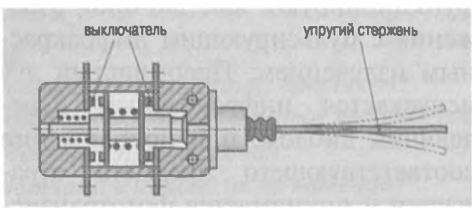


Рис. 500. Тактильный сенсор

Бесконтактные сенсоры приближения с управляемым электронным способом выходом сигнала действуют без механических элементов и поэтому практически не подвержены износу. К важнейшим бесконтактным сенсорам приближения можно отнести индуктивные, емкостные, оптические и ультразвуковые чувствительные элементы.

Индуктивные сенсоры приближения активизируются при приближении металлического предмета к сенсорной катушке (рис. 501). Присутствие металла вызывает успокоение создаваемого катушкой колебательного контура, то есть

колебательное напряжение заметно понижается. С подключенным усилителем и электронным пороговым выключателем формируется двоичный выходной сигнал. Существуют индуктивные сенсоры приближения с диаметром около 4 мм для совсем небольших коммутационных расстояний и с диаметром до 80 мм для коммутационных расстояний около 80 мм. Эти предельные выключатели не чувствительны к пыли, грязи, вибрациям и реагируют на все металлические предметы. Частота включений у них составляет примерно 3000 в секунду, а точность воспроизведения находится на уровне 1 %.

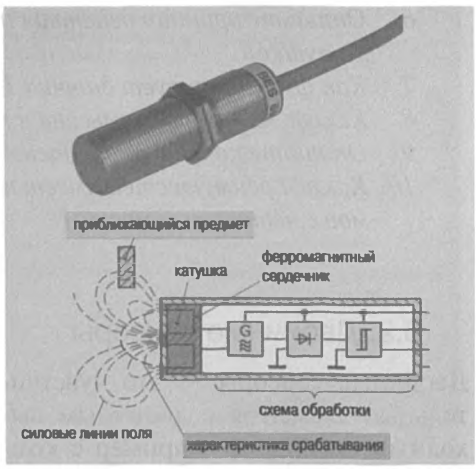


Рис. 501. Индуктивный сенсор приближения

Индуктивные сенсоры приближения находят применение, например, в качестве выключателей конечного положения в металлообрабатывающих станках, а также могут использоваться для регистрации, подсчета или сортировки заготовок на технологических поточных линиях.

Емкостные сенсоры приближения обладают такой же конструкцией корпуса, как и индуктивные сенсоры. Они реагируют на изменение частоты колебаний генератора соответствующим изменением диэлектрика в окружении сенсорного конденсатора. С помощью емкостных сенсоров приближения проводят требуемые измерения на заготовках из стекла, керамики, пластмассы, древесины, камня, а также в жидких средах — масле, воде и в разных материалах — бумаге или цементе.

Оптические сенсоры приближения функционируют как датчики отражения с пульсирующим инфракрасным излучением. Прерывистый луч испускается инфракрасным передающим диодом, при приближении соответствующего предмета отражается и принимается фототранзистором (рис. 502). Чтобы исключить помехи из-за постороннего света, инфракрасное излучение действует в пульсирующем режиме. Приемная электроника срабатывает только на пульсирующий луч фиксированной частоты. Чтобы такие сенсоры можно было использовать и в малогабаритном оборудования (например в небольших передаточных механизмах), посылаемое и отражаемое излучение может определенным образом направляться посредством гибких тонких стекловолоконных световодов. Оптические сен-

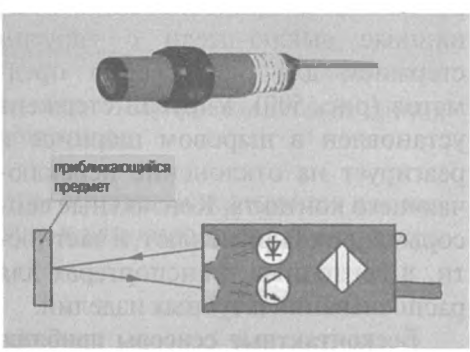


Рис. 502. Оптический сенсор приближения

соры приближения часто используются в транспортных устройствах и на монтажных площадках (рис. 503).

Двоичные термодатчики конструируются часто как биметаллические расцепители тока (рис. 504). Биметаллическая полоска, состоящая из двух металлов с разным температурным расширением, при нагревании изгибается, вызывая расцепление коммутационного контакта (рис. 504).

Наряду с биметаллом для пуска коммутационного сигнала используют и так называемые «запоминающие металлы» — материалы, обладающие эффектом памяти в отношении двух разных форм (например двух разных длин). В пределах очень короткого температурного интервала такие металлы способны, принимая разные структурные формы, осуществлять аустенитно-мартенситное превращение.

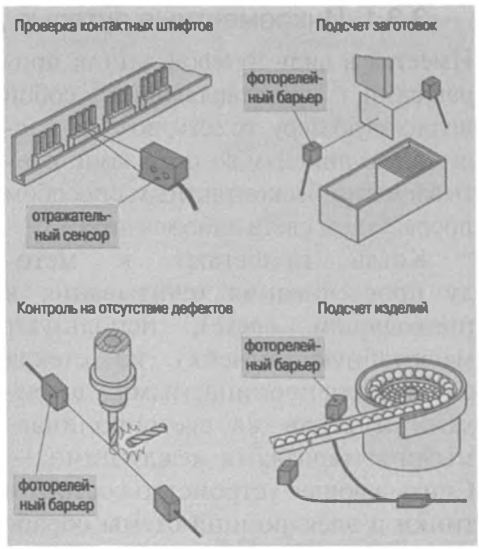


Рис. 503. Примеры использования оптических сенсоров приближения

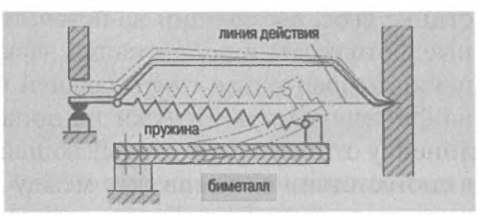


Рис. 504. Двоичный термодатчик

Двоичные термодатчики используются преимущественно для регулирования температуры в электронагревательных приборах (электроплитах, утюгах), для контроля температуры в помещениях, для защиты от перегрузок, в том числе электрических инструментов разного рода (дрелей и т. п.).

Повторение и закрепление материала

1. *Как происходит формирование сигнала у контактных датчиков?*
2. *Опишите принцип действия двоичных индуктивных сенсоров приближения.*
3. *Назовите другие виды двоичных сенсоров приближения.*
4. *Как работают двоичные термодатчики и каково их назначение?*

3.3. Цифровые сенсоры

Цифровые сенсоры регистрируют измеряемые параметры в цифровом выражении. Это могут быть отрезки пути, периоды времени или объемы энергии. Но нередко в цифровую форму преобразовывают также аналоговые сенсорные сигналы, соответствующим образом обрабатывают их с помощью микропроцессоров и готовят для специального применения. Таковыми являются, например, преобразователи видеосигнала (преобразователи свет — сигнал), позволяющие производить автоматическую оценку поверхности материалов.

3.3.1. Инкрементные путевые датчики

Имеется в виду путевой датчик приращений, представляющий собой штриховую меру, то есть, по сути, масштабную линейку со штрихами, считываемыми бесконтактным способом посредством света либо магнита.

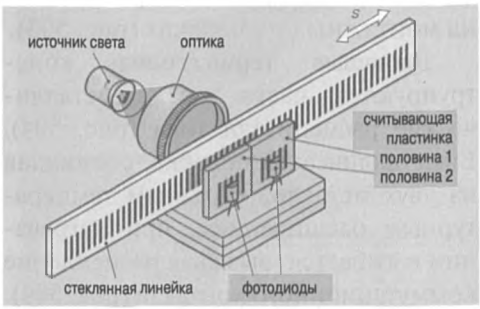


Рис. 505. Инкрементный путевой датчик

Когда прибегают к методу просвечивания (считывания в проходящем свете), используют масштабную линейку из стекла со светонепроницаемыми штрихами и столь же светопроницаемыми интервалами между ними — шириной, например, 4 мкм (рис. 505). Считывающее устройство состоит из источника света, считывающей пластинки и электронной схемы обработки данных. Считывающая пластинка, как и сама линейка, снабжена светонепроницаемыми штрихами со светопроницаемыми интервалами.

При точном совпадении интервалов на линейке и на считывающей пластинке свет, выходящий из источника света, попадает на светочувствительные фотодиоды и подвергается электронной обработке. При смещении линейки относительно считывающей пластинки на одну ширину штриха свет на фотодиоды практически не попадает. Сдвигая стеклянную масштабную линейку относительно считывающей пластинки, получают периодическое — в соответствии с интервалом между делениями — изменение силы проходящего света (рис. 506). Чтобы распознавать направление движения линейки, считывающая пластинка разделена на две части: деления на одной ее половине смещены на половину ширины штриха ($\frac{1}{4}$ периода) относительно другой половины. При этом сила света позади второй половины считывающей пластинки меняется со сдвигом на $\frac{1}{4}$ периода по сравнению с первой половиной. Если теперь линейка смещается вправо, то интенсивность света за первой половиной считывающей пластинки первой достигает максимума, после чего наступает (со сдвигом на $\frac{1}{4}$ периода) максимум интенсивности света позади второй половины пластинки. При движении линейки влево происходит все наоборот: максимум света получает сначала вторая половина считывающей пластинки. В результате возникают синусоидальное и косинусоидальное напряжения, причем оба они оцениваются абсолютно однозначно. Вычисляться могут и промежуточные значения — например 1024 промежуточных величины — речь идет о методе интерполяции. В результате мы получаем разрешающую способность масштабной линейки на уровне нанометров.

При совсем простой обработке синусоидальные/косинусоидальные напряжения преобразуются в напряжения прямоугольной формы, которые и подсчитываются счетчиком в прямом и обратном направлениях (рис. 506). Эти два напряжения U_1 и U_2 суммируются, в результате чего при движении масштабной линейки получают импульсное напряжение U_3.

Для каждого изменения напряжения в случае U_3 с помощью электронного дифференциального звена (Д-звена) получают импульс (напряжение U_4), а именно положительный импульс для изменения напряжения в положительном направлении и отрицательный импульс при изменении напряжения в отрицательном направлении. Число этих импульсов в 4 раза превышает один период штриховых делений. Этим достигается многократное увеличение градуировки шкалы и, следовательно, точность измерения в 1 мкм при периоде в 4 мкм и, значит, при ширине штриха 2 мкм.

Напряжение U_4 своей полярностью отличается от напряжений U_1 и U_2. При движении масштабной линейки вправо (черная печать) импульсы U_4 обладают такой же полярностью (направление напряжения), что и U_1. При движении линейки влево (красная печать) U_4 имеет полярность, равную U_2. Этим достигается однозначное в электрическом смысле распознавание направления движения масштабной линейки.

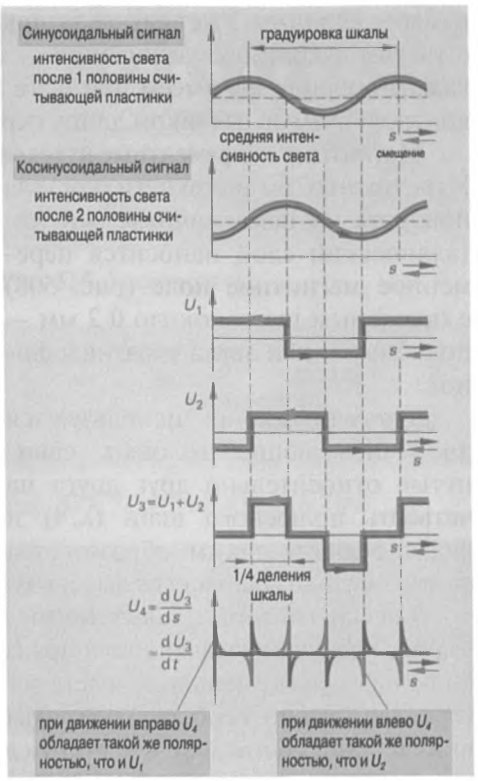


Рис. 506. Импульсные диаграммы инкрементного путевого датчика

Оптические инкрементные датчики углов поворота

Для измерения углов существуют специальные инкрементные датчики (рис. 507), у которых штриховые деления нанесены по краю диска. Для считывания таких делений предусмотрена пластинка с двумя конфигурациями штрихов, сдвинутыми относительно друг друга на 1/4 деления шкалы. Общее число штрихов составляет, например, 36 000, так что с интерполяцией 1:1024 достигается шаг измерения около 0,00001°

Угловые датчики могут использоваться, например, в сочетании с прецизионным шпинделем для

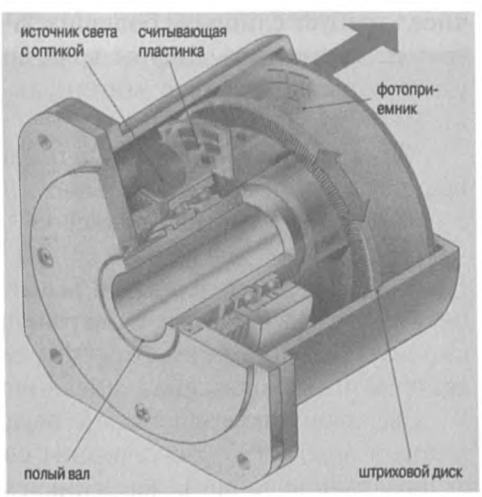


Рис. 507. Оптический инкрементный датчик углов поворота

измерения длины. Уже в случае датчика с числом штрихов 2 500 по периметру и — с учетом 4-кратного увеличения — с 10 000 электрическими импульсами на каждый оборот мы имеем при шаге ходового винта P = 10 мм минимальную контролируемую датчиком длину перемещения = 10 мм/10 000 = 1 мкм.

Магнитные инкрементные путевые и угловые датчики

У магнитных датчиков пути или угла поворота на намагничиваемый металлический слой наносится переменное магнитное поле (рис. 508) с полюсным шагом около 0,2 мм — подобно записи звука у магнитофонов.

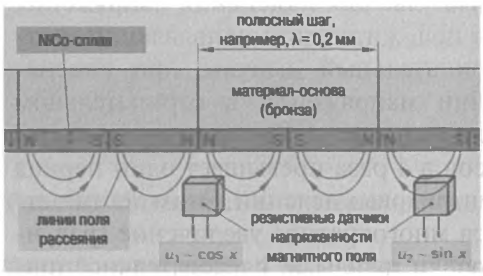


Рис. 508. Магнитный инкрементный датчик

Для считывания используются две считывающие головки, сдвинутые относительно друг друга на четверть полюсного шага (λ/4) и формирующие таким образом два синусоидальных сигнала с фазовым сдвигом.

Для считывания силовых линий магнитного поля рассеяния применяются датчики Холла, передающие напряжение в зависимости от магнитодвижущей силы на основе смещений траекторий электронов в полупроводниковых материалах (Эдвин Герберт Холл, американский физик, 1855–1938 гг.). Число приращений составляет — с учетом диаметра индуктора — до 2048 импульсов на оборот.

3.3.2. Кодовые масштабы и преобразователи угла поворота в код

Снабженные числами масштабы не годятся для путевых датчиков, поскольку автоматическое считывание чисел требует слишком больших затрат и, кроме того, цифры вряд ли удастся расположить с минимальными интервалами.

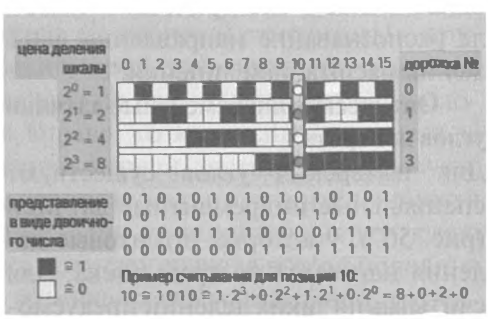


Рис. 509. Масштаб двоичного кода

Междутем, масштабы с двоичным кодированием могут считываться с указанием абсолютных размеров.

На основе определенной конфигурации (например черный и белый цвет, светопроницаемые и светонепроницаемые поля) они могут идентифицироваться с таким расчетом, что каждая позиция на масштабной шкале будет однозначно отнесена к значению того или иного числа.

Так, двоичное кодирование осуществляется иногда таким образом, что в кодовой дорожке 0 расположены светопроницаемые и светонепроницаемые штрихи равной ширины, как у инкрементного датчика (рис. 509). В кодовой дорожке 1 штрихи будут ровно вдвое шире, чем в кодовой дорожке 0. Значит, с каждым следующим шагом ширина штрихов будет удваиваться.

Как избежать ошибок при считывании

При считывании кодовых масштабов в месте перехода со светопроницаемого поля на светонепроницаемое поле не исключены ошибки, если края штрихов в отдельных дорожках шкалы и считывающая пластинка не достигают абсолютно точного совмещения, а фотодиоды обладают разной светочувствительностью. Ошибки при считывании будут тем серьезнее, чем выше разрядность соответствующей дорожки.

На основе V-развертки достигается точное и однозначное считывание масштабов в двоичном коде (рис. 510).

Если в какой-либо кодовой дорожке распознается темное поле, то для считывания следующей дорожки активизируется левый фотодиод, в противном случае активным будет правый фотодиод. Существуют масштабы с кодами, при которых от одной позиции до другой изменяется только одна дорожка, а именно таким образом, что считываемое значение при переходе через край штриха изменяется всего на один цифровой шаг. Коды такого рода, например код Грея (Э. Грей, американский ученый, 1835–1901 гг.), называют также «одношаговыми» (рис. 511). В случае кода Грея в целях надежности считывания не прибегают к V-развертке, так как у считанного значения неопределенной (ненадежной) будет только одна позиция. Код Грея не обладает разрядностью. Для дальнейшей обработки сигнала приходится прибегать к преобразованию сигналов считывания в какой-либо другой код.

На рис. 512 показан кодовый масштаб с 17 битами (дорожками). Самые

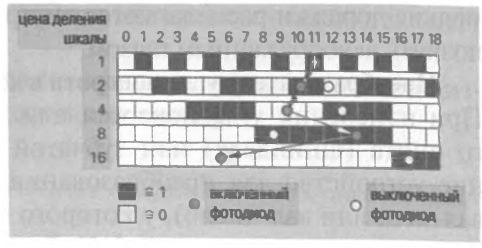


Рис. 510. V-развертка

Рис. 511. Масштаб с кодом Грея

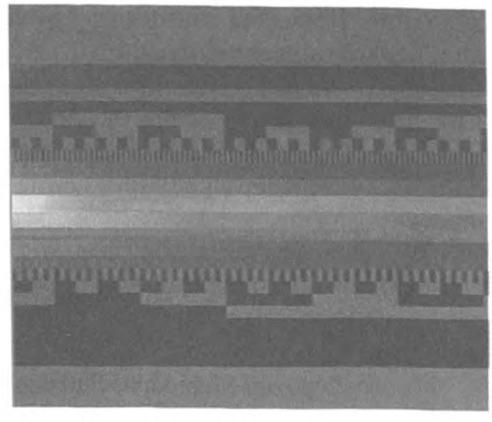


Рис. 512. Кодовый масштаб

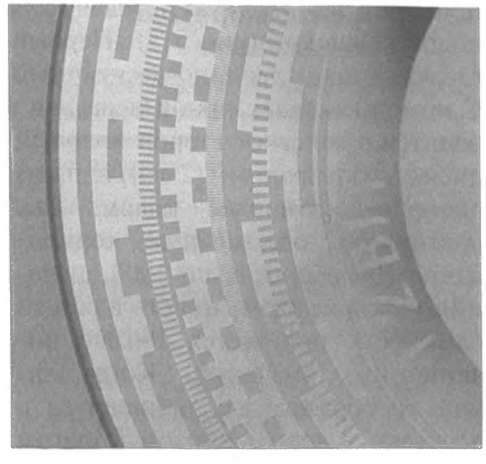


Рис. 513. Преобразователь угла поворота в код.

мелкие дорожки располагаются внутри, и их конфигурацию невозможно распознать невооруженным глазом.

Преобразователь угла поворота в код

При измерении угла поворота или измерении длины с помощью ходового винта (шпинделя) или зубчатой рейки и шестерни находит применение устройство для преобразования угла поворота в код (преобразователь вал-код, или вал-число), у которого конфигурация кода нанесена на специальный кодовый диск (рис. 513). Такие преобразователи имеют обычно от 10 до 17 битов (дорожек) и, следовательно, от $2^{10} = 1024$ до $2^{17} = 131\,072$ значений угла на оборот.

Чтобы свести к минимуму число жил в подводящих проводах преобразователей угла поворота в код и не использовать по проводу на каждую дорожку, в корпусе преобразователя часто предусматривается передающее устройство для последовательной передачи сигналов (рис. 514).

С первым спадающим фронтом тактового сигнала, идущего от приемника, в преобразователе угла поворота в код сохраняется текущее измеренное значение. Передача данных от преобразователя к приемнику осуществляется с первым нарастающим фронтом тактового сигнала. Помимо значения угла поворота, вслед за таковым может быть передан также код ошибки, например предупреждение об отказе лампы.

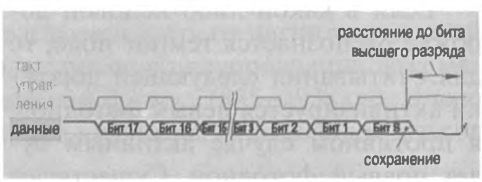


Рис. 514. Цикл запуска для передачи данных

Для преобразователей вал-код возможна и последовательная передача кодированных значений углов поворота.

Многооборотные преобразователи угла поворота в код

Для измерения с помощью преобразователей вал-код углов поворота за пределами 360°, то есть для измерения сразу нескольких оборотов, используют редукторную передачу для приведения в действие двух или более кодовых дисков (рис. 515). Первый диск несет, например, трехтетрадный (3-разрядный) двоично-десятичный код для 1000 значений угла поворота. С помощью редукторной передачи с передаточным отношением 1:100 приводится в действие второй кодовый диск с двухтетрадным (2-разрядным) двоично-десятичным кодом. Так достигается однозначное кодирование 100 оборотов по 1000 значений угла в каждом, то есть в общей сложности получается 100 000 позиционных значений. Когда такой преобразователь приводится в действие ходовым винтом с шагом 10 мм, маточная гайка на пути длиной 100 10 мм = 1 метр проходит

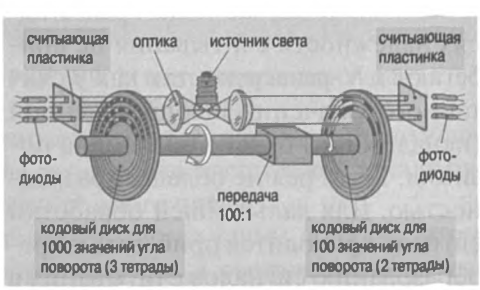


Рис. 515. Преобразователь угла поворота в код для измерения 100 оборотов по 1000 значений угла в каждом

эти 100 000 позиционных значений. Единица измерения составляет здесь 1/100 000 м = 0,01 мм.

Преобразователи угла поворота в код на основе конфигурации кода измеряют значения углов поворота по абсолютному методу.

Повторение и закрепление материала

1. *Опишите принцип действия оптического инкрементного путевого датчика.*
2. *Каким образом в случае инкрементных путевых датчиков распознают направление движения?*
3. *Каким способом можно повысить разрешающую способность инкрементных систем измерения?*
4. *Опишите принцип действия магнитного инкрементного датчика.*
5. *Чем преобразователи угла поворота в код принципиально отличаются от инкрементных путевых датчиков?*
6. *Как избежать ошибок при считывании кодовых линеек?*
7. *Каким преимуществом обладает код Грея по сравнению с двоичным кодом при использовании в кодовых линейках?*
8. *Как достигается однозначное измерение нескольких оборотов с применением преобразователя угла поворота в код?*

ГЛАВА 4

ТЕХНИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

4.1. Основные понятия

Задачей техники автоматического регулирования является достижение либо сохранение требуемых значений параметров или комплекса таких значений.

Регулирование есть процесс, при котором величина с непрерывно регулируемым значением сравнивается с другим значением, идентифицируемым как «задающее воздействие», — с последующим возможным изменением ее с целью уравнивания с указанным задающим параметром.

Приведем здесь простейший и всем понятный пример. Находясь под душем, обычно хотят получать воду с постоянной температурой (рис. 460). Регулируемой величиной является, следовательно, температура воды. Этот параметр постоянно контролируется на уровне прямых ощущений и при необходимости регулируется с помощью смесителя. При этом стремятся к тому, чтобы достигнутая температура воды, то есть ее действительное значение (регулируемая величина), по возможности соответствовало желаемой температуре, то есть заданному значению (задающему воздействию). Вся система, представленная на рис. 516, образует замкнутый контур регулирования.

Таким образом, основой процесса регулирования всегда является структура замкнутого цикла с обратной связью.

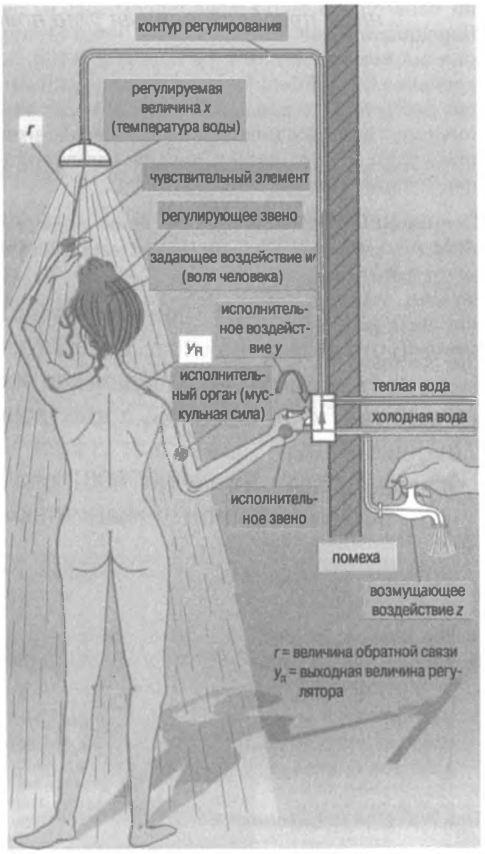


Рис. 516. Ручное регулирование температуры воды

При сбое в работе контура регулирования (допустим, в результате включения воды в соседнем помещении) вновь возникает рассогласование, а именно: разница между желаемой температурой (задающим воздействием) и фактической температурой воды (регулируемой величиной). Тогда приходится опять прибегать к помощи регулировочного крана. Но если поворачивать его слишком резко, вода поочередно будет становиться то слишком горячей, то слишком холодной — следовательно, имеют место колебания контура регулирования. И только приобретенный опыт, то есть точное знание того, как долго это продлится и когда восстановится нарушенная температуры поступающей из душа воды, а также чувствительность регулирующего вентиля, помогают плавно регулировать температуру воды без заметных колебаний.

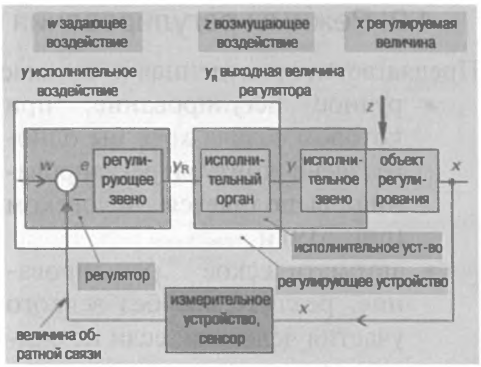


Рис. 517. Контур регулирования с регулятором, исполнительным органом, объектом регулирования и измерительным устройством (по нормам ДИН 19 226, ч.4)

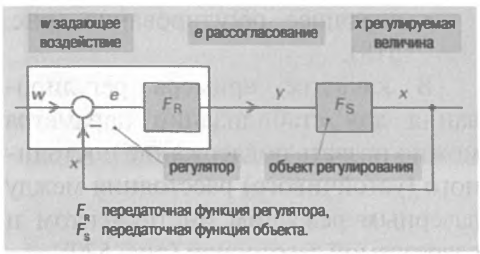


Рис. 518. Упрощенная функциональная схема регулирования

В техническом контуре регулирования регулируемая величина x воспринимается сенсором и сравнивается с задающим воздействием w на основе обычного вычитания (рис. 517). Результат вычитания (рассогласование) $e = w - x$ преобразуется регулятором в выходную величину y_R для управления объектом регулирования через исполнительный орган. Выходной величиной последнего будет исполнительное воздействие y, которое одновременно является входным сигналом объекта регулирования. А выходным сигналом объекта регулирования будет регулируемая величина x.

В установившемся (стационарном) состоянии контура регулирования рассогласование очень невелико или вообще равно нулю. При появлении каких-либо помех или в случае изменения задающего воздействия возникают рассогласования, или ошибки регулирования (разница между задающим воздействием и регулируемой величиной), компенсировать которые можно посредством измененных исполнительных воздействий y. Во избежание колебаний контура регулирования необходимо позаботиться о том, чтобы изменение исполнительного воздействия не протекало слишком быстро.

Упрощенная функциональная схема процесса регулирования (рис. 518) объединяет исполнительный орган, исполнительное звено и объект регулирования (рис. 517) в единое целое — объект регулирования. Регулятор напрямую воздействует на изменение объекта регулирования через исполнительный сигнал y.

Итак, контур регулирования состоит из регулятора и объекта регулирования.

4.2. Режимы регулирования

Предлагается приведенная ниже классификация режимов регулирования:

- ручное регулирование, при котором задача хотя бы одного звена контура регулирования выполняется человеком (рис. 519) и
- автоматическое регулирование, реализуемое без всякого участия человека, если не считать начальную установку задающего воздействия.

Рис. 519. Режимы регулирования

Далее различают следующее:

- регулирование для стабилизации параметра и
- следящее регулирование (рис. 518).

В качестве примера регулирования для стабилизации параметра можно назвать поддержание постоянного (устойчивого) расстояния между лазерным режущим инструментом и разрезаемой заготовкой (рис. 520).

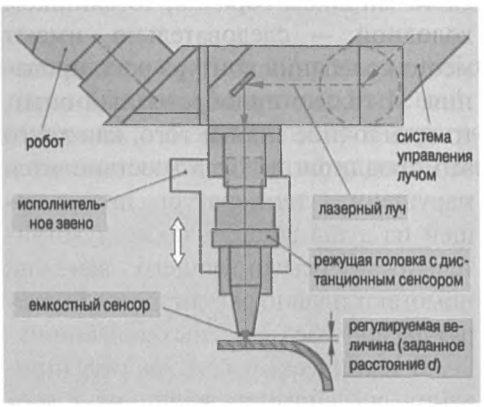


Рис. 520. Регулирование расстояния между лазерным режущим инструментом и заготовкой

Чтобы фокус лазерного луча всегда оставался на поверхности заготовки, расстояние $\boldsymbol{d}$ до сопла инструмента непрерывно контролируется емкостным сенсором и немедленно регулируется с помощью гидравлического наладочного устройства, если $\boldsymbol{d}_{действ.}$ отличается от $\boldsymbol{d}_{заданн.}$.

В процессе регулирования для стабилизации параметра регулятор непрерывно пытается привести действительное значение в соответствие с заданным значением.

Помехи в контуре регулирования способны вызвать лишь незначительное либо кратковременное отклонение действительной величины от заданной величины.

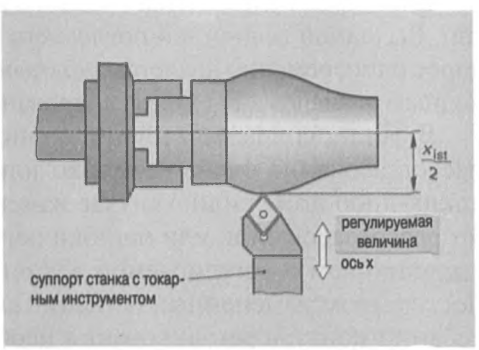


Рис. 521. Следящее регулирование для оси X при токарной обработке

Примером следящего регулирования является регулирование положения (позиционное регулирование) суппорта токарного станка (рис. 521 и 522). Там инструмент должен как можно быстрее и точнее следовать за задающим воздействием $\boldsymbol{x}_{заданн.}$, которое непрерывно вычисляется системой ЧПУ при-

менительно к обработке конкретной заготовки. Кроме того, позиционный регулятор постоянно регистрирует возникающее рассогласование $\Delta x = x_{заданн.} - x_{действ.}$ и выдает для привода подачи по оси X соответствующий исполнительный сигнал (сигнал скорости) $v_x = K_{vx} \cdot \Delta x$ (рис. 523). Теперь привод подачи переставляет суппорт станка оси X с инструментом до тех пор, пока Δx не станет равным нулю. Коэффициент K_{vx} называют еще усилением скорости.

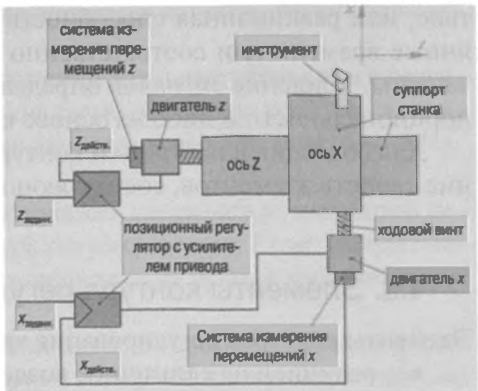


Рис. 522. Позиционное регулирование суппорта станка с токарным инструментом

Чем большим выбирается усиление скорости K_{vx}, тем чувствительнее реагирует система позиционного регулирования. При $K_{vx} = 50 \frac{м}{А}/м$ стол станка в случае $\Delta x = 1$ мм перемещается в заданную точку со скоростью $v_x = 50$ мм/с, а в случае $\Delta x = 0{,}1$ мм — со скоростью 5 мм/с. Если усиление скорости выбирается слишком высоким, стол стола выбрасывается за пределы своей конечной точки. Происходит, так сказать, реверс рассогласования. В противоположном направлении стол опять продвигается дальше установленного конечного положения, что является свидетельством определенного колебательного процесса в позиционном регулировании. Тогда говорят, что контур регулирования нестабилен.

$$v_x = K_{vx} \cdot \Delta x$$

v_x скорость в направлении x
K_{vx} усиление скорости
Δx ошибка позиционного регулирования

Рис. 523. Блок-схема позиционного регулирования суппорта станка в оси x

Для оси Z токарного станка, как и для оси X, требуется одинаковое позиционное регулирование.

При следящем регулировании регулятор действует таким образом, что регулируемая величина следует за заданной характеристикой задающего воздействия.

При изменении задающего воздействия возникают обычно лишь временные отклонения регулируемой величины.

Задачей специалиста по автоматическому регулированию является оптимальный выбор и точная настройка регуляторов. В этом процессе очень важно учитывать динамику, то есть реакционную способность регуляторов и усиление сигналов посредством отдельных элементов контура регулирования. Динамика описывается на основе постоянных времени либо их обратных значений — характеристических круговых частот. Динамика, то есть быстродейс-

твие, или реакционная способность системы тем лучше, чем меньше постоянные времени или соответственно чем выше характеристические круговые частоты. Усиление сигналов определяется посредством коэффициентов пропорциональности ***K*** либо на основе крутизны характеристических кривых.

Для создания и настройки контура регулирования требуется хорошее знание свойств элементов, составляющих этот контур.

4.3. Элементы контура регулирования

Элементы контуров регулирования характеризуются следующими признаками:

- реакцией на единичное воздействие (функция скачков) на входе,
- реакцией на синусоидальный входной сигнал и
- диаграммой Боде (соотношение амплитуд и сдвиг по фазе).

4.3.1. Пропорциональное звено без запаздывания (П-звено)

Пропорциональные звенья формируют выходной сигнал S_2, пропорциональный входному сигналу S_1 (рис. 524). В уравнении для выходного сигнала S_2 в зависимости от входного сигнала S_1 величина K_p есть пропорциональный коэффициент, или коэффициент усиления.

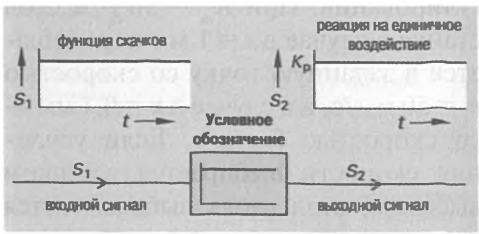


Рис. 524. Реакция на единичное воздействие и условное графическое обозначение пропорционального звена

Величину ***K*** называют коэффициентом усиления даже в тех случаях, когда ***K*** меньше 1, то есть фактически имеет место ослабление.

Примеры пропорциональных звеньев:

передаточные механизмы для усиления чисел оборотов или для усиления вращающего момента, электронные усилители сигналов, сенсоры и датчики разного рода — например тахогенератор для регистрации чисел оборотов и др. (рис. 525 и 526).

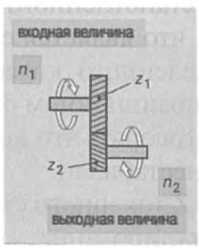


Рис. 525. Передаточные механизмы

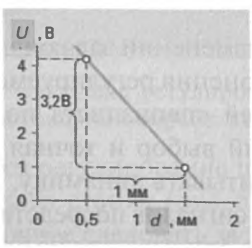


Рис. 526. Характеристика сенсора

В отношении элементов с выдержкой времени следует отметить, что если их возможные запаздывания ничтожны по сравнению с замедлением других элементов контура регулирования (например задержка сигнала в датчике чисел оборотов по сравнению с инерцион-

ностью двигателя), то считается, что такие элементы контура регулирования срабатывают без запаздывания.

На скачкообразный входной сигнал пропорциональные звенья тоже реагируют функцией скачков. В функциональной схеме элементы контура регулирования характеризуются через реакцию на единичное воздействие (рис. 524).

Определение $K_р$

Для определения $K_р$ требуется математическая связь между выходной величиной S_2 и входной величиной S_1 контура регулирования. Если эта математическая связь не известна, то ее можно определить на основе характеристической кривой или опытным путем.

Сигналы S_2 и S_1 есть относительные величины, то есть они являются числовыми параметрами без физических единиц: их получают путем деления на исходную (нормирующую) величину.

Пример 1:

Одноступенчатая зубчатая передача имеет на входной стороне шестерню с числом зубьев $z_1 = 200$ и на выходной стороне шестерню с числом зубьев $z_2 = 100$ (рис. 525). Данный передаточный механизм предусмотрен для максимального числа оборотов $n_0 = 1000$ в минуту. Требуется вычислить коэффициент пропорциональности $K_р$.

Решение:

Передаточное отношение: $I = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}$ нормирующая величина n_0

$$\Rightarrow n_2 = \frac{z_1}{z_2} \cdot n_1$$

$$\frac{n_2}{n_0} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{n_1}{n_0} \Rightarrow S_2 = K_р \cdot S_1$$

$$\frac{n_2}{n_0} = S_2, \ \frac{n_1}{n_0} = S_1 \qquad Kp = \frac{z_1}{z_2} = \frac{200}{100} = 2$$

Пример 2:

Дистанционный сенсор по мере увеличения расстояния d выдает все уменьшающийся сигнал u. При увеличении расстояния на 1 мм напряжение сенсора понижается на 3,2 В (рис. 469а). Требуется определить с помощью характеристической кривой из рис. 526 коэффициент пропорциональности $K_р$ и привести расстояние d к уровню $d_0 = 10$ мм, а напряжение u_2 к $u_0 = 5$ В.

Решение:

$$\frac{\Delta u}{\Delta d} = -\frac{3{,}2\,B}{1\,мм} \Rightarrow u = -\frac{3{,}2\,B}{1\,мм} \cdot d$$ нормирующие величины: u_0, d_0

$$\frac{u}{u_0} = -\frac{3{,}2}{1\,мм} \cdot \frac{d_0}{u_0} \cdot \frac{d}{d_0} \Rightarrow S_2 = K_p \cdot S_1$$

$$\frac{u}{u_0} = S_2, \ \frac{d}{d_0} = S_1 \quad Kp = -\frac{3{,}2\,B}{1\,мм} \cdot \frac{10\,мм}{5B} = -6{,}2$$

4.3.2. Пропорциональное звено с запаздыванием 1-го порядка (звено PT_1)

Пропорциональные звенья с запаздыванием первого порядка формируют выходной сигнал, который становится пропорциональным входному сигналу лишь спустя определенное время, то есть с некоторым запаздыванием (рис. 527). Характерными признаками звена PT_1 являются пропорциональный коэффициент (коэффициент усиления) K_p и постоянная времени запаздывания T. Реакция на единичное воздействие S_2, то есть на скачкообразный входной сигнал S_1, проявляется как экспоненциальная функция, а именно $S_2 = K_p\ [1 - \exp\ (-\ t/T)]$. Спустя время $t \approx 3T$ е-функция $\exp\ (-\ t/T)$ затухает, и тогда выходная величина будет в K_p-раз больше входной величины.

Рис. 527. Реакция на единичное воздействие и условное графическое обозначение звена PT_1

Реакция на единичное воздействие

$\exp(-t/T) = e^{-t/T}$ $\quad$ $S_2 = K_p \cdot [1 - \exp(-t/T)]$

S_2 выходная величина	t время
K_p коэффициент пропорцоинальности	T постоянная времени

Примерами звеньев PT_1 могутслужить все устройства, у которыхпосредством входной величины заряжается накопитель энергии, например конденсатор у резистивно-емкостного фильтра нижних частот; можно назвать также кинетическую энергию инерционной массы у двигателя постоянного тока при измерении напряжения якоря.

Пропорциональные звенья с запаздыванием первого порядка характеризуются одним накопителем энергии и одной постоянной времени.

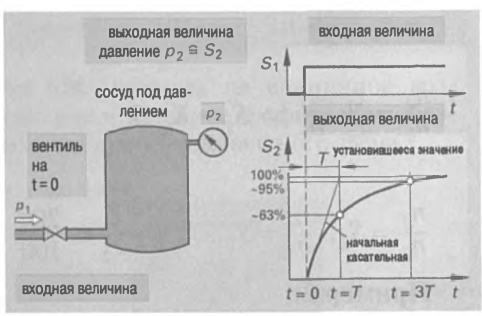


Рис. 528. Сосуд под давлением в качестве звена PT_1.

Пример 1:

Когда сосуд под давлением заполняется проходящим через вентиль потоком газа, давление p_2 в сосуде постепенно (запаздывание сигнала!) достигает давления поступающего газа (рис. 528).

Реакция на единичное воздействие в данной схеме показывает, что давление p_2 асимптотически стремится к установившемуся значению (p_1). Отложенная на этой кривой начальная касательная отделяет на линии установившегося значения временной отрезок — постоянную времени T. Большая постоянная времени (плоская форма кривой) влечет за собой и большое запаздывание сигнала, чему можно воспрепятствовать с помощью определенных конструктивных мер (путем исключения инерционных масс или иных накопителей энергии).

В системах с одним накопителем энергии (инерционная система 1-го порядка) выходная величина через время $t = T$ достигает около 63 % конечного значения, а через время $t = 3\ T$ — примерно 95 % конечного значения.

Пример 2:

Когда емкость с водой нагревается с помощью (слабого) кипятильника (не до кипения!), то температура после первоначально резкого повышения стремится к установившемуся значению υ_0 (рис. 529). В стационарном состоянии подводимая энергия равна излучаемой энергии. Характеристика сигнала соответствует звену с запаздыванием 1-го порядка (звену PT_1). Постоянную времени T определяют путем совмещения касательной с формой кривой, и эта постоянная времени будет тем больше, чем объемнее данная емкость с водой. Мощность кипятильника оказывает влияние лишь на конечную температуру, но не постоянную времени.

Пример 3:

При включении привода со значительной инерционной массой его число оборотов сначала стремительно нарастает, а затем постепенно приближается к установившемуся значению (рис. 530). Привод ведет себя соответственно звену запаздывания 1-го порядка. Постоянная времени T тем выше, чем больше инерционная масса и чем меньше крутизна скоростной характеристики $\Delta M/\Delta n$. Приложенное напряжение двигателя оказывает влияние только на достигнутое конечное число оборотов, но не на постоянную времени.

На синусоидальный входной сигнал звено PT_1 реагирует синусоидальным выходным сигналом (рис. 531). При высоких частотах амплитуда выходного сигнала очень мала (рис. 531), так как зарядка и разрядка накопителя энергии не успевают за быстрой сменой сигналов.

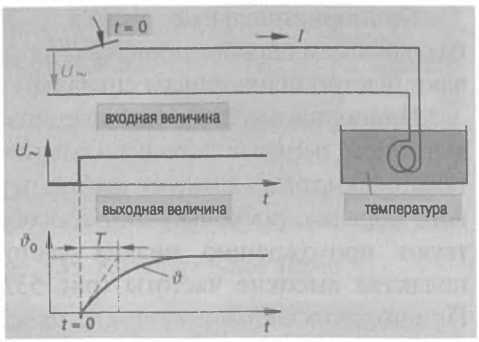


Рис. 529. Процесс нагревания емкости с водой обладает характеристикой PT_1

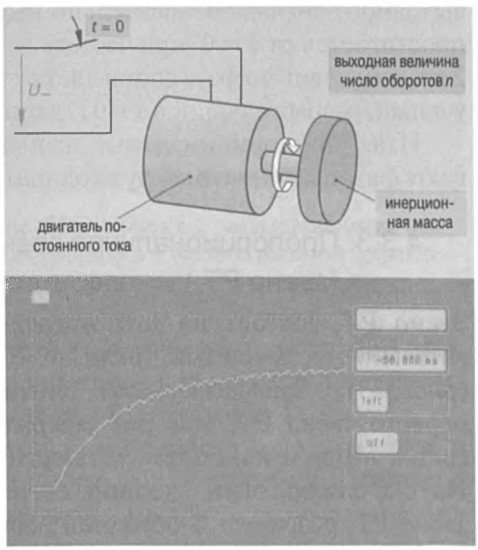


Рис. 530. Скоростная характеристика двигателя постоянного тока при скачке напряжения

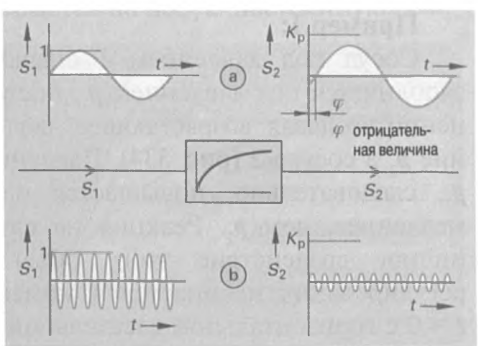


Рис. 531. Характеристика звена PT_1 при синусоидальном входном сигнале

Пропорциональные звенья с запаздыванием первого порядка сглаживают быстро меняющиеся сигналы.

Пропорциональные звенья с запаздыванием первого порядка называют также фильтрами нижних частот первого порядка, поскольку они способствуют прохождению низких частот, подавляя высокие частоты (рис. 532). При высоких частотах $\omega/\omega_0 > 1$, то есть $\omega = 2\pi f > \omega_0 = 2\pi f_0$, при низких частотах $\omega/\omega_0 < 1$, то есть $\omega = 2\pi f < \omega_0 = 2\pi f_0$. Круговой частотой $\omega = 2\pi f_0 = 1/T$ характеризуется звено PT_1. В силу того, что это звено задерживает прохождение входных сигналов, образуется фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного сигнала (рис. 475). Угол сдвига фаз простирается от $\phi = 0°$ при частоте $\omega = 0$ до $\phi = -90°$ при частоте $\omega \to \infty$. Для $\omega = 2\pi f_0 = \omega_0$ сдвиг по фазе составляет $\phi = -45°$ (рис. 475). (Г.В.Боде, американский ученый, разработавший в 1940 г. данную форму представления).

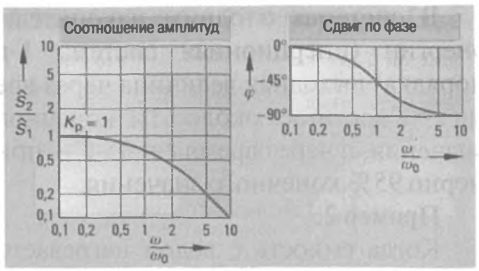


Рис. 532. Диаграмма Боде для звена PT_1

Итак, пропорциональные звенья с запаздыванием первого порядка вызывают фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами.

4.3.3. Пропорциональное звено с запаздыванием 2-го порядка (звено PT_2) и колебательное звено

Звено PT_2 состоит из двух последовательно включенных звеньев PT_1 (рис. 533). Запаздывающий сигнал первого звена PT_1 еще раз задерживается вторым накопителем энергии. На скачкообразный входной сигнал звено PT_2 реагирует S-образной переходной функцией в качестве реакции на единичное воздействие (рис. 476). Выходной сигнал начинается с горизонтальной касательной.

Рис. 533. Пропорциональное звено с запаздыванием 2-го порядка

Пример 1:

Сосуд под давлением 1 сначала заполняется под давлением p_1, постепенно создавая возрастающее давление p_2 в сосуде 2 (рис. 534). Давление p_3, следовательно, повышается еще медленнее, чем p_2. Реакция на единичное воздействие этого объекта регулирования начинается в момент $t = 0$ с горизонтальной касательной и имеет точку перегиба. При наличии касательной в точке перегиба кривой

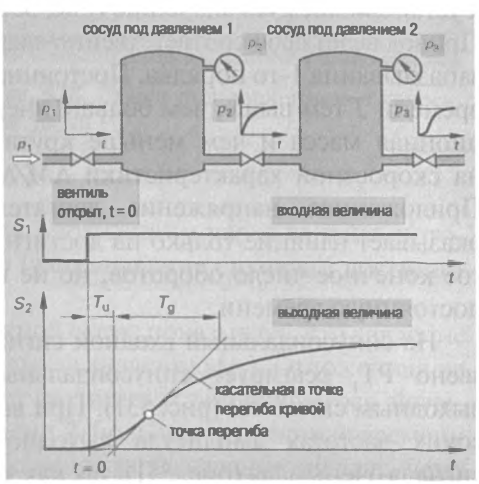


Рис. 534. Объекты с запаздыванием второго порядка и переходные функции

получают отрезки времени T_u (время задержки) и T_g (время компенсации).

Итак, объекты с запаздыванием второго порядка имеют как минимум два последовательно включенных накопителя энергии.

Колебательное звено также обладает двумя накопителями энергии, которые попеременно заряжаются и разряжаются. Поскольку при этом в большинстве случаев энергия преобразуется в теплоту, то выходной сигнал проходит по типу затухающего колебания (рис. 535).

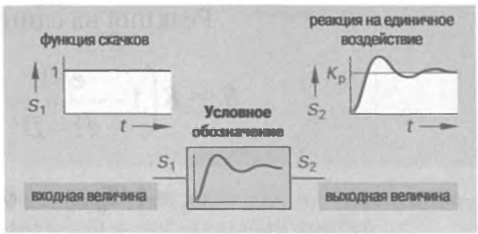


Рис. 535. Колебательное звено

Пример 2:

Когда стол станка резко ускоряется или замедляется, подшипник и ходовой винт действуют по принципу пружины (рис. 536). Стол станка отображается в эквивалентной схеме с массой ***m***. Смазочная пленка между столом станка и направляющей скольжения представляет собой демпфирующее звено со степенью успокоения ***D***. Амплитуды колебаний этой системы составляют несколько сотых миллиметра, что необходимо учитывать в случае прецизионного позиционирования (с точностью 1 мкм).

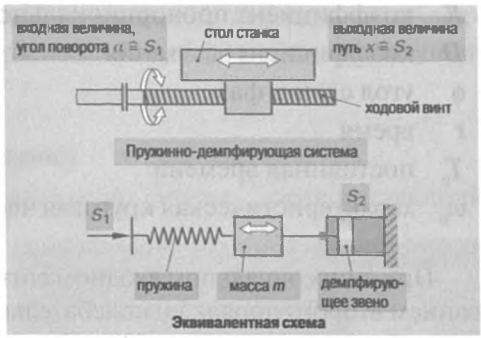


Рис. 536. Объект с запаздыванием второго порядка с колебательной характеристикой

Рассматривая эту систему с точки зрения угла поворота ходового винта и пути перемещения стола, нетрудно заметить, что она ведет себя как объект с самовыравниванием, ибо при повороте ходового винта на определенный угол стол станка занимает новую позицию — в соответствии с этим поворотом и в зависимости от шага винта.

В отношении числа оборотов ***n*** и скорости подачи ***v*** данная система также проявляет себя по типу объекта с самовыравниванием, так как при изменении числа оборотов скорость подачи устанавливается на новую постоянную величину.

Признаком колебательного звена является характеристическая круговая частота $\omega = 2\pi f_0$ и коэффициент затухания ***D*** (рис. 537). При ***D*** = 0 имеет место незатухающее колебание. При величинах между ***D*** = 0 и ***D*** = 1 характеристика колебаний демонстрирует состояние затухания. Для ***D*** > 1 колебательное звено имеет свойства пропорционального звена с запаздыванием второго порядка (PT_2).

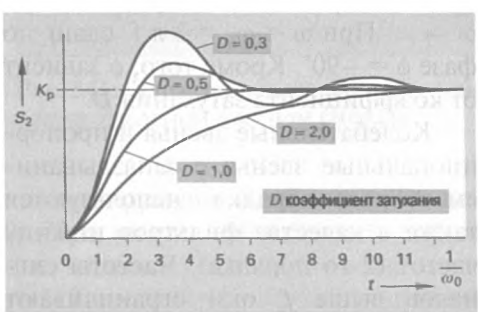


Рис. 537. Реакция колебательного звена на единичное воздействие

Реакция на единичное воздействие:

$$S_2 = K\left(1 - \frac{e^{-D\omega_0 t}}{\sqrt{1-D^2}} \sin\sqrt{1-D^2}\cdot\omega_{0t} - \varphi\right)$$

$$\omega_0 = 1/T_0 \qquad \phi = \arctan\frac{\sqrt{1-D^2}}{D}$$

S_2 выходная величина
K коэффициент пропорциональности
D коэффициент затухания
ϕ угол сдвига фаз
t время
T_0 постоянная времени
ω_0 характеристическая круговая частота.

При синусоидальном входном сигнале пропорциональное звено с запаздыванием второго порядка и колебательное звено реагируют синусоидальным же выходным сигналом (рис. 538). При $\omega << \omega_0 = 2\pi f_0$ амплитуда выходного сигнала возрастает K-кратно (рис. 538). Для $\omega >> \omega_0 = 2\pi f_0$ амплитуда выходного сигнала заметно понижается, учитывая, что $\sim 1/\omega$ (рис. 538).

При $\omega = \omega_0 = 2\pi f_0$ амплитуда выходного сигнала сильно зависит от коэффициента затухания D (рис. 539). Поскольку $\hat{S} = K/(2D)$, то при $D = 0{,}5$ амплитуда выходного сигнала в K раз больше амплитуды входного сигнала.

Выходной сигнал как в случае звена PT_2, так и в случае колебательного звена имеет фазовый сдвиг ϕ относительно входного сигнала (рис. 483). Значение такого сдвига составляет от $\phi = 0°$ при $\omega = 0$ до $\phi = -180°$ при $\omega \to \infty$. При $\omega = \omega_0 = 2\pi f_0$ сдвиг по фазе $\phi = -90°$ Кроме того, ϕ зависит от коэффициента затухания D.

Колебательные звенья и пропорциональные звенья с запаздыванием второго порядка используются также в качестве фильтров нижних частот (2-го порядка). Частоты сигналов выше f_0 они ограничивают более резко, чем фильтры нижних частот 1-го порядка. Колебательные

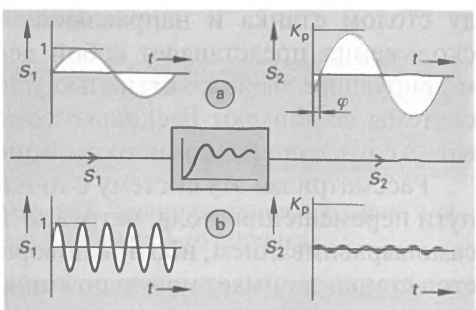


Рис. 538. Характеристика звена PT_2 и колебательного звена при синусоидальном входном сигнале

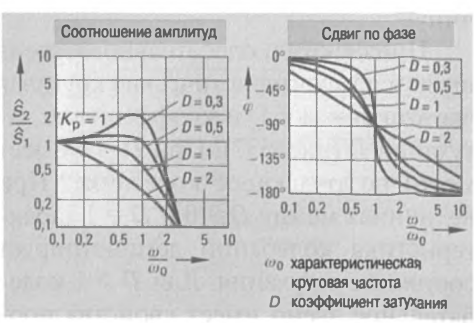


Рис. 539. Диаграмма Боде для колебательного звена и звена PT_2

звенья с небольшим затуханием нередко используются в качестве осцилляторов, например, для измерения времени. Так, в кварцевых часах кварцевый кристалл колеблется с частотой в несколько МГц.

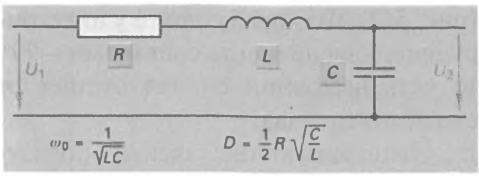


Рис. 540. Электрический последовательный колебательный контур

У колебательного звена два накопителя энергии попеременно сменяют друг друга.

Наряду с механическими колебательными звеньями, существуют и электрические колебательные звенья, состоящие из конденсатора и катушки (рис. 540).

4.3.4. Интегрирующее звено (И-звено)

Интегрирующие звенья формируют выходной сигнал, соответствующий интегралу входного сигнала (рис. 484). Под этим понимается текущее накопление входного сигнала. При этом постоянная времени интегрирования T_I показывает время, которое проходит, пока выходной сигнал имеет значение 1, если входная величина задана со значением 1 (рис. 541. Обратное значение постоянной времени интегрирования T_I называется коэффициентом воздействия по интегралу K_I. Здесь имеет силу равенство: $K_I = 1/T_I$.

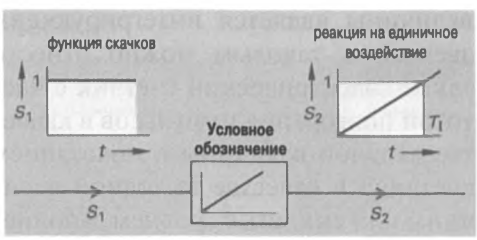


Рис. 541. Реакция на единичное воздействие и условное графическое обозначение И-звена

Реакция на единичное воздействие:

$$S_2 = \frac{1}{T_I} \quad t = K_I \quad t$$

S_2 выходная величина
T_I постоянная времени интегрирования
K_I коэффициент воздействия по интегралу
t время

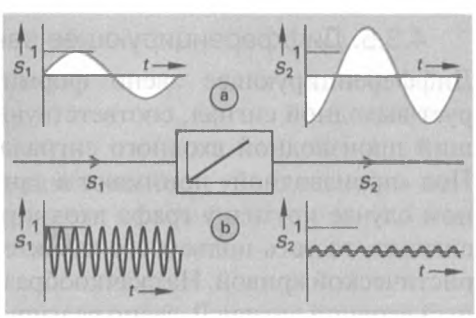


Рис. 542. Характеристика И-звена при синусоидальном входном сигнале

На синусоидальный входной сигнал интегрирующие звенья также реагируют в синусоидальной форме (рис. 542). При низких частотах сигналов, то есть при $\omega << \omega_0 = 1/T_I$, выходной сигнал во много раз больше, чем при высоких частотах сигнала, то есть при $\omega >> \omega_0 = 1/T_I$ и, наоборот, значительно меньше входного сигнала (рис. 485). Диаграмма Боде показывает также, что при $\omega = \omega_0$ амплитуда выходного сигнала и амплитуда входного сигнала подобны

(рис. 543). Фазовый сдвиг ϕ у интегрирующего звена всегда составляет –90°, то есть выходной сигнал отстает от входного сигнала.

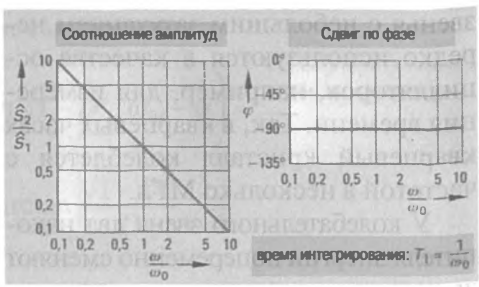


Рис. 543. Диаграмма Боде для И-звена

Интегрирующие звенья образуются при переходе значений:

- со скорости на перемещение,
- с ускорения на скорость,
- с числа оборотов на угол поворота,
- с расхода на емкость накопителя,
- с электрического тока на накопленный электрический заряд,
- с частот импульсов на показания счетчиков импульсов.

Таким образом, привод подачи с числом оборотов в качестве входной величины и углом поворота ходового винта или длиной пути перемещения стола станка в качестве выходной величины является интегрирующим звеном; к таковым можно отнести также электрический счетчик с частотой повторения импульсов в качестве входной величины и показанием счетчика в качестве выходной величины или емкость с уровнем заполнения в качестве выходной величины и расходом в качестве входной величины (рис. 544).

Рис. 544. Интегрирующие звенья

4.3.5. Дифференцирующее звено (Д-звено)

Дифференцирующее звено формирует выходной сигнал, соответствующий производной входного сигнала. Под «производной» понимают в данном случае крутизну графа входного сигнала, то есть подъем его характеристической кривой. На скачкообразный входной сигнал Д-звено реагирует только в месте скачка импульсным выходным сигналом (рис. 545). Если граф входного сигнала имеет линейное нарастание, то выходной сигнал остается постоянным.

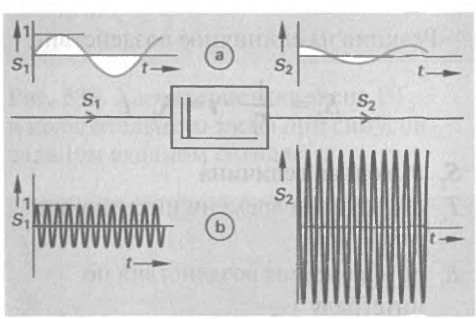


Рис. 545. Реакция Д-звена на синусоидальные входные сигналы

Дифференцирующие звенья имеют место, например, у операционных усилителей для дифференцирования сенсорного сигнала. Если это, например, сигнал перемещения x, то Д-звено посылает относящийся сюда сигнал скорости $v_x = dx/dt$. Соотношение dx/dt и есть производная.

На синусоидальный входной сигнал Д-звено реагирует тоже синусоидальным, но выходным сигналом (рис. 5465, амплитуда которого зависит от частоты. Диаграмма Боде показывает, что для $\omega < \omega_0$ амплитуда выходного сигнала меньше амплитуды входного сигнала (рис. 546). Для $\omega = \omega_0 = 1/T_D$ амплитуда выходного сигнала равновелика по отношению к амплитуде входного сигнала. Для $\omega > \omega_0$ амплитуда выходного сигнала больше амплитуды входного сигнала (рис. 546).

Рис. 546. Диаграмма Боде для Д-звена

Фазовый сдвиг между выходным и входным сигналами ϕ всегда равен +90°, то есть выходной сигнал опережает входной сигнал.

Дифференцирующие звенья усиливают высокочастотные сигналы.

4.3.6. Звено с запаздыванием (T_t-звено)

Звенья с запаздыванием при скачкообразном изменении входного сигнала вызывают скачкообразное изменение выходного сигнала, но происходит это только спустя определенное время — по истечении периода запаздывания Tt. Следовательно, выходной сигнал сдвинут по времени относительно входного сигнала (рис. 547).

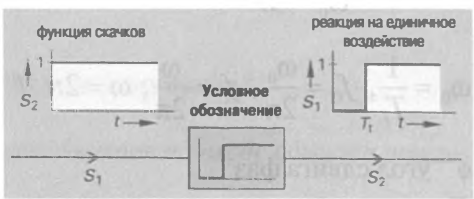


Рис. 547. Реакция на единичное воздействие и условное графическое обозначение звена с запаздыванием

$$T_t = \frac{l}{v}$$

T_t время запаздывания, выдержка времени

l длина пути при выдержке времени

v скорость сигналоносителя.

Звенья с запаздыванием всегда имеют место при обработке сигналов с помощью ВМ.

Поскольку входные сигналы от ВМ вводятся и обрабатываются только в тактовом режиме, на выходе ВМ происходит сдвиг процесса обработки на одну длительность такта.

В качестве других примеров звеньев с запаздыванием можно назвать все системы с выдержкой времени между входной и выходной величинами.

Определенные запаздывания возможны, например, при измерении толщины прокатываемой полосы металла или при смешивании текущих жидкостей (рис. 548).

На синусоидальный входной сигнал звено с запаздыванием реагирует синусоидальным выходным сигналом, который, однако, сдвинут по фазе относительно входного сигнала. Фазовый сдвиг составляет $\phi = -360°$, если время запаздывания равно длительности периода синусоидального входного сигнала. Это как раз соответствует одному периоду колебаний. Для $\omega_0 = 2\pi f_0 = 1/T_t$ фазовый сдвиг $\phi = -360°/2\pi = -57{,}3°$ (рис. 549).

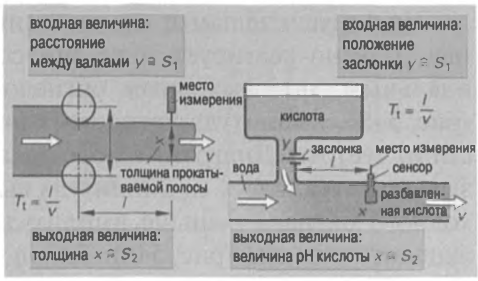


Рис. 548. Звенья с запаздыванием в цепи регулирования

Рис. 549. Диаграмма Боде для звена с запаздыванием

$$\varphi = -\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{2\pi\ f}{\omega_0} \quad \text{(в радианах)}$$

$$\varphi = \frac{\omega}{\omega_0} \cdot \frac{180^o}{\pi} \quad \text{(в градусах)}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{T_t},\ f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi},\ f = \frac{\omega}{2\pi},\ \omega = 2\pi\ f$$

ϕ угол сдвига фаз

T_t время запаздывания

ω_0 характеристическая круговая частота

f_0 характеристическая частота

ω круговая частота

f частота.

Пример 1:

Измерительному прибору с микро-ВМ для текущей обработки результатов измерений требуется время = 1 мс. Какой сдвиг по фазе создает этот прибор в объекте регулирования при частоте $f = 200$ Гц?

Решение:

$$\varphi = -\frac{2\ \pi\ f}{\omega_0} \cdot \frac{180^o}{\pi} \quad \omega_0 = \frac{1}{T_t} = \frac{1}{0{,}001\ c} = 1000\ \frac{1}{c}$$

$$\varphi = \frac{2 \cdot 200\ c^{-1} \cdot 180^o}{1000\ c^{-1}} = -72^o$$

Пример 2:

Между регулируемыми валками прокатного стана и толщиномером для контроля толщины изделий имеется расстояние $l = 0{,}5$ м. Прокатываемый металл производится со скоростью $v = 2$ м/с. Каким будет время запаздывания при таком измерении?

Решение:

$$T_t = \frac{l}{v} = \frac{0{,}5\,м}{2\,м/с} = 250 \text{ мс.}$$

Пример 3:

При контроле расстояния с помощью ультразвуковых дистанционных сенсоров регистрируется объект с удаленностью на 10 метров. Требуется определить время запаздывания и частоту, при которых возникает сдвиг по фазе, равный –30°

Решение:

$$T_t = \frac{2 \cdot 10\,м}{330\,м/с} = 60 \text{ мс,}$$

двойная длина пути прохождения сигнала в прямом и обратном направлениях; звуковая скорость = 330 м/с.

$$f = \frac{-\varphi \cdot \omega_0}{2\,\pi} = \frac{30^o}{2\,\pi} \cdot \frac{1}{0{,}06\,c} = 79{,}7 \text{ Гц}$$

Повторение и закрепление материала

1. *Каковы характерные признаки систем регулирования?*
2. *Как определяется рассогласование?*
3. *Какова функция исполнительного воздействия на входе объекта регулирования?*
4. *Из каких звеньев состоит контур регулирования?*
5. *Как классифицируются автоматические системы регулирования?*
6. *В чем особенность следящего регулирования?*
7. *Чем характеризуются звенья контура регулирования?*
8. *Какова роль пропорционального звена в контуре регулирования?*
9. *Как обозначаются пропорциональные звенья в функциональной схеме?*
10. *Что показывает диаграмма Боде?*
11. *Какими свойствами обладают пропорциональные звенья с запаздыванием первого порядка?*
12. *Как функционирует интегрирующее звено?*
13. *Как ведут себя выходной и входной сигналы в случае дифференцирующего звена?*
14. *Чем отличаются звенья с запаздыванием?*

4.3.7. Взаимодействие нескольких элементов контура автоматического регулирования

В контурах регулирования передача сигнала происходит от одного звена контура к следующему звену. Таким образом, выходной сигнал одного звена контура регулирования одновременно является входным сигналом следующего звена и т. д.(рис. 550).

Общее усиление сигнала есть результат усилений отдельных звеньев контура регулирования. Если, например, первое звено контура усиливается на коэф-

фициент $\hat{S}_2/\hat{S}_1$=2, а второе звено — на коэффициент $\hat{S}_2/\hat{S}_1$=1,2, то общее усиленпаздыванием первого порядка (звена PT_1), ходового винта подачи со столом станка в качестве интегрирующего звена (И-звена) и системы измерения перемещений с передачей цифрового сигнала в качестве звена с запаздыванием (T_t-звена) (рис. 551).

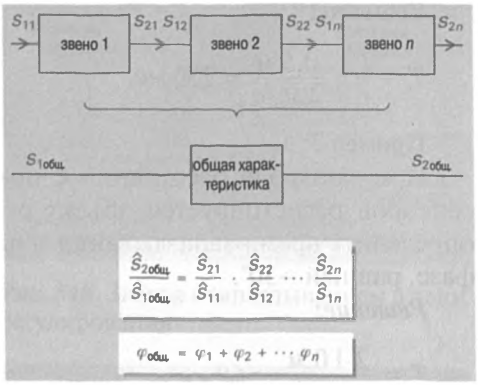


Рис. 550. Определение общего усиления и общего фазового сдвига

Характеристические параметры: K_p = 2, T_1 = 0,01 с, T_t = 0,008 с. Определить общее усиление составит $\hat{S}_{2\,общ.}/\hat{S}_{1\,общ.}$=2·1,2 = 2,4. Единичные усиления (соотношения амплитуд) у многих звеньев контура регулирования зависят от частоты. В таком случае и общее усиление будет зависимым от частоты. Это означает, что при умножении этих усилений всегда надо умножать единичные усиления при одной и той же частоте или круговой частоте.

Итак, усиления умножаются при последовательном соединении элементов контура регулирования.

Фазовый сдвиг каждого звена контура регулирования вызывает дальнейший фазовый сдвиг входного сигнала. Таким образом, у последовательно включенных звеньев суммируются все углы сдвига по фазе, имеющие место при определенной частоте.

Вывод: углы сдвига по фазе суммируются при последовательном включении звеньев контура регулирования.

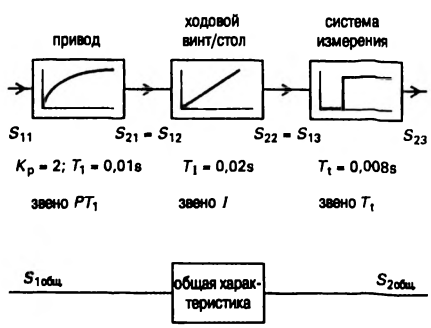


Рис. 551. Взаимодействие трех звеньев контура регулирования

Упражнение:

Объект регулирования состоит из следующих элементов: привода с усилителем в качестве пропорционального звена с заие и общий сдвиг по фазе для f= 10 Гц.

Решение:

Определяем отдельные усиления для ω = 2 π f ·10 Гц = 62 1/с.

Для звена PT_1 получаем:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_1} = 100\frac{1}{A} \Rightarrow \omega/\omega_0 = 0{,}6\,.$$

Из диаграммы на рис. 475 следует:

$$\hat{S}_2/\hat{S}_1 = 0{,}85,\ K_p = 1{,}7,\ \phi_1 \approx -35^\circ$$

Для И-звена имеем:

$\omega_0 = \frac{1}{T_1} = 50\frac{1}{A} \Rightarrow \omega/\omega_0 \approx 1{,}2$. Из диаграммы на рис. 486 следует:

$\hat{S}_2/\hat{S}_1 = 0{,}83,\ \phi_{12} = -90°$

Для T_t-звена действительно:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_t} = 125\frac{1}{c} \Rightarrow \omega/\omega_0 \approx 0{,}5.$$

Согласно диаграмме на рис. 489, имеет силу:

$\phi_3 = -28°$

Общее усиление при $f = 10$ Гц составляет:

$$\frac{\hat{S}_{2\text{общ.}}}{\hat{S}_{1\text{общ.}}} = 1{,}7 \cdot 0{,}83 \quad 1 = 1{,}41$$

Общий сдвиг по фазе равен:

$\phi_{\text{общ.}} = -35° - 90° - 28° = -153°$

4.4. Регуляторы и контуры регулирования

Переключающие регуляторы изменяют исполнительное воздействие в прерывистом режиме путем переключения в две или несколько ступеней и состоят из коммутационных контактов или электронных триггерных схем.

Аналоговые регуляторы изменяют исполнительное звено в постоянном режиме и в большинстве случаев представляют собой операционные усилители.

Цифровые регуляторы изменяют исполнительное воздействие очень мелкими ступенями, так что градация регулируемой величины становится практически незаметной. Они состоят обычно из микроконтроллерных схем.

4.4.1. Переключающие регуляторы

Двухпозиционные регуляторы имеют два однозначных коммутационных положения (рис. 552) и находят применение, например, в контурах регулирования температуры. У биметаллического регулятора сенсор, холодный спай и переключательный элемент образуют единый унифицированный блок (рис. 553). При повышении температуры выше заданного значения нагретая накалом (действительная температура) биметаллическая пружина изгибается и отключает нагрев. При понижении температуры ниже предельного значения биметаллическая пружина вновь включает нагрев. Чтобы при включении и при выключении избежать искрообразования по причине слабого контактного перехода или прерывания контактов, с помощью постоянного магнита выполняется мгновенное соединение либо прерывание. Под действием этого постоянного магнита возникает разница между температурами включения и выключения (рис. 554).

Переключающие регуляторы используются не только для контроля температуры, но нередко и для регулировки давления и измерения уровня заполнения. Если у компрессорной установки давление в ресивере падает ниже допустимого нижнего предела, то через датчик давления осуществляется включение двигателя компрессора. Если же достигается верхнее предельное значение, то двигатель компрессора выключается.

Чем больше разница между температурами включения и выключения, тем сильнее колебания регулируемой величины вокруг заданного значения.

Трехпозиционные регуляторы обладают тремя однозначными коммутационными положениями (рис. 555) и тоже часто используются для регулирования температуры. Так, в установке кондиционирования воздуха три коммутационных положения отнесены к функциям: нагрев включен, нагрев/охлаждение выключены и охлаждение включено.

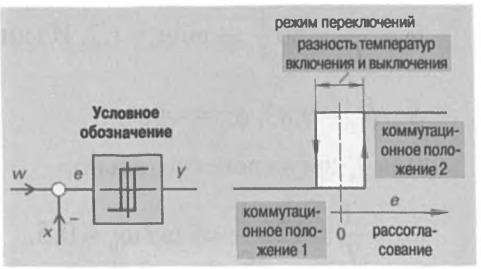


Рис. 552. Двухпозиционный регулятор

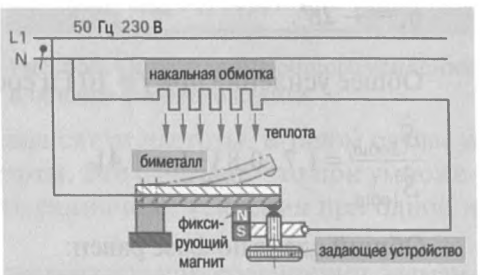


Рис. 553. Биметаллический регулятор

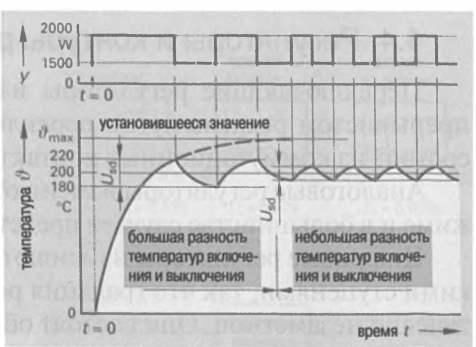


Рис. 554. Регулировка температуры с помощью двухпозиционного регулятора

4.4.2. Аналоговые регуляторы

У аналоговых регуляторов исполнительное воздействие в пределах области его изменения может принимать любые значения. Такие регуляторы называют также статическими.

Пропорциональные (статические) регуляторы

П-регуляторы относятся к простейшим из регулирующих устройств. Они усиливают рассогласование и в усиленном виде выдают его как исполнительное воздействие.

В качестве примера контура регулирования с аналоговым механическим регулятором можно вспомнить восходящее еще к временам Джеймса Уотта (1784 г.) регулирование чисел

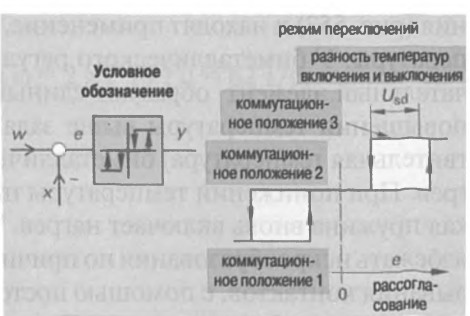


Рис. 555. Трехпозиционный регулятор

оборотов паровой машины с центробежным регулятором (рис. 556 и 557). Регулируемой величиной здесь является число оборотов, заданное значение которого можно изменять с помощью установочного винта.

В показанном пусковом положении паровой клапан полностью открыт; паровая машина запускает рабочую машину. Если число оборотов повышается, грузы под действием центробежной силы медленно начинают перемещаться наружу, пока при слишком высоком числе оборотов упор не потянет втулку вверх. Поперечное сечение на впуске клапана уменьшается, приток энергии дросселируется, и устанавливается желаемое число оборотов рабочей машины.

Когда рабочая машина нагружается, то есть число оборотов превышает заданное значение, грузы уходят вниз, паровой клапан открывается, число оборотов падает.

Здесь речь идет о пропорциональном регуляторе, поскольку изменение регулируемой величины приводит к пропорциональной перестановке исполнительного органа. Значение регулируемой величины регистрируется системой измерения (центробежные грузы, втулка, пружина) и с усилением посредством передаточного отношения рычага a:b поступает на исполнительный орган.

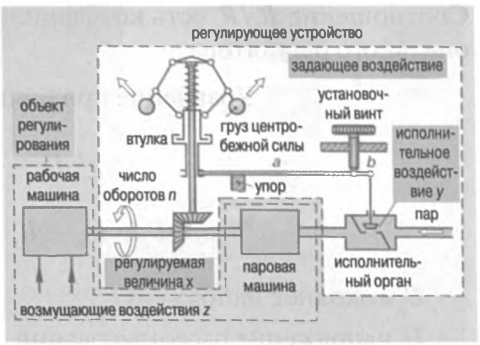


Рис. 556. Исторический пример: центробежное регулирование

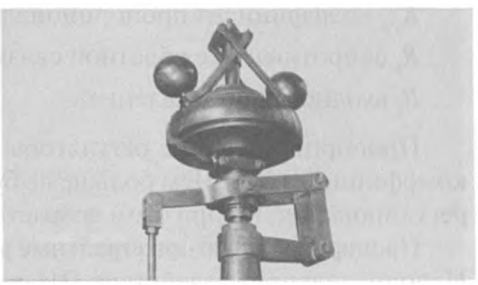


Рис. 557. Исторический пример: центробежный регулятор

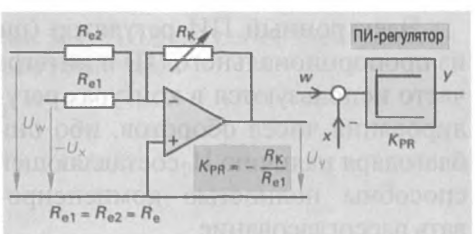


Рис. 558. Электронный пропорциональный регулятор

Простым примером электронного П-регулятора является включенный по типу сумматора операционный усилитель (рис. 558). На $\boldsymbol{R}_{e2}$ имеет место напряжение $\boldsymbol{U}_w$, соответствующее заданному значению регулируемой величины, а на $\boldsymbol{R}_{e1}$ — напряжение $\boldsymbol{U}_x$, соответствующее действительному значению. Выходное напряжение пропорционально сумме этих напряжений, причем $\boldsymbol{U}_w$ и $\boldsymbol{U}_x$ должны иметь разные знаки. В результате операционный усилитель формирует напряжение, соответствующее рассогласованию $\boldsymbol{e}$. На основе выбора соответствующих резисторов удается создать такой регулятор с расчетом на соответствующие требования. Уравнение регулятора показывает пропорциональность между выходным и входным напряжениями.

Соотношение R_k/R_e есть коэффициент пропорциональности R_{PR} пропорционального регулятора.

Уравнение пропорционального регулятора:

$$U_y = -K_{PR} \quad U_e$$

$$U_e = U_w - U_x \qquad K_{PR} = R_k/R_e$$

U_y выходное напряжение

U_e напряжение рассогласования

U_w напряжение заданного значения

U_x напряжение действительного значения

K_{PR} коэффициент пропорциональности

R_k сопротивление обратной связи

R_e входное сопротивление.

Пропорциональные регуляторы усиливают рассогласование на основе коэффициента K_{PR}. Чем больше выбранный K_{PR}, тем точнее работает система регулирования, но при этом возрастает и склонность к колебаниям.

Пропорционально-интегральные регуляторы

Исполнительное воздействие ПИ-регуляторов состоит из двух компонентов. Одна часть реакции на единичное воздействие пропорциональна рассогласованию (П-составляющая), другая часть (И-составляющая = $1/T_п$) пропорциональна рассогласованию и времени.

Электронный ПИ-регулятор (рис. 559) представляет собой комбинацию из пропорционального (П) и интегрального (И) регуляторов. ПИ-регуляторы часто используются в контурах регулирования чисел оборотов, ибо они благодаря наличию И-составляющей способны полностью компенсировать рассогласование.

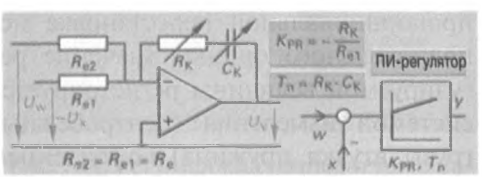


Рис. 559. Электронный пропорционально-интегральный регулятор

ПИ-регуляторы усиливают и интегрируют рассогласование. При этом исполнительный орган продолжает перенастраиваться до полного исчезновения рассогласования.

Уравнение пропорционально-интегрального регулятора

$$K_{PR} = -R_K/R_e \qquad U_Y = K_{PR}\left(U_e + \frac{1}{T_n}\int U_e\, d\,t\right)$$

$$T_п = R_K\, C_K$$

Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы

ПИД-регуляторы относятся к самым универсальным регулирующим устройствам (рис. 560). Исполнительный сигнал формируется на основе рассогласо-

вания в результате пропорционального усиления (П-составляющая), интеграции рассогласования (И-составляющая) и дифференцирования рассогласования (Д-составляющая). При этом П-составляющая при появлении ошибки регулирования немедленно подает исполнительный сигнал. Посредством И-составляющей = $1/T_n$ исполнительный сигнал изменяется до полной компенсации рассогласования. Д-составляющая активизируется только в случае изменения ошибки регулирования, при постоянном же рассогласовании Д-составляющая никак не реагирует.

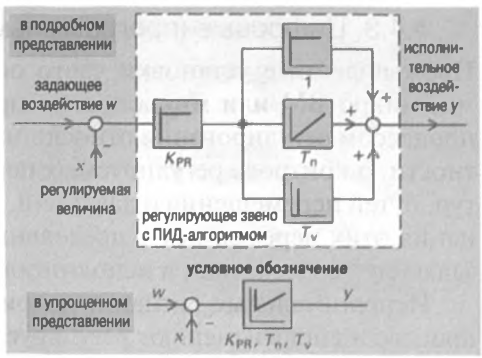


Рис. 560. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор

ПИД-регуляторы можно скомпоновать, например, из операционных усилителей (рис. 561). При этом операционный усилитель на входе образует рассогласование, три параллельных операционных усилителя формируют П-составляющую, И-составляющую и Д-составляющую, а дополнительно включенный операционный усилитель суммирует эти три составляющих сигнала (рис. 561).

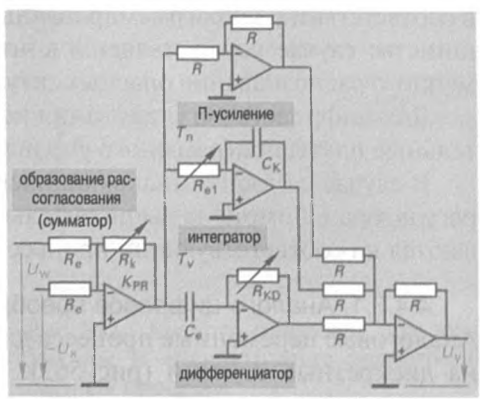


Рис. 561. ПИД-регулятор с операционным усилителем

Уравнение пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора:

$$U_y = K_{PR}\left(U_e + \frac{1}{T_n}\int U_e \; dt + T_v \frac{dU_e}{dt}\right)$$

$$K_{PR} = \frac{R_k}{R_e} \; ; T_n = C_k \cdot R_{el}; \; T_v = C_c \cdot R_{KD}; \; U_e = U_w - U_x$$

Недостатком ПИД-регулятора считается тот факт, что для оптимальной его настройки требуется три параметра, а именно: K_{PR}, T_n и T_v. Это довольно затруднительно, если учесть, что для опробования каждого параметра с 10 разными значениями потребуется произвести в общей сложности 10 x 10 x 10 = 1000 проверок.

Поэтому чаще все-таки используются П- или ПИ-регуляторы. Впрочем, выбор типа регулятора во многом зависит также от особенностей объекта регулирования. Контур регулирования должен обладать устойчивой характеристикой.

Итак, ПИД-регуляторы усиливают, интегрируют и дифференцируют рассогласование и имеют универсальное применение.

4.4.3. Цифровые (программные) регуляторы

Промышленные установки часто оснащаются вычислительными машинами, микро-ВМ или микропроцессорами. Задачей ВМ является управление процессом регулирования относящихся к ним систем. Здесь речь идет, в частности, о контроле регулируемых переменных процесса, например температур, путей перемещения и давлений, а также о регистрации результатов сравнения этих переменных с предельными значениями и данных вычисления задающих воздействий и исполнительных сигналов.

Исполнительные сигналы, например напряжения тока, воздействуют на процесс и вновь изменяют регулируемые переменные. Таким образом, создаются замкнутые линии управления, и регулятор реализуется здесь как компьютерная программа. Задачи компьютера при этом состоят в следующем: формирование рассогласований и вычисление исполнительных воздействий в соответствии с запрограммированными свойствами регулятора. Далее в большинстве случае осуществляется контроль рассогласований с целью своевременного распознавания опасных ситуаций.

Для цифрового регулирования используют обычно микроВМ и дополнительные платы программного управления от ЗУ (SPS).

В случае самооптимизирующихся систем характеристики используемого регулятора с помощью вычислительной программы автоматически настраиваются на соответствующий процесс.

4.4.3.1. Аналого-цифровое преобразование и дискретизация сигналов

Аналоговые переменные процесса для обработки в ВМ подлежат разделению на дискретные ступени (рис. 562). По числу ступеней позиционирования можно определить требуемую длину слова ВМ. При этом для ВМ устанавливают длину шага перемещения (расчетную точность позиционирования), которая значительно меньше действительной точности позиционирования машины. Это делается с учетом того, что в противном случае при малых скоростях потребовался бы большой период дискретизации с неизбежными в таких случаях ошибками.

Вычислительная машина не может непрерывно обрабатывать сигналы параметров процесса, она делает это в определенные моменты прогона программы, например каждые 10 мс. В этом случае говорят о дискретизации во времени.

Упражнение:

Рабочее пространство робота имеет диаметр 2 метра.

а) За сколько угловых шагов будет совершаться регистрация угла поворота в базовой оси, если длина шага перемещения в 0,1 мм должна достигаться даже на самом краю рабочего пространства?

б) Сколько битов должен иметь аналого-цифровой преобразователь и с какой длиной слова надо вычислять задающие воздействия для осевых движений в ВМ?

Решение:

Периметр рабочего пространства:

$U = \pi \cdot D = \pi \cdot 2\text{ м} = 6283{,}2\text{ мм}.$

а) Число угловых шагов z по 0,1 мм:

$z = 6283{,}2$ мм/0,1 мм = **62 832.**

б) Длина слова b:

$z = 2^b \Rightarrow b = \text{lb}\ 62\,832 \leq 16 \Rightarrow$ **16 бит.**

Цифровое регулирование действует с величинами, дискретными по значению и по времени.

Непрерывный во времени и непрерывный по значению сигнал параметра процесса преобразуется в цифровую форму посредством аналого-цифрового преобразователя, звеньев выборки и фиксации дискретных данных. Считывание (прием в ВМ) этих преобразованных в цифровую форму величин осуществляется через определенные промежутки времени T_A (дискретизация по времени) (рис. 563).

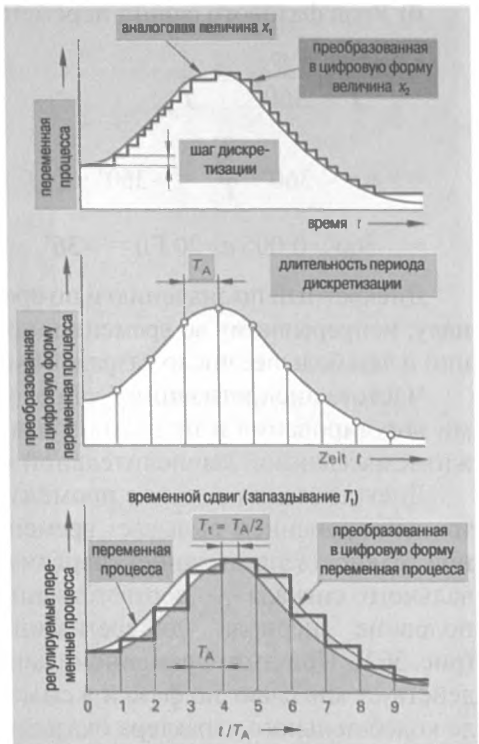


Рис. 562. Аналого-цифровое преобразование и дискретизация аналогового сигнала процесса

$$T_A = \frac{1}{f_A} \qquad T_P = \frac{1}{f}$$

$$T_t = \frac{T_A}{2} \qquad \frac{\varphi}{360^\circ} = -\frac{T_t}{T_p}$$

T_A время дискретизации (длительность периода считывания)

f_A частота дискретизации

T_p длительность периода прохождения сигнала параметра процесса

f частота сигнала параметра процесса

T_t запаздывание

ϕ угол фазового сдвига.

Упражнение:

Сигнал процесса с колебаниями частотой $f = 20$ Гц дискретизируется с частотой $f_A = 100$ Гц.

а) Каким будет запаздывание T_t?

б) Какой угол фазового сдвига ϕ имеет преобразованная в цифровую форму переменная процесса по сравнению с первоначальным сигналом процесса?

Решение:

а) Запаздывание:

$$T_t = \frac{T_A}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{f_A} = \frac{1}{2 \cdot 100\ Гц} = \mathbf{0{,}005\ с.}$$

б) Угол фазового сдвига переменной процесса:

$$T_p = \frac{1}{f} \text{ и } \frac{\varphi}{360^\circ} = -\frac{T_t}{T_p}$$

$$\Rightarrow \phi = -360^\circ \cdot \frac{T_t}{T_p} = -360^\circ \quad T_t \cdot f$$

$$= -360^\circ \cdot 0{,}005 \text{ с} \cdot 20 \text{ Гц} = \mathbf{-36^\circ}.$$

Дискретный по значению и по времени сигнал тем точнее соответствует сигналу, непрерывному во времени и по значению, чем выше частота дискретизации и чем большее число разрядов имеет аналого-цифровой преобразователь.

Частота дискретизации f_A определяется быстродействием ВМ, алгоритмами регулирования и прочими задачами вычисления, а также числом обслуживаемых данной вычислительной машиной контуров регулирования.

Дискретизация вместе с промежуточным хранением вызывает временной сдвиг (запаздывание) первоначального сигнала — соответственно половине периода дискретизации (рис. 562). При этом временной сдвиг действует как сдвиг по фазе и в смысле колебательного характера оказывает на контур регулирования столь же неблагоприятное воздействие, как и, например, звенья с запаздыванием. Фазовый сдвиг в результате промежуточного хранения заметно возрастает с увеличением частоты сигнала параметра процесса.

Следовательно, частота дискретизации в случае цифрового регулирования должна выбираться как можно большей.

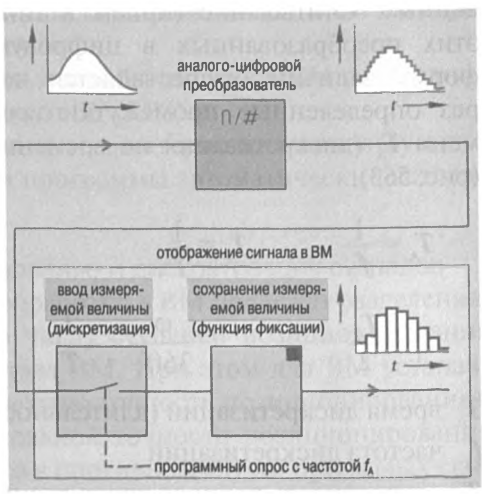


Рис. 563. Функциональная схема сигналов параметров процесса, обрабатываемых посредством ВМ

4.4.3.2. Алгоритм регулирования

Подобно ПИД-регулятору в технике аналогового регулирования, в случае техники цифрового регулирования также применяют ПИД-алгоритм для вычисления исполнительного воздействия.

Алгоритм есть установленная в полном объеме последовательность операторов, согласно которым обрабатываются данные ввода и формируются данные вывода.

У алгоритмов ПИД-регулирования различают алгоритм положения и алгоритм скорости.

ПИД-алгоритм положения

У ПИД-регулятора исполнительное воздействие y складывается из: составляющей, пропорциональной рассогласованию e; составляющей, соответс-

твующей интегралу рассогласования по времени; составляющей, соответствующей производной рассогласования по времени.

При цифровом регулировании рассогласование не носит непрерывного характера, а проявляется лишь в моменты собственно дискретизации T_A, $2T_A$, $3T_A$, ..., $n\ T_A$ в виде последовательности числовых значений e_1, e_2, e_3, ..., e_n. Вместо интегрирования рассогласования при цифровом регулировании имеет место накопление рассогласований, а вместо дифференцирования образуется разность между двумя следующими друг за другом рассогласованиями. В момент $n\ T_A$ получают исполнительное воздействие y_n.

Итак, при цифровом регулировании интегрирование заменяется суммированием.

ПИД-алгоритм положения включает в себя П-составляющую, И-составляющую и Д-составляющую.

Исполнительное воздействие в момент nT:

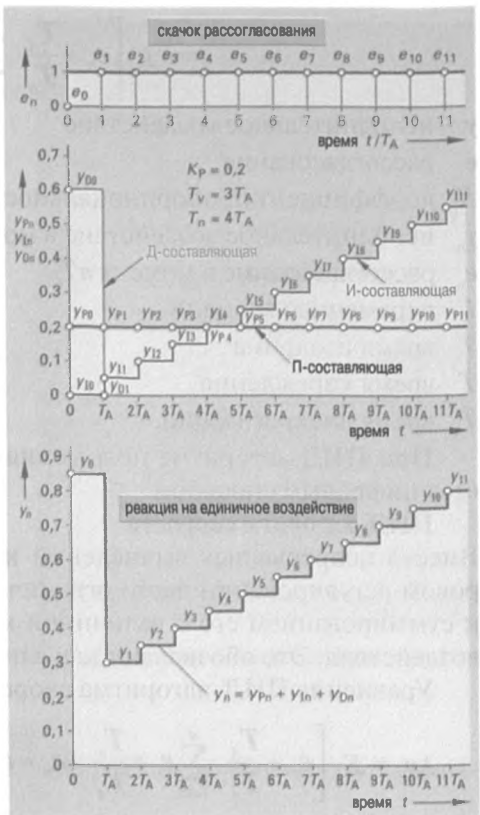


Рис. 564. Реакция на единичное воздействие цифрового регулятора.

П-составляющая: $y_{Pn} = K_p\ \ e_n$,

И-составляющая: $y_{In} = K_p \cdot \dfrac{T_A}{T_n} \sum_{i=0}^{n} e_i$,

Д-составляющая: $y_{Dn} = K_p \cdot \dfrac{T_v}{T_A} \cdot (e_n - e_{n-1})$.

Упражнение:

Представьте реакцию на единичное воздействие для ПИД-регулятора с $K_p = 0,2$, $T_v = 3T_A$ и $T_n = 4T_A$ в виде диаграммы для первых 11 интервалов дискретизации.

Решение:

Сначала определяют значения для П-составляющей, И-составляющей и Д-составляющей и суммируют все три величины (рис. 564).

Уравнение ПИД-регулятора:

$$y = K_p\left[e + \frac{1}{T_n}\int e\ d\ t + T_v \cdot \frac{de}{dt}\right]$$

Уравнение ПИД-алгоритма положения:

$$y_n = K_p\left[e_n + \frac{T_A}{T_n}\sum_{i=0}^{n} e_i + \frac{T_v}{T_A}(e_n - e_{n-1})\right]$$

y исполнительное воздействие
e рассогласование
K_p коэффициент пропорциональности
y_n исполнительное воздействие в момент nT
e_n рассогласование в момент nT_A
I переменная времени
T_n время изодрома
T_v время упреждения
T_A время дискретизации.

При ПИД-алгоритме положения исполнительное воздействие вычисляется цифровым способом.

ПИД-алгоритм скорости

Вместо непрерывных вычислений исполнительного воздействия при цифровом регулировании часто ограничиваются определением приращения Δy_n и суммированием его с величиной хранящегося в памяти исполнительного воздействия. Это обозначают как алгоритм скорости.

Уравнение ПИД-алгоритма скорости:

$$\Delta y_n = K_p\left[e_n + \frac{T_A}{T_n}\sum_{i=0}^{n} e_i + \frac{T_v}{T_A}(e_n - e_{n-1})\right]$$

$$-K_p\left[e_{n-1} + \frac{T_A}{T_n}\sum_{i=0}^{n-1} e_1 + \frac{T_v}{T_A}(e_{n-1} - e_{n-2})\right]$$

При ПИД-алгоритме скорости значения приращения исполнительного воздействия вычисляются цифровым способом.

Упражнение:

Разработать вычислительную программу для ПИД-регулятора на основе алгоритма скорости с параметрами $K_p = 0{,}2$, $T_n = 4T_A$, $T_v = 3T_A$ и $T_A = 1$ с. Составить блок-схему программы.

Решение: см. рис. 565.

$$\Delta y_n = y_n - y_{n-1}$$

$$\Delta y_n = K_p\left[e_n - e_{n-1} + \frac{T_A}{T_n}\cdot e_n + \frac{T_v}{T_A}(e_n - 2e_{n-1} + 2_{n-2})\right]$$

Δy_n значение приращения исполнительного воздействия в момент $n \cdot T_A$
e_n регулируемая величина в момент $n \cdot T_A$
T_A время дискретизации
K_p коэффициент пропорциональности регулирования

T_n время изодрома

T_v время упреждения.

Текущее рассогласование e_n обозначается через С, предыдущее рассогласование e_{n-1} — через В и предпредыдущее рассогласование e_{n-2} — через А. Исполнительное воздействие Y с каждым циклом вычисления повышается на DY.

Для команд ввода и команды вывода должны использоваться текущие адреса периферийных устройств — например номера каналов ввода и номер канала вывода.

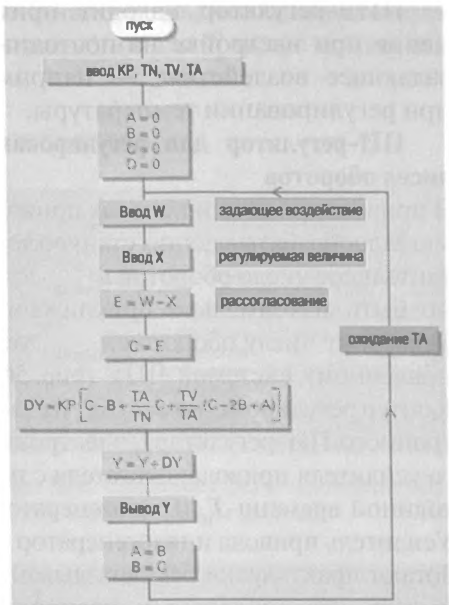


Рис. 565. Блок-схема программы

Повторение и закрепление материала

1. *В каких контурах регулирования используют ПИ-регулятор или ПИД-регулятор?*
2. *Какие регуляторы применяют в контурах следящего регулирования?*
3. *Когда используется ПИД-регулятор?*
4. *Какими свойствами обладают системы ПИ-регулирования и ПИД-регулирования?*
5. *Какие трудности возникают при настройке ПИ-регулятора?*
6. *Какой регулятор применяют при регулировании объекта с интегральной характеристикой?*
7. *Какие отношения существуют между временем запаздывания и временем дискретизации у звена выборки и фиксации дискретных данных?*
8. *В чем различие между ПИД-алгоритмом скорости и ПИД-алгоритмом положения при цифровом регулировании?*
9. *Каким образом происходит интегрирование при цифровом регулировании?*

4.4.4. Регулирование пропорциональных объектов

В контурах регулирования, содержащих объекты с переходной характеристикой одного или нескольких звеньев задержки, используют обычно пропорционально-интегральный либо пропорционально-интегрально-дифференциальный регуляторы (рис. 566).

ПИ-регулятор используется при очень быстром изменении задающего воздействия.

Это имеет место, в частности, в контурах следящего регулирования. ПИД-регулятор для этой цели не годится, поскольку при быстром изменении задающего воздействия происходит его перерегулирование в результате дифференцирования. Д-составляющая при этом теряет свою активность, и регулировочная характеристика перестает быть линейной.

ПИД-регулятор находит применение при настройке на постоянное задающее воздействие — например при регулировании температуры.

ПИ-регулятор для регулирования чисел оборотов

В приводах подачи и главных приводах металлообрабатывающих станков действительное число оборотов $n_{действ.}$ должно быть максимально приближено к заданному числу оборотов $n_{заданн.}$, установленному системой ЧПУ (рис. 567). Контур регулирования состоит из электронного ПИ-регулятора, электронного усилителя привода, двигателя с постоянной времени T_m и тахогенератора. Усилитель привода и тахогенератор работают практически без запаздывания, то есть оба относятся к пропорциональным звеньям (рис. 567). Двигатель же вполне можно представить в виде звена с запаздыванием первого порядка (PT_1). При изменении заданного числа оборотов на $\Delta n_{заданн.}$ регулятором формируется исполнительный сигнал $\Delta U_{yP} \sim K_{PR}$ ($n_{заданн.}$ — $n_{действ.}$) и передается на усилитель привода. В той мере, в какой значение $n_{действ.}$ приближается к новому значению $n_{заданн.}$, происходит уменьшение исполнительного сигнала $\Delta U_{y\ P}$. И-составляющая регулятора инициирует исполнительный сигнал ΔU_{yI}, пропорциональный интегралу по времени на основе ($n_{заданн.}$ — $n_{действ.}$). Это означает, что ΔU_{yI} возрастает, пока имеет место разность $n_{заданн.}$ — $n_{действ.}$. Но это также и означает, что ПИ-регулятор в результате действия И-составляющей на длительное время не допускает никакого рассогласования.

Таким образом, при ПИ- или ПИД-регулировании не бывает остаточного рассогласования.

Сложность, однако, состоит в том, что при настройке ПИ-регулятора требуется найти оптимальные значе-

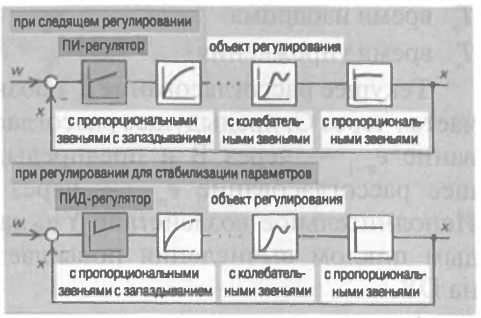


Рис. 566. Регулирование пропорциональных объектов.

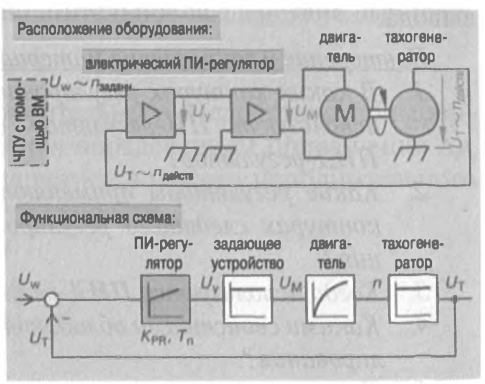


Рис. 567. Схема расположения оборудования и функциональная схема регулирования числа оборотов

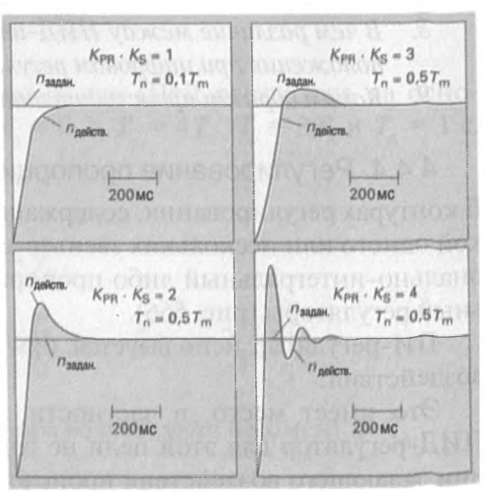


Рис. 568. Переходные процессы при разных настройках регулятора (T_m = 100 мс)

ния K_{PR} и время изодрома T_n. Здесь уместно напомнить, что слишком большие значения для K_{PR} и слишком малые значения для T_n могут привести к сильным колебаниям (рис. 568).

4.4.5. Регулирование интегральных объектов

При регулировании объектов, содержащих интегральное звено, в контурах следящего управления используют в большинстве случаев пропорциональные регуляторы (рис. 569).

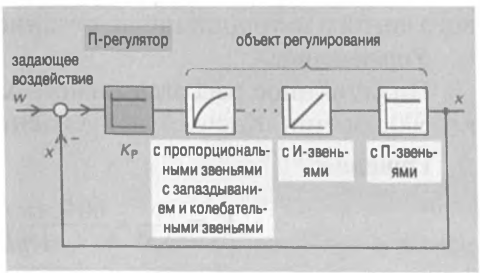


Рис. 569. Следящее регулирование объекта с интегральным звеном

П-регулятор для позиционного регулирования

В металлообрабатывающих станках положение суппорта контролируется аналоговым путевым датчиком и регулируется с помощью операционного усилителя (рис. 570). Начальная установка заданного значения также осуществляется по аналоговому принципу посредством аналого-цифрового преобразователя с помощью ВМ либо вручную через потенциометр заданных значений (рис. 570). Если имеет место позиционное рассогласование $\Delta x = x_{заданн.} - x_{действ.}$, то оно усиливается, а движение вращения двигателя действует в смысле уменьшения этого рассогласования. Скорость подачи v пропорциональна отклонению регулируемой величины от заданного значения (Δx). Она тем выше, чем больше коэффициент пропорциональности K_{PR} регулятора, коэффициент усиления K_A усилителя следящей системы, число оборотов двигателя n_0 при номинальном напряжении и шаг ходового винта P_{Sp}. Эти компоненты усиления, равным образом воздействующие на регулировочную характеристику, складываются в общее усиление скорости K_v, которое представляет собой отношение скорости подачи v к позиционному рассогласованию Δ_x, то есть $K_v = v/\Delta x$.

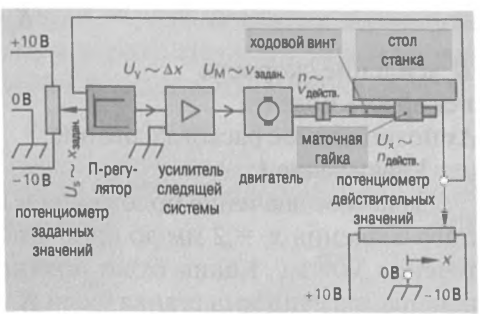


Рис. 570. Схема расположения оборудования в аналоговой системе позиционного регулирования суппорта металлообрабатывающего станка

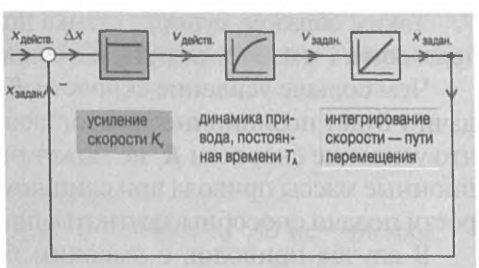


Рис. 571. Блок-схема аналогового позиционного регулирования суппорта металлообрабатывающего станка

На основе объединения компонентов общего усиления можно составить упрощенную блок-схему, включающую в себя всего три элемента (рис. 571). Первый элемент есть пропорциональное звено с усилением скорости K_v.

Второй элемент идентифицирует динамическую характеристику привода подачи: это будет звено с запаздыванием первого порядка, если используется электрический приводной двигатель с постоянной времени привода T_A. Третий элемент есть интегрирующее звено, характеризующее связь между скоростью подачи v и перемещением x. В практических условиях преобразование скорости в путь перемещения происходит в результате вращения ходового винта в маточной гайке, соединенной со столом станка (рис. 570).

Упражнение:

Позиционное рассогласование $\Delta x = 1$ мм обеспечивает скорость подачи $v = 600$ мм/мин. Каким будет усиление скорости K_v?

Решение:

$$K_v = \frac{v}{\Delta x} = \frac{600\,мм/min}{1\,min} = 600\frac{1}{min} = \mathbf{10\frac{1}{s}}$$

При позиционном регулировании с помощью пропорционального регулятора:

$$K_v = \frac{v}{\Delta x}$$

K_v усиление скорости
v скорость подачи
Δx позиционное рассогласование.

Упражнение 1:

Заданное значение положения w изменяется относительно своего начального значения $x_1 = 2$ мм до конечной точки $x_2 = 12$ мм с равной скоростью в течение $\Delta t = 1$ с. Каким будет позиционное рассогласование Δx во время перемещения суппорта станка, если K_v составляет $10\frac{1}{c}$?

Решение:

$$\Delta x = \frac{v}{Kv} = \frac{(x_2 - x_1)/\Delta t}{K_v} = \frac{10мм/c}{10\frac{1}{c}} = \mathbf{1\ мм}$$

Таким образом, суппорт станка подстраивается под заданное значение с интервалом в 1 мм. Это тот путь, который нужен столу станка для затормаживания.

Чем больше усиление скорости K_v, тем меньше при заданной скорости подачи v будет позиционное рассогласование Δx. Следует, однако, иметь в виду, что усиление скорости K_v не может быть сколь угодно высоким, так как инерционные массы привода при слишком малом рассогласовании и заданной скорости подачи способны «выгнать» привод за пределы конечной точки.

В случае приводов с высоким быстродействием и низкой постоянной времени T_A, то есть при малых инерционных массах и мощных приводных двигателях, величина K_v может выбираться достаточно большой. Поэтому усиление скорости K_v измеряют после постоянной времени привода T_A (рис. 572). Для $K_v = 0{,}25/T_A$ выброса за пределы конечной точки не происходит (рис. 515). Но все же, чтобы при незначительном позиционном рассогласовании и небольшом перерегулировании как можно быстрее попасть в конечную точку, выбирается обычно $K_v \approx 0{,}8/T_A$.

Прочие значения для усиления скорости таковы:

- K_v = 10 1/с ... 30 1/с — у роботов,
- K_v = 30 1/с ...100 1/с — у станков с ЧПУ.

Измерение усиления скорости

Для установки оптимального усиления скорости ее приходится сначала определять опытным путем. С этой целью контур позиционного регулирования разъединяют — например, за счет срабатывания муфты на расцепление между приводным двигателем и ходовым винтом подачи. Затем вручную смещают суппорт станка на небольшое расстояние. Теперь заданное и действительное значения положения более не совпадают. Двигатель начинает работать с определенным числом оборотов, чтобы компенсировать возникшее позиционное рассогласование. Но поскольку, как мы помним, двигатель отсоединен, то регулирования положения не происходит. Скорость вращения двигателя, соответствующая определенной скорости подачи, остается постоянной и легко поддается измерению.

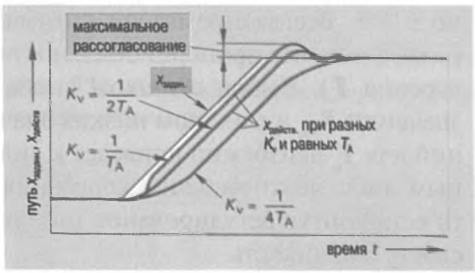


Рис. 572. Перерегулирование в зависимости от усиления скорости

Упражнение 2:

Контур позиционного регулирования для привода подачи имеет постоянную времени привода T_A = 80 мс.

а) Какое усиление скорости K_v требуется установить с помощью регулятора положения, чтобы при незначительном перерегулировании и малом рассогласовании как можно быстрее попасть в конечную точку?

б) Каково максимальное рассогласование xu, если перемещение осуществляется со скоростью v = 120 мм/мин?

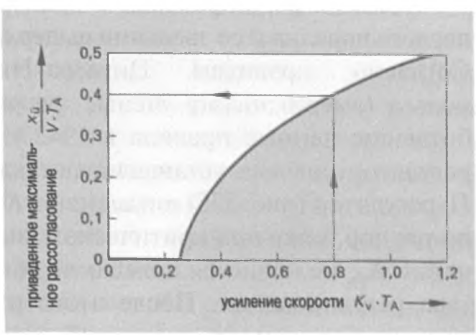


Рис. 573. Влияние усиления скорости

Решение:

а) $K_v \approx 0{,}8/T_A = 0{,}8/0{,}08$ с 0= **10 1/с.**

б) Из рис. 573 берем для $K_v \cdot T_A = 0{,}8$ значение:

xu/($v \cdot T_A$) = 0,41 => xu = 0,41 $v \cdot T_A$ = 0,41 120 мм/мин 80 мс = **66 мкм**.

4.4.6. Настройка регулятора

Успешное регулирование достигается только при грамотной настройке регулятора. Как правило, регулятор устанавливают таким образом, чтобы регулируемая величина при скачкообразном изменении заданного значения как можно быстрее устанавливалась на новое заданное значение. При этом регулируемая величина может лишь совсем немного и только кратковременно выходить за

пределы заданного значения (рис. 517). Величина t_A есть время, которое должно пройти до того момента, когда впервые достигается задающее воздействие (рис. 574). Величина t_{aus} отображает время, которое должно пройти до того момента, когда произойдет затухание переходного процесса до уровня $\pm\Delta x$, обычно $\pm 10\,\%$. Всегда стремятся к оптимальной установке регулируемых параметров (коэффициента пропорциональности K_{PR}, времени изодрома T_n и времени предварения T_v). Выбор слишком высоких значений K_{PR} и слишком низких значений для T_n неизбежно приведет к сильным либо незатухающим колебаниям, то есть контур регулирования потеряет свою устойчивость.

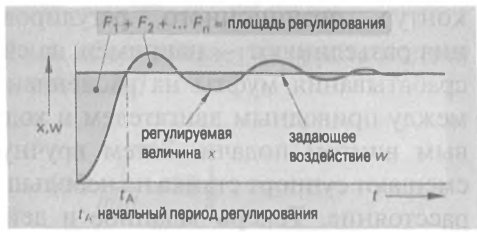


Рис. 574. Переходный процесс при скачке задающего воздействия

Считается, что контур регулирования настроен оптимально, если площадь регулирования принимает минимальное значение (рис. 574).

Самооптимизирующиеся регуляторы содержат микроВМ, которая, например, вычисляет площадь регулирования и изменяет регулируемые параметры до тех пор, пока площадь регулирования не достигнет минимального значения. Для расчета регулируемых параметров контуры регулирования моделируются и оптимизируются с помощью ПК.

Объекты регулирования с пропорциональными звеньями с запаздыванием первого порядка и со звеньями выдержки времени

Согласно правилам Циглера-Никольса (американские ученые, разработавшие данные правила в 1942 г.), регулятор сначала устанавливают как П-регулятор (рис. 575) и изменяют K_{PR} до тех пор, пока при критическом значении K_{PR} не начнется колебание контура регулирования. После этого измеряют длительность периода T_P этого колебания. Наиболее благоприятные установочные величины приведены в таблице 62.

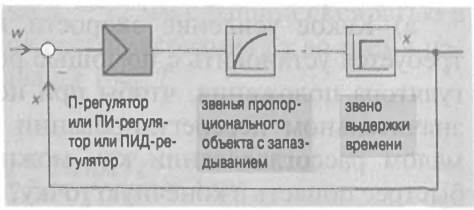


Рис. 575. Регулирование пропорциональных объектов с запаздыванием 1-го порядка

Таблица 62. Настройка регулятора по Циглеру-Никольсу

П-регулятор	$K_{PR} = 0{,}5\ K_{PR\_рит.}$
ПИ-регулятор	$K_{PR} = 0{,}45\ K_{PR\_рит.}$, $T_n = 0{,}85\ T_P$
ПИД-регулятор	$K_{PR} = 0{,}6\ K_{PR\_рит.}$, $T_n = 0{,}5\ T_P$, $T_v = 0{,}12\ T_P$

Объекты регулирования с интегрирующим звеном и пропорциональным звеном с запаздыванием первого порядка

В качестве регулятора выбирают П-регулятор (рис. 576) и устанавливают произведение всех усилений в контуре регулирования на усиление контура

$K_0 = T_1/T_2$. Далее варьируют K_{PR}, пока контур регулирования не покажет благоприятную характеристику.

Контроль направления регулирования

Контур регулирования только в том случае функционирует правильно, если в месте сравнения регулятора регулируемая величина вычитается из задающего воздействия, а не прибавляется к нему (рис. 577). Если это не так, требуется изменение полярности сенсора или — при цифровых регуляторах — необходимо внести знак «минус» в алгоритм регулирования.

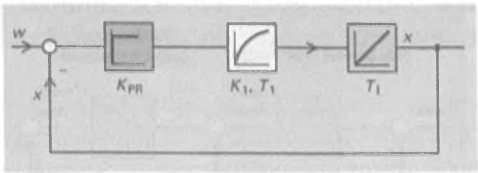


Рис. 576. Настройка регулятора при интегрирующем звене

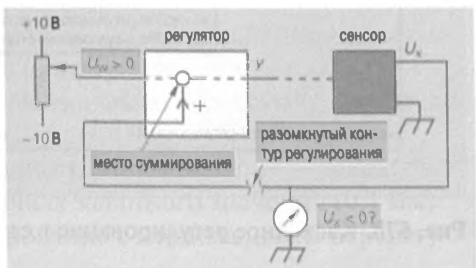


Рис. 577. Контроль направления регулирования

4.5. Позиционное регулирование в станках с ЧПУ

У приводов подачи после начальной установки заданных значений с помощью позиционного регулирования генерируется движение подачи и запускаются заданные позиции. У главных приводов контуры позиционного регулирования используются в виде так называемой оси С — например, для осуществляемого синхронно подаче движения вращения заготовок при нарезании наружной резьбы или для точного позиционирования зажимных оправок в токарных станках. Позиционное регулирование осуществляется чаще всего по каскадному (ступенчатому) принципу, иногда в сочетании с оперативным (следящим) моделированием и совсем редко — в виде так называемого регулирования состояния. Помимо этого, существуют и другие способы регулирования, в частности, с прогнозированием, когда исполнительные воздействия определяются на основе знания последующего изменения заданных значений.

4.5.1. Каскадное регулирование

При каскадном регулировании (рис. 578) с помощью П-регулятора в качестве регулятора положения формируется заданное значение скорости $v_{заданн.}$ Усиление позиционного регулятора K_v представляет собой, следовательно, соотношение $v_{заданн.}$: Δx, причем Δx есть позиционное рассогласование, а именно разность между заданным и действительным значениями положения. Это позиционное рассогласование называют также «интервалом затягивания» (стол станка именно на этот промежуток отстает от заданного значения положения).

Заданное значение скорости $v_{заданн.}$ в случае привода с двигателем соответствует заданному значению числа оборотов $n_{заданн.}$, которое регулируется П-регулятором через относящийся к более низкому уровню контур регулирования чисел оборотов. ПИ-регулятор числа оборотов подает исполнитель-

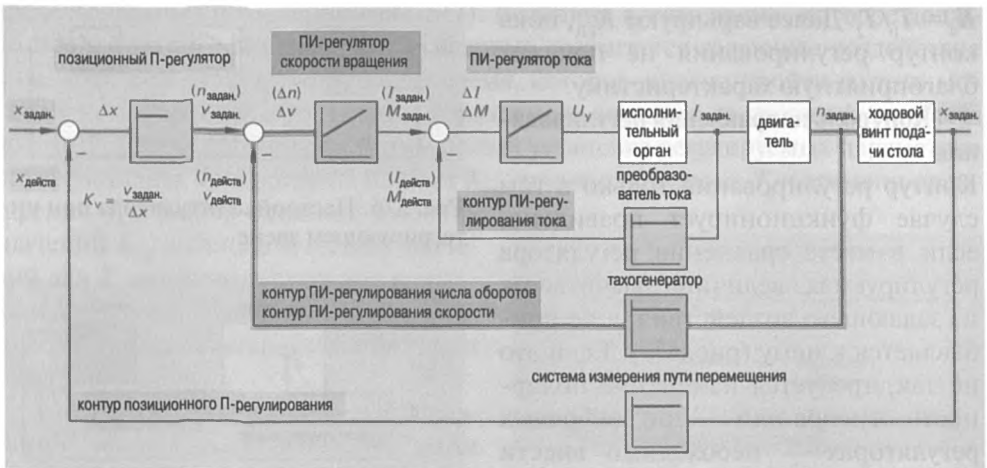


Рис. 578. Каскадное регулирование в стандартном исполнении с тахогенератором

ный сигнал для необходимого вращающего момента привода, причем этот момент у двигателей постоянного тока соответствует непосредственно данному току. Теперь ток регулируется следующим ПИ-регулятором еще более низкого уровня. (У приводов трехфазного тока регулятор тока влияет не только на силу тока, но и на положение по фазе и соответственно частоту тока.)

Когда у привода, находящегося сначала в состоянии покоя, изменяют заданное значение положения, то на основе позиционного рассогласования Δx образуется заданное значение числа оборотов $n_{заданн.}$. Разность между заданным и действительным числами оборотов Δn, усиленная увеличивающимся временем (под действием И-составляющей), обеспечивает повышение заданного значения тока, а рассогласование ΔI вызывает в конце концов срабатывание исполнительного органа или соответственно преобразователя частоты. Как только начинается работа двигателя, позиционное рассогласование уменьшается, как и разность между заданным и действительным значениями числа оборотов. При достижении заданной позиции значения Δx и $n_{заданн.}$ падают до нуля. Выходная величина регулятора чисел оборотов ($I_{заданн.}$) в результате интегрирования в ПИ-регуляторе числа оборотов остается на значении тока, соответствующем нагрузочному моменту двигателя.

Чем большим выбирается усиление скорости K_v, тем большим быстродействием будет обладать привод. Позиционное рассогласование в таком случае будет совсем небольшим ($\Delta x = v_{заданн.}/K_v$).

С возрастающим усилением скорости K_v контуры позиционного регу-

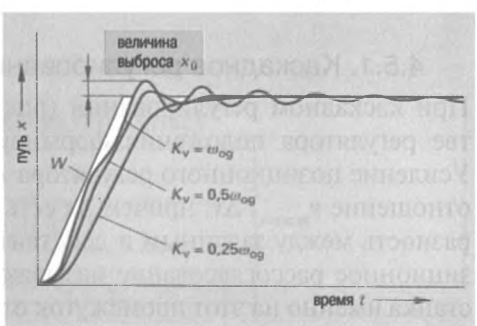


Рис. 579. Реакция на линейное воздействие у контура позиционного регулирования с П-регулятором при разных коэффициентах K_v

лирования проявляют склонность к колебаниям, а именно тем больше, чем хуже реакционная способность (динамика) контура регулирования чисел оборотов (рис. 579).

Динамика контура чисел оборотов зависит, в первую очередь, от инерционных моментов привода и от его максимального приводного момента. Задача заключается в том, чтобы по возможности удерживать инерционные моменты на минимальном уровне, а перегрузочную способность двигателя сделать как можно большей.

При каскадном регулировании:

- сначала устанавливается контур регулирования тока, причем с максимально большим пропорциональным усилением, затем устанавливается контур регулирования чисел оборотов (с соответствующей оптимизацией K_{PR} и T_n) и, наконец, оптимизируется контур позиционного регулирования — таким образом, чтобы при небольших скачках заданного значения (0,1 мм) достигалось быстрое позиционирование с минимальным перерегулированием.

Юстировка и оптимизация системы каскадного регулирования производится изнутри наружу при отключенном внешнем контуре регулирования.

4.5.2. Предварительное задание скорости

Известного недостатка каскадного (ступенчатого) регулирования, заключающегося в том, что только рассогласование контура регулирования более высокого уровня вызывает активизацию контура регулирования более низкого уровня, можно легко избежать, прибегнув к предварительной настройке этих подчиненных контуров регулирования. При этом достаточно определить на основе характеристики заданных значений положения заданную скорость $v_{задан.}$ и напрямую задать ее контуру регулирования скорости (контуру регулирования чисел оборотов) (рис. 580).

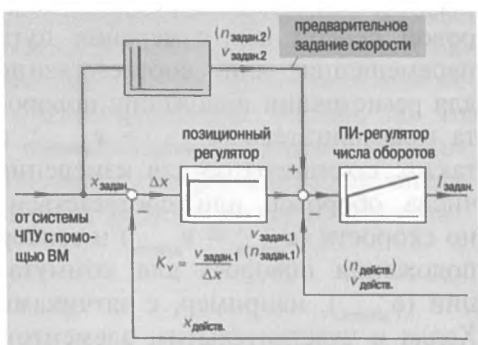


Рис. 580. Предварительное задание скорости

В результате этого регулятор скорости сразу запускает регулятор тока. Но такая техника регулирования при быстрых изменениях в характеристике заданных значений положения приводит к сильным колебаниям, поскольку позиционный регулятор с возрастанием разницы между заданным и действительным значениями положения

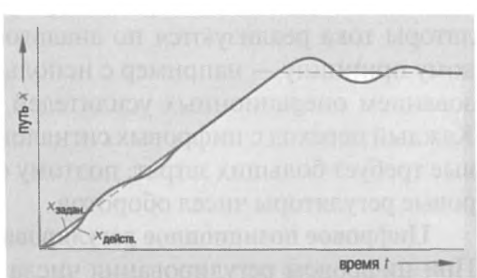


Рис. 581. Реакция на линейное воздействие при П-регулировании с предварительным заданием скорости

дополнительно еще передает сигнал скорости на регулятор скорости. После затухания колебательных процессов при реакции на линейное воздействие характеристика действительных значений положения точно соответствует характеристике заданных значений положения (рис. 581).

Путем предварительного задания скорости в случае позиционного регулирования достигают улучшенной динамики и сокращения «интервалов затягивания».

4.5.3. Аналоговый и цифровой контуры регулирования чисел оборотов

В станках с ЧПУ по причине числового вычитания действительного значения положения из заданного значения ($x_{заданн.} - x_{действ.}$) позиционный регулятор всегда является цифровым. Сопряженное регулирование чисел оборотов и регулирование тока может выполняться как по аналоговому принципу (с помощью операционного усилителя), так и цифровым методом (с помощью микроВМ).

Цифровое позиционное регулирование и аналоговый регулятор чисел оборотов Приводные двигатели у станков с ЧПУ являются в большинстве случаев сервоприводами трехфазного тока с цифровым формированием вектора поля или соответственно с коммутацией с электронным управлением.

Для цифрового позиционного регулирования всегда требуется цифровой сенсор для измерения пути перемещения или соответственно для регистрации положения поворота вала двигателя ($\phi_{действ.} \mathrel{\hat{=}} x_{действ.}$), а также: тахогенератор для измерения числа оборотов или соответственно скорости ($u_{действ.} \mathrel{\hat{=}} v_{действ.}$) и сенсор положения поворота для коммутации ($\phi_{действ.}$), например, с датчиками Холла и чувствительным элементом для контроля действительной величины тока ($i_{действ.}$) (рис. 582).

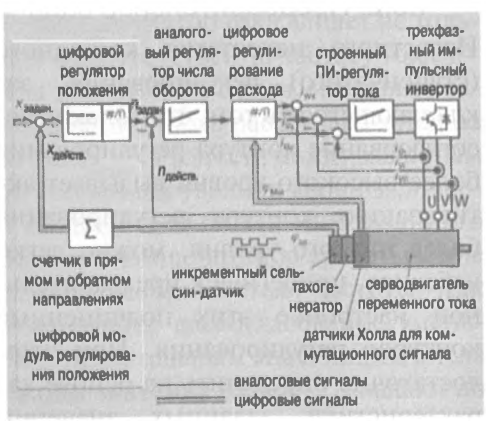


Рис. 582. Цифровое регулирование положения с аналоговым регулированием чисел оборотов

Регуляторы чисел оборотов и регуляторы тока реализуются по аналоговому принципу — например с использованием операционных усилителей. Электронная связь является цифровой. Каждый переход с цифровых сигналов на аналоговые и с аналоговых на цифровые требует больших затрат, поэтому обычно предпочитают использовать цифровые регуляторы чисел оборотов.

Цифровое позиционное регулирование и цифровой регулятор чисел оборотов При цифровом регулирования числа оборотов весь путь прохождения сигнала от вычисленного цифровым способом заданного значения положения до сигналов тока является цифровым (рис. 583). Все параметры регулятора могут устанавливаться цифровым способом с пульта управления или дистанционно.

Также все сигналы на щите управления можно отобразить визуально или передать по сетям передачи данных для целей дистанционной диагностики. Из сенсоров требуется только датчик регистрации положения поворота и величин тока. Тахогенератор и датчики Холла здесь не нужны. Для представления числа оборотов в цифровой форме сигнал угла поворота или соответственно действительное значение положения должны обладать чрезвычайно высоким разрешением, чтобы и при низких скоростях получить различимые числовые значения. Динамика вложенных друг в друга контуров при каскадном регулировании возрастает в направлении снаружи внутрь, требуемая же точность, напротив, понижается. То есть цифровые сигналы и цифровая обработка сигналов в позиционном регуляторе отличаются высокой точностью, например 32 бита при времени дискретизации около 4 мс. Цифровые сигналы регулирования скорости имеют, например, длину слова всего 16 бит при времени дискретизации порядка 100 мкс. Для сигналов регулирования тока достаточно лишь нескольких битов при времени дискретизации в несколько мкс. В простых случаях возможно даже генерирование электроэнергии с блокировочными токами, так что для мощных транзисторов формируются только входные/выходные сигналы. Для цифровых контуров регулирования положения с цифровым регулированием чисел оборотов требуется только датчик регистрации положения поворота.

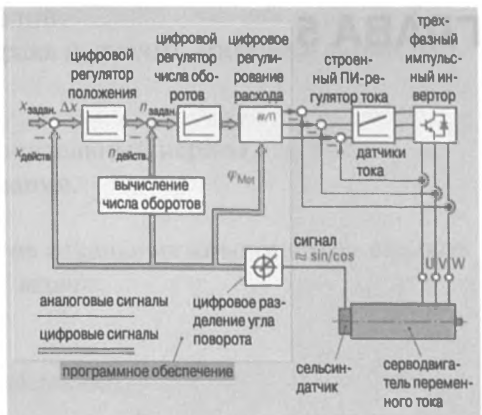


Рис. 583. Цифровое регулирование положения с цифровым регулированием чисел оборотов

ГЛАВА 5

ТЕХНИКА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ (ЧПУ)

ЧПУ — это числовое программное управление. В станках с ЧПУ отдельные рабочие шаги, как то: пути перемещения, числа оборотов шпинделей и подачи — представлены в программе в виде чисел, которые вводятся в систему управления и преобразуются там в управляющие сигналы для станков с ЧПУ

5.1. Станки и производственные системы с ЧПУ

Поскольку производственные процессы в станке с ЧПУ протекают большей частью автоматически, то есть без вмешательства со стороны оператора, конструкционные и функциональные блоки такого станка отличаются от блоков обычной машины (рис. 584). Так, маховики здесь исключены полностью, ибо отдельные суппорты и каретки станка под действием двигателей подачи и передаточных механизмов с шаровой резьбой могут перемещаться абсолютно независимо друг от друга. С помощью систем измерения перемещений (см. здесь также п. 4.5) пройденные отрезки пути измеряются и сравниваются в системе ЧПУ с запрограммированными заданными значениями (контур позиционного регулирования). С целью достижения высоких скоростей резания для привода шпинделя изделия устанавливают бесступенчато регулируемые двигатели.

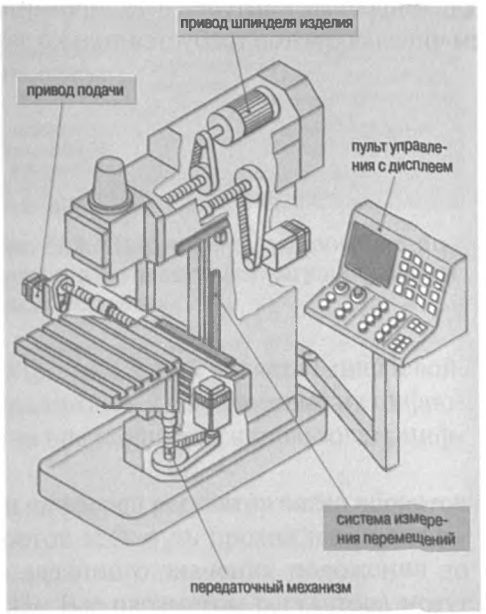


Рис. 584. Фрезерный станок с ЧПУ

Широкая популярность станков с ЧПУ объясняется их значительными преимуществами по сравнению с традиционным оборудованием. Вот их основные характеристики:

- высокая точность обработки,

неизменно хорошее качество изделий,
практически полное отсутствие брака и, значит, минимум затрат на контроль,
- короткое время обработки,
- короткий подготовительно-заключительный период,
- минимум необходимого оборудования.

Конструкционные признаки

При проведении конструктивных расчетов отдельных компонентов станков на первый план выдвигаются следующие задачи:
- повышение производительности,
- повышение точности обработки,
- снижение стоимости изготовления станка.

Повышение производительности

Рост производительности в пересчете на полезное машинное время достигается преимущественно за счет повышения числа оборотов и скорости подачи.

С учетом применения более совершенных инструментов и новых материалов для режущих инструментов устанавливаются определенные требования к элементам станка: направляющим, двигателям, передачам, шпинделям, подшипникам и зажимным механизмам. Попробуем пояснить это на примере требований в отношении шпинделей изделий для высокоскоростного фрезерования и внутреннего шлифования: при фрезеровании числа оборотов шпинделя не превышают 45 000 в минуту, а при шлифовании доходят даже до 180 000 в минуту. Это обстоятельство требует — наряду со снижением массы подшипников качения — еще и принятия особых мер в отношении охлаждающей смазки.

Повышение точности обработки

Точность работы на станке с ЧПУ в значительной мере зависит от поведения отдельных машинных элементов, подвергаемых статическим и динамическим нагрузкам. Для получения благоприятных характеристик уже в процессе конструирования оборудования прибегают к специальным методам расчета — например FEM (метод конечных элементов). Благодаря использованию соответствующих методик в сочетании с CAD (САПР — система автоматизированного проектирования) конструктор получает возможность уже на ранней стадии разработки оптимизировать свойства конструкционных элементов, обходясь без сложных и долгих испытаний.

При наличии большого объема обработки резанием и высокой скорости вращения ходовых винтов приходится считаться с выделением большого количества тепла в определенных узлах, например в корпусе коробки передач. Связанные с этим обстоятельством неточности в геометрии машин компенсируются за счет встроенных замкнутых систем циркуляции масла, в результате чего достигается целенаправленный отвод тепла в местах с повышенной тепловой нагрузкой.

При резких изменениях траектории управления (например при обходе угла 90°) в силу определенной динамической характеристики контуров регулирования возникают некоторые погрешности при обработке заготовки (рис. 585), пропорциональные скорости контурного управления.

Наряду с мерами, связанными с техникой регулирования, отклонение геометрической формы можно свести к минимуму за счет сокращения подвижных масс. Это достигается на основе соответствующего конструктивного исполнения деталей и узлов либо путем частичной замены металлических материалов стеклопластиками или иными подобными материалами. Весьма положительное влияние на качество поверхности оказывает использование бетона с добавлением синтетических смол (полимерного бетона) — вместо станины и элементов из стали либо литья (рис. 586). Помимо обязательного в таком случае резкого снижения затрат энергии на производственный процесс, следует упомянуть также достигаемые при этом хорошие демпфирующие свойства и многообразие конструктивных вариантов.

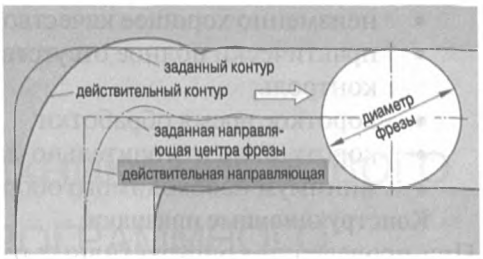


Рис. 585. Отклонение от заданного контура при обходе углов

Рис. 586. Основание станка из полимерного бетона

5.1.1. Инструменты и зажимные приспособления

5.1.1.1. Револьверные головки

Револьверные (инструментальные) головки представляют собой своеобразные крепежные механизмы, на торцевой поверхности которых неподвижно фиксируются требуемые инструменты (рис. 587).

У револьверной головки с горизонтальной осью инструменты находятся на ее торцевой поверхности. Область применения таких головок ограничивается обтачиваемыми деталями и инструментами с небольшим диаметром.

Револьверная головка с вертикальной осью пригодна для более крупных заготовок и используется преимущественно в сверлильных и фрезерных станках среднего типоразмера. Заготовки при этом располагаются по периметру головки.

Корончатая револьверная головка, способная наклоняться в пространс-

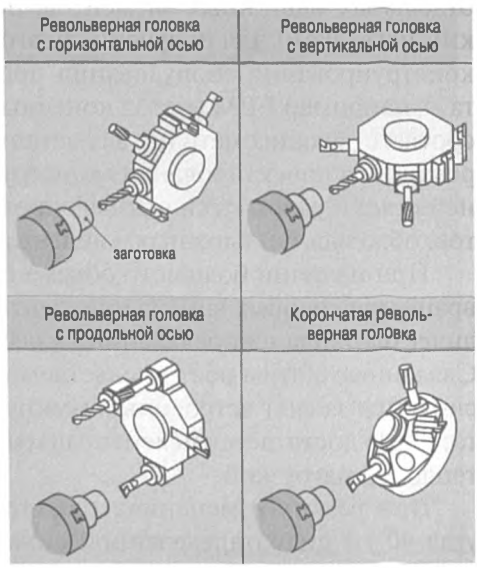


Рис. 587. Револьверные головки

тве в осевом и радиальном направлениях, соединяет в себе преимущества головок с горизонтальной и вертикальной осями.

По экономическим соображениям часто приходится прибегать к комплектной обработке изделий, так сказать, за один установ. Например в токарных станках именно по этой причине подчас находят применение вращающиеся инструменты (рис. 588). Однако револьверные головки для такого рода инструментов возможны исключительно в токарных станках, обладающих позиционируемым шпинделем изделия (программируемой осью С) и соответствующим приводом в магазинном диске (поворотном дисковом питателе). При этом, в зависимости от оснастки, можно выполнять операции сверления, зенкования, развертывания, фрезерования и нарезания резьбы. Кроме того, с помощью вращающихся токарных резцов удается изготовлять двух-, четырех-, шести- и восьмигранные изделия. Но все это достижимо только при соблюдении одного важного условия, а именно: при точном согласовании движений шпинделя изделия и приводимого в действие инструмента.

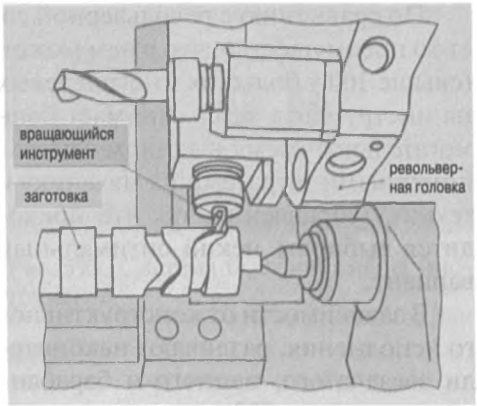


Рис. 588. Вращающийся инструмент металлообрабатывающего станка

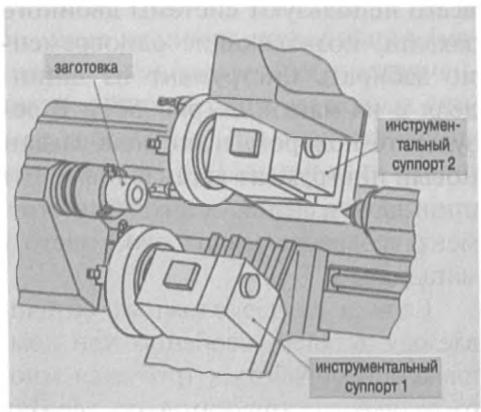


Рис. 589. Двойной суппорт токарного станка

Дальнейшего сокращения машинного времени можно добиться благодаря использованию двойного суппорта станка (рис. 589), когда две программируемых револьверных головки одновременно обрабатывают одну заготовку. Однако такой способ работы требует принятия специальных мер безопасности во избежание столкновения работающих головок. Помимо этого, подобная синхронная работа заставляет предъявлять повышенные требования как к программирующему устройству ЧПУ, так и к предусмотренному в системе ЧПУ программному обеспечению.

Применение контр-шпинделя, который, как обычный резцедержатель, зажат во второй револьверной головке, позволяет успешно выполнять операции по комплексной обточке высшей степени сложности.

5.1.1.2. Инструментальные магазины

Инструментальные магазины представляют собой накопители, из которых извлекаются и в которые после каждой смены инструмента вновь автоматически укладываются определенные инструменты.

По сравнению с револьверной головкой, такой магазин-накопитель имеет то преимущество, что в нем может храниться большее число инструментов (свыше 100 у больших многоцелевых станков), но и тот недостаток, что смена инструмента здесь занимает больше времени. Впрочем, сократить вспомогательное время в данном случае возможно, но это было бы связано с непомерными затратами на механику и технику управления, так что приходится выбирать некий оптимальный вариант.

В зависимости от конструктивного исполнения, различают накопители звездчатого, цепного и барабанного типа (рис. 590).

Рис. 590. Инструментальные магазины

Если смена инструмента входит в основное машинное время, то чаще всего используют системы двойного захвата, позволяющие одновременно забирать инструмент из шпинделя и из магазина (рис. 591). В результате поворота и подвода захвата новый инструмент устанавливается в шпинделе изделия, а другой инструмент возвращается на свое место в магазине.

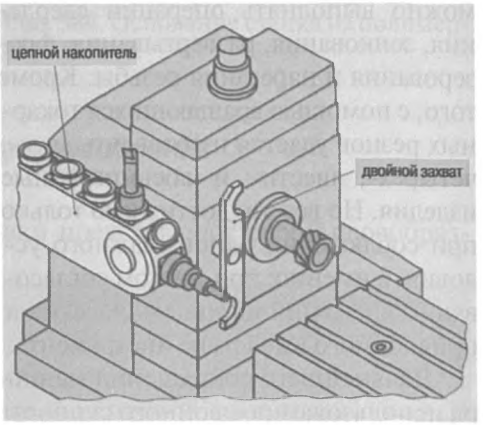


Рис. 591. Станок с ЧПУ с системой двойного захвата

Если в случае сложных обтачиваемых деталей, особенно при комплексной обработке, требуется много разных инструментов, то все они не всегда могут поместиться на одной револьверной головке. Поэтому специально для токарных станков была разработана смешанная система смены инструментов, состоящая из комбинации револьверной головки и инструментального магазина (рис. 592).

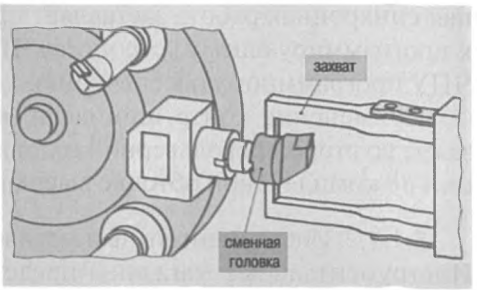


Рис. 592. Система смены инструментов с револьверной головкой

При такой системе смены инструментов инструментальная бабка остается в револьверной головке и извлекается только малая инструментальная головка (рис. 593). Затем инструментальные головки автоматически укладываются в небольшой приставной накопитель для последующего использования. Смена инструмента при этом происходит в ос-

новное машинное время. При таком способе вполне достижима стабильность подвода резца в заданную точку на уровне 0,003 мм.

Дальнейшая экономия подготов ительно-заключительного времени возможна с помощью системы смены поддонов: погрузку и выгрузку, фиксацию и центрирование инструмента на поддоне можно производить в то время, пока обрабатывается другая заготовка.

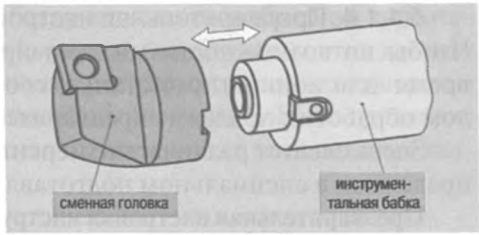


Рис. 593. Система быстрой смены инструмента

5.1.1.3. Кодирование инструмента

Чтобы обеспечить автоматическое извлечение инструментов из накопителя, место размещения инструмента либо сам инструмент должны быть соответствующим образом идентифицированы.

При кодировании инструмента выбранные носители информации (например кольца) размещаются на цилиндрическом хвостовике инструментальной бабки. Выполненные по принципу двоичной системы кольца считываются механическим или индуктивным способами. При идентификации инструментов могут использоваться и электронные ЗУ. Для этой цели вполне пригодна память с оперативной записью и считыванием (ОЗУ), обеспечивающая текущее сохранение данных за весь период эксплуатации (рис. 594).

Выполненное тем или иным способом кодирование дает то преимущество, что в этом случае инструменты могут занимать в магазине любое место.

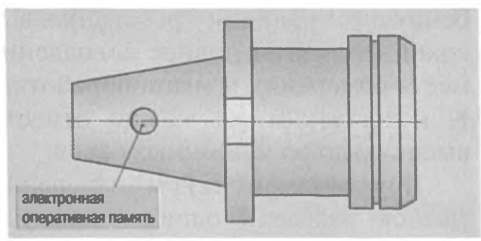


Рис. 594. Кодирование инструмента

При кодировании позиций размещения согласно схеме оснащения накопителя инструменты отнесены к определенной ячейке и после смены инструмента вновь должны быть возвращены на свое место. Недостатком здесь можно считать довольно долгий процесс выполнения данной операции, поскольку система двойного захвата, к сожалению, здесь использоваться не может.

Переменное кодирование позиций размещения соединяет в себе преимущества кодирования и инструмента, и места, однако требует наличия весьма затратной логики схем управления, реализуемой через систему программного управления от ЗУ (SPS). После оснащения накопителя оператор должен ввести в систему управления данные о позициях размещения инструментов. При смене инструмента уже использованный инструмент укладывается на любое свободное место в накопителе, причем система управления каждый раз актуализирует (обновляет) хранящуюся в памяти схему распределения накопителя и на внутрисистемном уровне присваивает данному инструменту новый номер в соответствии с занимаемым им местом.

5.1.1.4. Предварительная настройка инструмента

Чтобы по возможности минимизировать подготовительно-заключительное время для конкретного станка, соответствующие инструменты перед началом обработки подлежат предварительной настройке.

Здесь следует различать измерение инструмента в пределах станка и за его пределами в специальном подготавливающем устройстве.

Предварительная настройка инструмента в пределах станка

При измерениях непосредственно в станке регистрируется — с помощью лазерного светового барьера — контур инструмента (рис. 595). Присоединенная система измерения перемещений передает размеры инструмента прямо в систему управления, где они укладываются на хранение в соответствующие ЗУ поправок (см. здесь также п. 5.3.6).

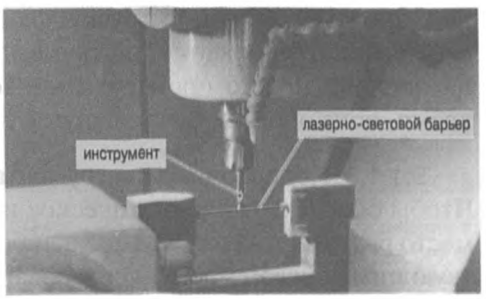


Рис. 595. Коррекция инструмента в пределах станка

Этот способ находит применение, главным образом, в токарных станках с револьверными головками. Преимуществом здесь является (особенно при наличии требования высокой скорости) полное совпадение места измерения и места обработки. К недостаткам же можно отнести высокую долю машинных часов.

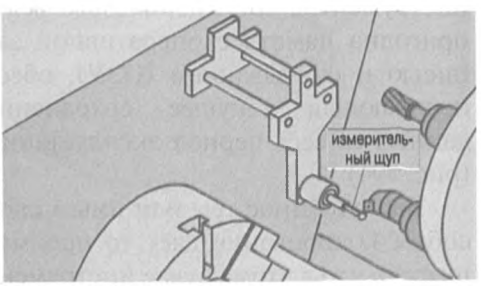


Рис. 596. Автоматическое измерение инструмента

При автоматическом измерении удается избежать ошибок при настройке со стороны обслуживающего персонала (рис. 596). Режущая кромка каждого инструмента автоматически замеряется измерительным прибором контактного типа (щупом), а соответствующие значения поправок сообщаются системе управления. Измерительный щуп может использоваться и в процессе эксплуатации станка — для контроля износа инструмента и состояния режущей кромки.

Предварительная настройка инструмента за пределами станка

На практике более распространена предварительная настройка инструмента за пределами станка — в специальном подготавливающем устройстве (рис. 597).

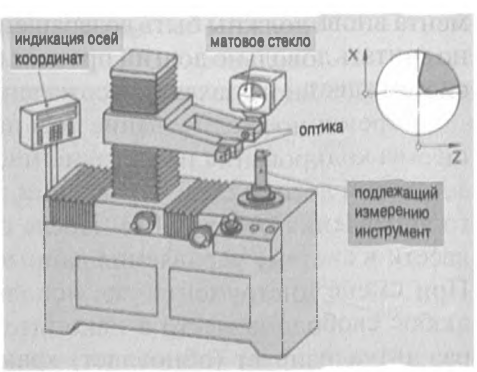


Рис. 597. Устройство предварительной настройки инструмента

Принцип действия такого устройства базируется на своеобразной картотеке инструментов, куда занесены все их характеристики. С учетом этих данных инструмент настраивается до тех пор, пока его режущая кромка не совпадет с перекрестием нитей устройства предварительной настройки. Если предварительная настройка инструмента невозможна, все имеющиеся расхождения вводятся в систему ЧПУ.

5.1.1.5. Зажимные механизмы

Приспособления для фиксации изделия при обточке

В токарных станках для этой цели используются преимущественно кулачковые патроны, планшайбы и цанговые патроны.

Следует подчеркнуть, что в случае использования кулачковых патронов из-за высоких чисел оборотов станков с ЧПУ приходится заботиться о компенсации центробежных сил зажимных кулачков в патроне, что достигается обычно за счет повышения зажимных усилий. При механической компенсации центробежных сил зажимное усилие патрона вновь возрастает под действием противовесов. Патроны с электронной компенсацией центробежных сил контролируют остаточное зажимное усилие посредством специального сенсора и при необходимости повышают заданное зажимное усилие до требуемого уровня.

Приспособления для фиксации изделия при фрезеровании

При обработке небольших партий изделий здесь обычно используются прихваты и индивидуальные зажимы.

Чаще всего находят применение зажимные приспособления, которые могут быть гибко скомпонованы с элементами агрегатного типа (рис. 598). Отдельные блоки, как то: опорные плиты, уголки, консоли и разного рода зажимы и фиксаторы — свинчиваются друг с другом на манер штекерных разъемов, что позволяет приспособить их к любому варианту зажима. После использования того или иного механизма его можно быстро демонтировать и оставить на складе для будущего использования в другой комбинации зажимов.

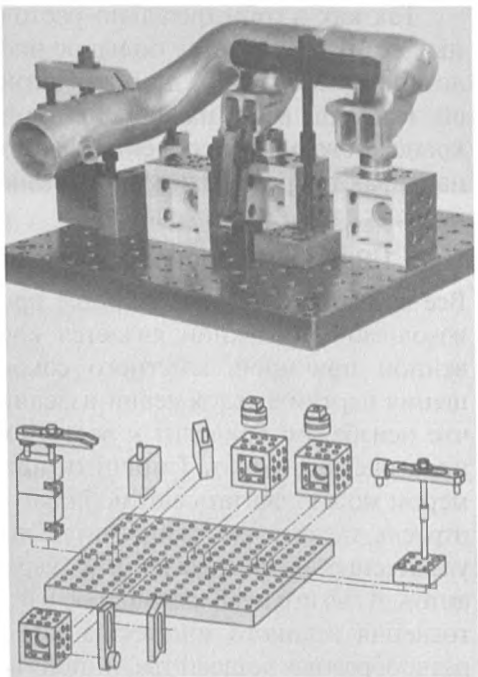


Рис. 598. Зажимное приспособление в системе агрегатной конструкции

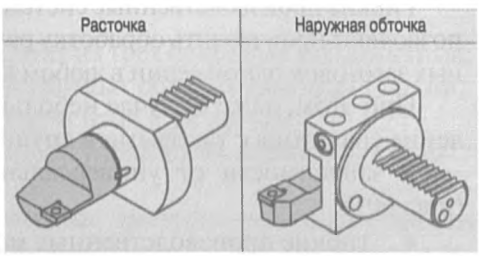


Рис. 599. Резцедержатели для токарных станков

Приспособления для фиксации инструмента при токарной обработке

Для токарных инструментов широко применяются резцедержатели согласно нормам ДИН 3425 (рис. 599).

Быстросменный резцедержатель обеспечивает фиксацию в револьверной головке с высокой точностью в осевом и радиальном направлениях и обеспечивает внутреннюю подачу охлаждающей жидкости к режущей кромке инструмента.

Приспособления для фиксации инструмента при фрезерной обработке

Чтобы в тяжелых станках с их высокими режимами обработки добиться надежного базирования инструментов, используют преимущественно держатели с крутым конусом по нормам ИСО 60.

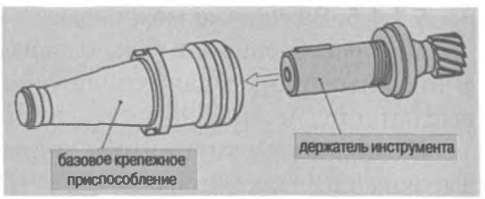


Рис. 600. Держатель инструмента для фрезерных работ

Так как в горизонтально-расточных станках требуется большое число инструментов с разной геометрией, там чаще всего находит применение резцедержатель в качестве базового крепежного приспособления и — в зависимости от вида инструмента — устанавливаются разные по исполнению зажимы (рис. 600).

5.1.2. Гибкие производственные системы

Все возрастающее многообразие производимой продукции является косвенной причиной заметного сокращения партий каждой серии изделий, что неизбежно приводит к росту технологических затрат. Типичным примером можно считать автомобильную отрасль, где отмечается стремительное увеличение числа моделей и их вариантов. В связи с необходимостью изготовления великого множества самых разнообразных деталей традиционные автоматизированные поточные линии перестают быть экономичными.

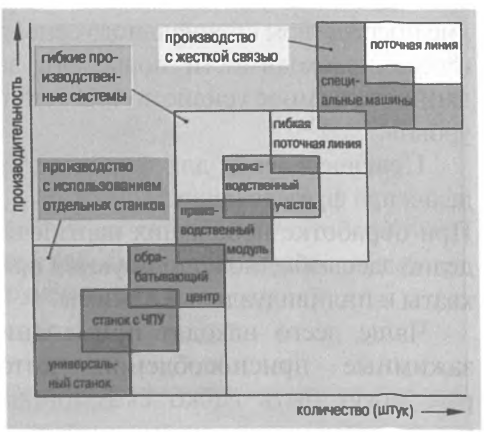


Рис. 601. Классификация производственных систем

Гибкие производственные системы позволяют производить обработку разных заготовок одной серии в любом количестве и в любой последовательности.

При этом, даже в случае небольших партий изделий, затраты на изготовление сравнимы с таковыми в крупносерийном производстве.

В зависимости от универсальности и производительности различают (рис. 601):

- гибкие производственные модули,
- гибкие производственные участки,
- гибкие поточные линии.

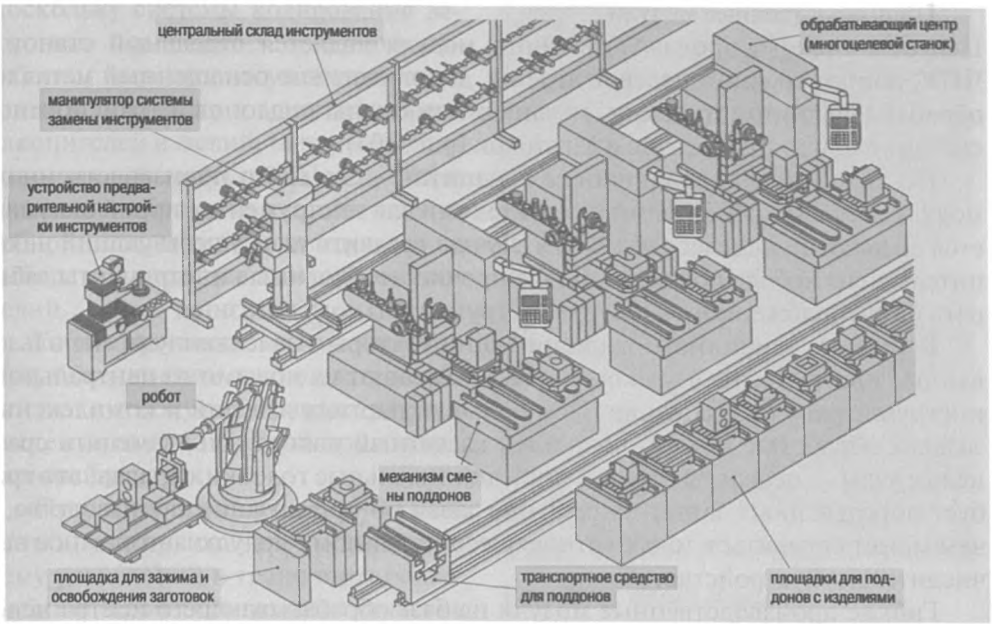


Рис. 602. Гибкая производственная система

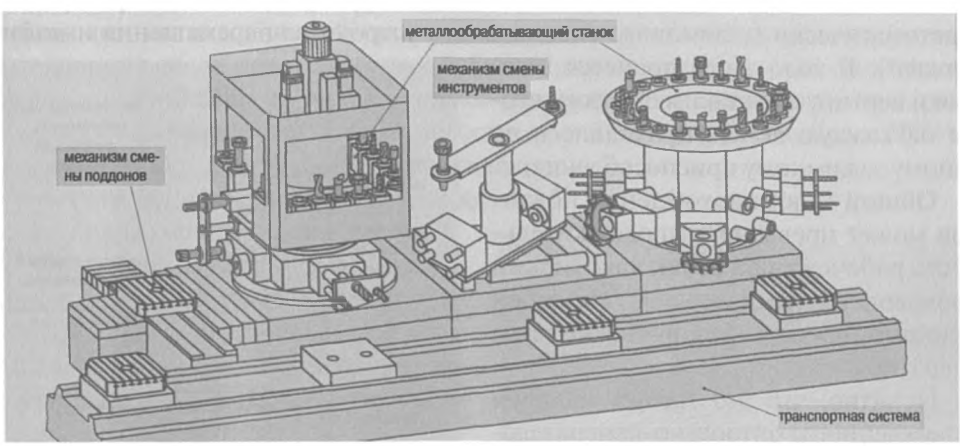


Рис. 603. Гибкий производственный модуль

Гибкая производственная система состоит из трех основных компонентов:

- одного или нескольких унифицированных обрабатывающих блоков,
- систем транспортировки для инструментов и заготовок,
- ВМ прямого числового программного управления в качестве управляющего устройства.

Таким образом, гибкие производственные системы позволяют экономично производить разные изделия одной серии в любой последовательности. Речь идет, следовательно, о произвольно выбираемом технологическом маршруте.

Производственные модули

Центром гибкого производственного модуля является отдельный станок с ЧПУ, например многоцелевой агрегат, дополнительно оснащенный металлообрабатывающими станками, механизмами смены поддонов и транспортной системой для инструментов и заготовок (рис. 603).

По экономическим причинам оснащение отдельного производственного модуля все более объемными накопителями для инструментов порой оказывается абсолютно нецелесообразным. Лучше оставить уже существующий накопитель с его небольшой емкостью, а прочие необходимые инструменты забирать из расположенного в центре инструментального магазина.

В течение машинного времени манипуляторы извлекают уже использованные инструменты из накопителей и заменяют их новыми из центрального инструментального магазина. При больших партиях изделий и комплексных задачах обработки можно, используя кассетный накопитель, заменять сразу целые узлы — передние бабки и многошпиндельные головки. Правда, это требует определенных затрат на решение задач по организации производства, с чем может справиться только относящееся к данному модулю автономное вычислительное устройство.

Гибкие производственные модули на базе обрабатывающего центра целесообразно используют в качестве накопителя инструментов известную систему перемещения поддонов.

Зажим заготовок может осуществляться как вручную (силами оператора), так и автоматически (с помощью специального устройства перемещения и подачи деталей). В ходе этого процесса заготовки сортируются таким образом, чтобы на каждую деталь приходилось по одному зажимному приспособлению.

Общий цикл прохождения поддонов может превышать продолжительность рабочей смены, так как гибкий производственный модуль способен функционировать без вмешательства оператора.

Понятно, что это требует наличия определенного контрольно-измерительного оборудования, в частности, для:

- измерения инструментов в пределах машины,
  автоматического контроля состояния инструментов с учетом их стойкости (рис. 604),
- автоматического измерения заготовок.

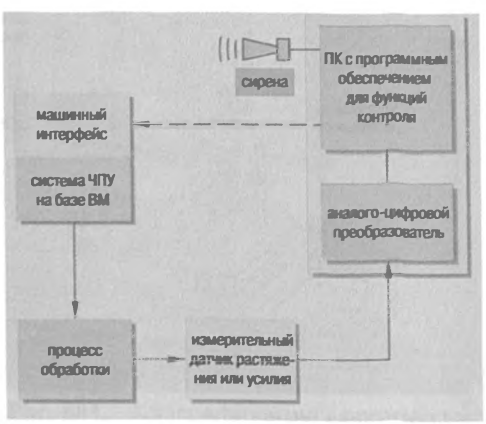


Рис. 604. Контроль инструментов

Гибкие токарные модули часто нуждаются в манипуляторах портальной (двухстоечной) компоновки — для захвата и зажима цилиндрических заготовок (рис. 605).

В отличие от гибких модулей с обрабатывающим центром в данном случае обтачиваемые детали фиксируются исключительно в месте обработки.

Поскольку системы кодирования заготовок, подлежащих токарной обработке, нередко отсутствуют, приходится прибегать к идентификации накопителей изделий, например ящиков и прочих емкостей. Поэтому при токарной обработке детали лучше собирать партиями, используя для их выбора кодирование накопителей изделий.

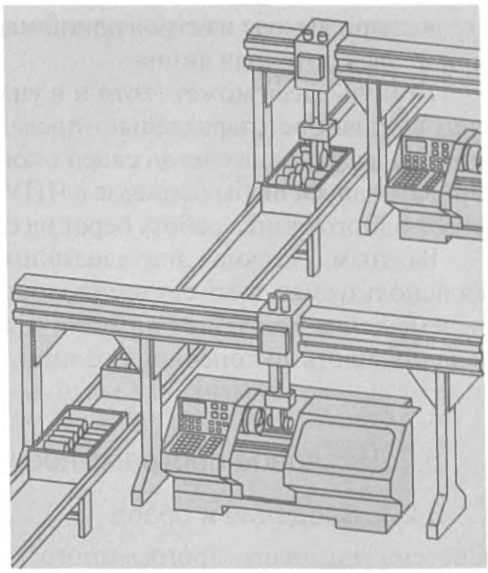


Рис. 605. Гибкий токарный модуль

Гибкие производственные участки

При объединении нескольких модулей в одну гибкую производственную систему получают гибкий производственный участок.

При этом отдельные модули связаны друг с другом через общую систему управления и транспортировки. Гибкие производственные участки способны в течение длительного времени работать без вмешательства оператора либо лишь с его минимальным участием.

Гибкие автоматические поточные линии

Гибкая автоматическая поточная линия достигает высшей степени производительности среди всех известных гибких производственных систем; что же касается ее гибкости, то она несколько ограничена по причине жесткой связи между компонентами. В зависимости от расположения станков с ЧПУ в пределах транспортной системы различают:

- последовательную компоновку и
- параллельную компоновку.

Последовательная компоновка приближается к традиционным автоматическим поточным линиям: несколько станков включены последовательно друг за другом и поочередно выполняют задачи обработки разных заготовок одной серии. Поэтому такие станки в значительной мере настроены на конкретную серию изделий.

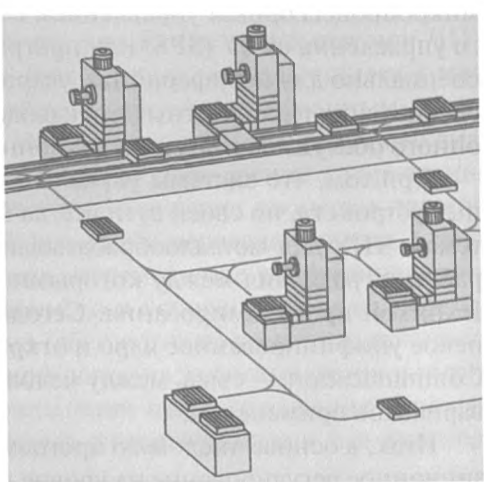


Рис. 606. Параллельно-последовательное расположение станков с ЧПУ в гибких автоматических поточных линиях

Это, безусловно, является определенным ограничением с точки зрения уровня гибкости, что влечет за собой достаточно серьезные недостатки:

- время такта определяет самая низкоскоростная машина,

при выходе из строя одной машины вынужденно останавливается вся поточная линия.

Помочь здесь может (хотя и в ущерб производительности) параллельное или смешанное (параллельно-последовательное) расположение, при котором одна заготовка еще до своей окончательной обработки способна инициировать запуск любых станков с ЧПУ (рис. 606). В этом случае при выходе из строя одного станка работу берет на себя другой станок.

Важным и весьма капиталоемким компонентом такой установки является используемая здесь система транспортировки заготовок, обеспечивающая перемещение деталей от позиции зажима к отдельным позициям обработки и далее вплоть до конечной позиции.

5.2. Числовое программное управление

5.2.1. Введение и обзор

Система числового программного управления (ЧПУ) формирует на основе цифровой информации исполнительные движения машин и установок. Основной областью применения ЧПУ является изготовление деталей, пригодных для описания цифровым способом с использованием чертежей или моделей автоматизированного проектирования. Развитие техники ЧПУ началось в конце 50-х годов с создания числовых систем управления для координатных столов сверлильных станков. С появлением в 60-е годы цифровых управляющих вычислительных машин и затем — уже в 70-е годы — микропроцессоров, унифицированные процессорные блоки стали важнейшим компонентом систем управления. Название «ЧПУ» сменилось на «ЧПУ на базе ВМ», что подчеркивало участие ЭВМ в автоматизации обработки данных. Современное числовое программное управление является, как правило, микропроцессорным управлением со встроенными системами программного управления от ЗУ (SPS) или программного логического управления (PLC) специально для периферийных устройств, с коммутационными блоками для обеспечения перекрестных производственных связей, а также для дистанционного обслуживания и дистанционного программирования (рис. 607).

При том, что системы управления, например для роботов и измерительных устройств, по своей сути всегда были очень близки к классическим системам ЧПУ для металлообрабатывающих станков, появлялись и иные разработки, различия между которыми объяснялись преимущественно разной техникой программирования. Сегодня системы управления имеют обычно некое унифицированное ядро и открытую зону ММС (от англ. Man Machine Communication — связь между человеком и машиной) для создания разных вариантов применения.

Итак, в основе числового программного управления лежит цифровое позиционное регулирование на уровне подвижных агрегатов — осей ЧПУ

Управление позиционированием

Во многих производственных процессах инструменты или заготовки должны занять некую расчетную позицию — как, например механический штифто-

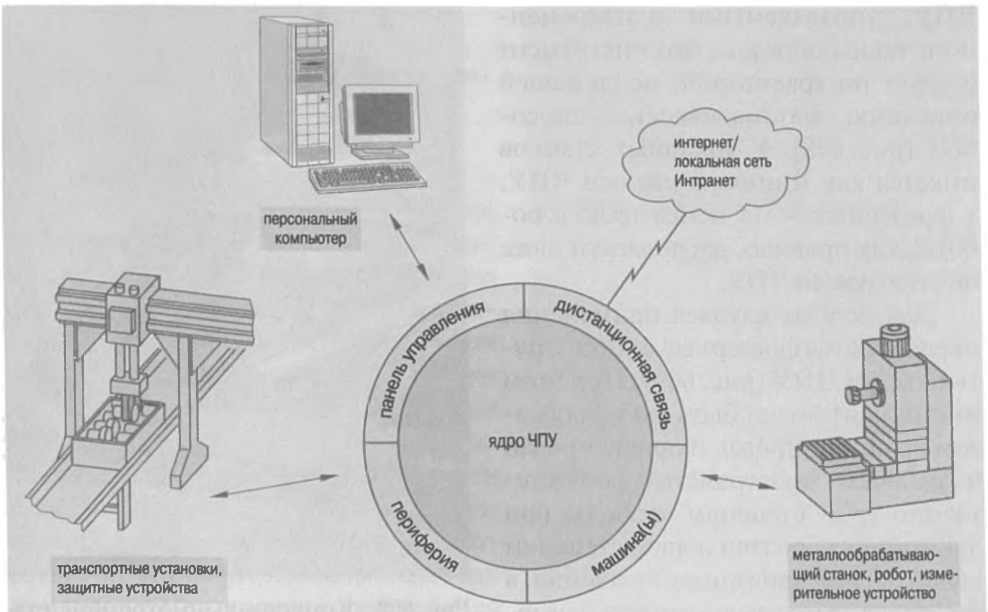


Рис. 607. Конфигурация и периферия системы числового программного управления

вой упор при отрезании пруткового материала. Если ранее подобный упор переставлялся вручную, то ныне для этой цели используют ось ЧПУ Это позволило значительно сократить подготовительно-заключительное время при эксплуатации станка. При этом одна производственная установка способна иметь множество таких осей ЧПУ, каждая из которых может управляться управляющими модулями ЧПУ в рамках программного управления от ЗУ (SPS).

Для больших автоматических поточных линий эти отдельные оси ЧПУ локально разведены достаточно далеко друг от друга, и относящиеся к ним управляющие модули также распределены по децентрализованным системам программного управления от ЗУ. Начальная установка заданного значения осуществляется на основе программного либо ручного управления через шину передачи данных. Сигналы, инициирующие процессы позиционирования, тоже поступают через общую шину передачи данных. Среди важнейших функций здесь можно назвать: перемещение унифицированного механизма подачи в режиме замедленного и ускоренного хода, перемещение с абсолютной величиной шага на (абсолютную) конечную позицию, перемещение с относительной величиной шага (на заданные отрезки пути), определение базовой точки для синхронизации после включения управления при системах измерения перемещений с приращением и для переноса начала координат.

Число и расположение осей ЧПУ

Металлообрабатывающие станки с ЧПУ — фрезерные, токарные, шлифовальные или фрезерно-отрезные – располагают двумя или более осями

ЧПУ, управляемыми одновременно и таким образом, что инструмент следует по траектории, подлежащей описанию математическим способом (рис. 608). У токарных станков имеется как минимум две оси ЧПУ, у фрезерных — не менее трех, а роботы, как правило, располагают даже шестью осями ЧПУ.

Для особых случаев применения предлагаются фрезерные станки с пятью осями ЧПУ (рис. 609). При этом инструмент может быть любым образом позиционирован и ориентирован в рабочем пространстве соответственно трем степеням свободы при движениях передачи и двум степеням свободы при движениях вращения, а заготовка имеет возможность совершать определенные повороты и наклоны так, чтобы инструмент всегда занимал положение вертикально поверхности заготовки.

Системы числового программного управления с пятью осями позволяют выполнять рабочие движения с любой пространственной ориентацией инструмента относительно заготовки.

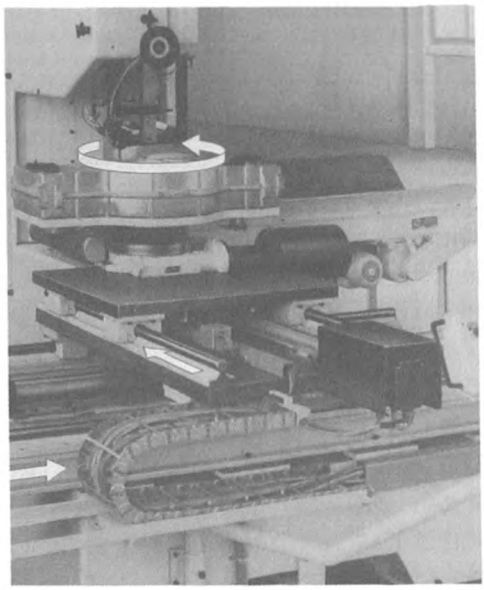


Рис. 608. Копировально-отрезной станок с поворотным столом (3 оси ЧПУ).

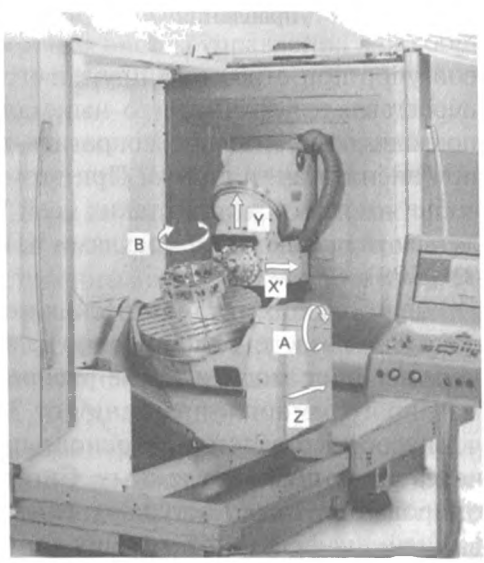


Рис. 609. Фрезерный станок с пятью осями ЧПУ

5.2.2. Интерполяция

При описании рабочего движения для центральной точки (центра) инструмента TCP (от англ. Tool Center Point) всегда программируется (исходя из мгновенного значения позиции траектории) следующая заданная конечная точка (место назначения) — с указанием касательно того, по какой именно траектории может быть достигнута данная цель. Для этого система ЧПУ в ускоренном темпе вычисляет промежуточные точки такой траектории, то есть происходит то, что принято называть «интерполяцией» (рис. 610).

Известны следующие виды интерполяции:

- линейная — для прямолинейных траекторий,
- круговая — для круговых сегментов,

«сплайн» — для пригнанной гладкой траектории, параболическая — для параболических сегментов и спиральная — для винтовой линии.

Математическое генерирование траекторий осуществляется с использованием эквидистантных во времени промежуточных точек примерно каждую миллисекунду, то есть при низкой скорости перемещения по траектории на каждую длину пути вычисляется множество промежуточных точек, число которых при высокой скорости резко снижается Это вполне отвечает нормальным требованиям и соответствует стандартным возможностям приводов. Неточности прохождения траектории возникают, в принципе, при изменениях ее направления, причем в случае высоких скоростей они проявляются в большей степени, чем в случае низких скоростей, и это лишь при условии, что при низких скоростях расстояния между промежуточными точками незначительные, а при высоких скоростях — достаточно большие.

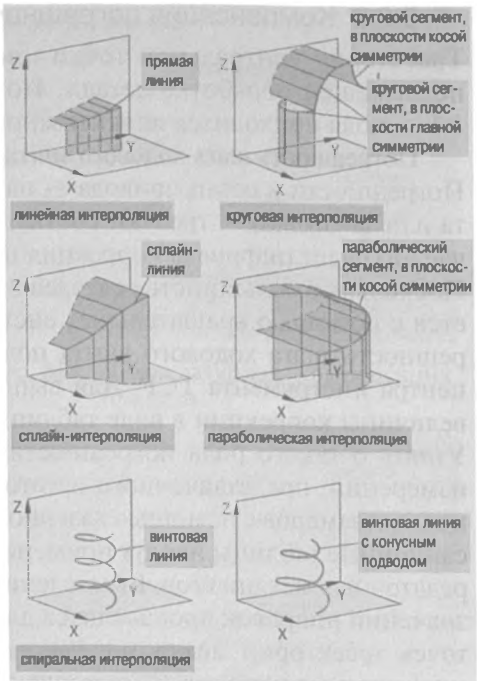


Рис. 610. Виды интерполяции

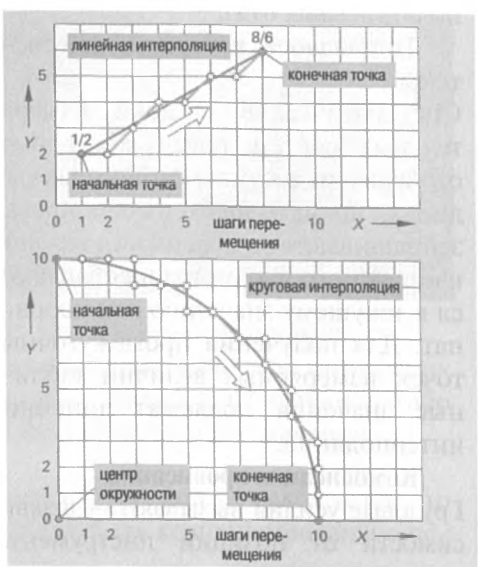


Рис. 611. Цифровое генерирование траектории

Математической основой для интерполяции и, следовательно, для расчета промежуточных точек траектории могут быть или известные математические уравнения для плоских и пространственных траекторий в параметрической форме (то есть, например для линейной интерполяции в плоскости x/y это будет пара уравнений $y = y_A + n \ \Delta y$ и $x = x_A + n \ \Delta x$ (рис. 611), или — как в новых системах ЧПУ — единое для всех методов интерполяции математическое описание в форме NURBS (от англ. Non Uniform Rational B-Splines). Все траектории, будь то окружности, прямые, параболы, сплайны или спиральные сегменты, разделяются на сегменты NURBS и интерполируются по единому принципу.

5.2.3. Компенсация погрешностей

Траектория центральной точки инструмента TCP выводится из геометрии подлежащей обработке детали. Но это, как правило, не есть отображение 1:1 — сюда приходится вносить множество поправок.

Погрешность шага ходового винта

Погрешности в ветви привода — на участке от вала двигателя до инструмента или заготовки — требуют соответствующей корректировки. В данном случае это будет цифровая коррекция погрешности шага ходового винта подачи. Поскольку в большинстве случаев измерение пути перемещения осуществляется с помощью вращательных систем измерения на валу двигателя, то погрешности шага ходового винта подачи вызывают позиционное отклонение центра инструмента TCP. Для выполнения компенсации надо представить величины коррекции в виде таблицы и соотнести их с перемещениями осей. Узнать о такого рода погрешностях можно либо из протокола результатов измерений, представленного изготовителем данного станка, либо на основе прямых замеров с помощью лазерного интерферометра. Упомянутые компенсационные таблицы найдут применение и для приводов с другими видами передаточных механизмов. Вычисление значений поправок производится для точек траектории между поддающимися измерению опорными точками коррекции методом линейной интерполяции (рис. 612).

Рис. 612. Линейная интерполяция погрешности шага ходового винта

Погрешность измерительной системы

Систематические ошибки измерительных систем также могут быть отображены в компенсационных таблицах, причем требуемые поправки запрашиваются в отношении каждого измеряемого параметра и добавляются к текущему значению оси координат. Для получения промежуточных точек измеряемых величин табличные значения подлежат линейной интерполяции.

Компенсация провисания

Грузовые усилия вызывают — в зависимости от позиции инструмента, например в одностоечном продольно-фрезерном станке — некоторое провисание оси Z (рис. 613). Возможное провисание определяют при вводе станка в эксплуатацию и заносят в компенсационную таблицу в зависимости от конкретной позиции. При

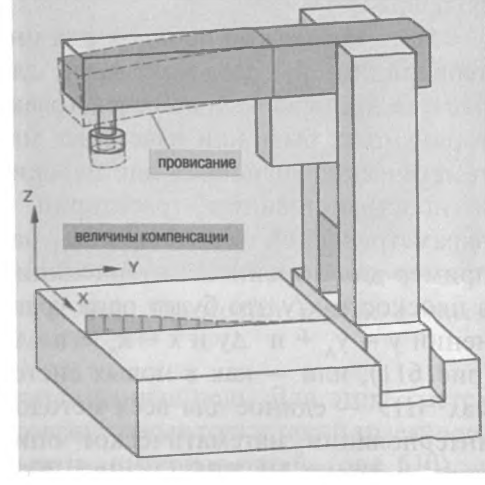


Рис. 613. Компенсация провисания в одностоечном продольно-фрезерном станке

этом базисной осью является ось Y, предлагающая входные табличные значения, в то время как ось Z подлежит компенсации на основе приведенных в таблице выходных данных.

С помощью подобных корректировочных таблиц можно компенсировать систематические погрешности, то есть заранее прогнозируемые и поддающиеся вычислению ошибки.

Рис. 614. Температурная компенсация по оси X (пример)

Температурная компенсация

Если влияние температур на позицию оси известно, то для температурной коррекции также можно воспользоваться таблицами поправок и скорректировать текущее значение позиции. Такая таблица может быть многомерной и содержит, как правило, не зависимые от позиции поправки, проистекающие, например от температуры станины станка, равно как и зависимые от позиции поправки, проистекающие, например от отдельных ходовых винтов подачи (рис. 614).

Компенсация квадрантной погрешности

При изменении направления подачи приводы меняют направления действия силы: из растягивающих усилий формируются усилия перемещения. При прохождении полного круга подобная ситуация возможна на переходах четырех круговых квадрантов (рис. 615). Указанные силы вызывают упругие деформации в механических передаточных звеньях, и они также заносятся в таблицы и добавляются либо соответственно вычитаются в зависимости от координатного значения.

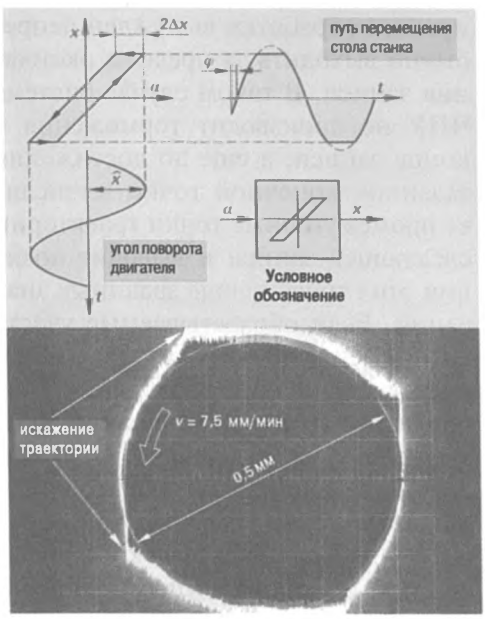


Рис. 615. Квадрантная погрешность

Погрешность углового положения

Если оси станка смонтированы не абсолютно точно под прямым углом, то возможные при этом погрешности также могут быть компенсированы с помощью таблиц поправок.

5.2.4. Управление движениями и проектирование траектории

Для обработки заготовки к отдельным рабочим участкам отнесены определенные программные записи в виде законченного предложения, или фразы программы. У деталей, состоящих из прямых отрезков, обычно один отрезок следует за другим, причем движение в конечной точке на короткое время

прерывается, то есть происходит затормаживание к концу программной записи и ускорение к началу записи для нового участка (рис. 616). Но нередко встречается контур обработки с непрерывно изменяющейся кривизной траектории, например при обработке поверхностей методом свободной ковки, и тогда обрабатываемых участков (и, следовательно, записей программы обработки) получается очень много, но все они будут с короткой длиной траектории. Здесь процесс обработки вынужден непрерывно выходить за пределы окончания записи. В таком случае система ЧПУ не производит торможения в конце записи, а еще до достижения заданной конечной точки вычисляет промежуточные точки траектории следующей записи и выводит позиции этих точек в виде заданных значений. Если обрабатываемые участки применительно к каждой записи имеют очень короткую длину (например всего 1 мм), то система ЧПУ вычисляет относительно текущей действительной точки траектории ее заданные точки для участков обработки, находящихся далеко впереди некоторых программных записей. Таким образом, речь здесь идет о функции «просмотра вперед» (англ. Look-ahead) (рис. 617), которая позволяет избежать затормаживаний на переходах от записи к записи, обеспечивая гладкий профиль скорости движения, сокращение времени обработки и устойчивый рабочий процесс. При этом удается исключить нежелательные надрезы с поверхностными отметками в местах перехода от записи к записи.

Рис. 616. Линейная функции пуска и линейная функция торможения

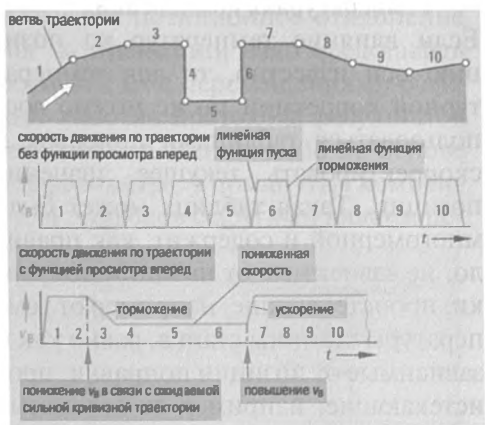


Рис. 617. Действие функции «просмотра вперед»

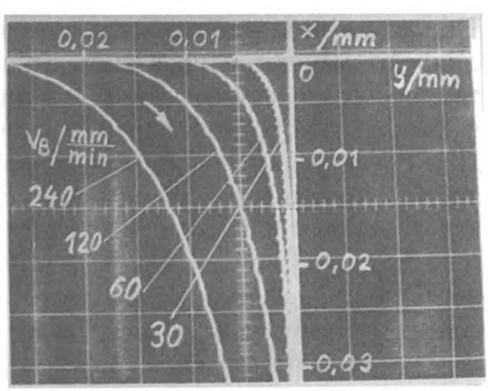


Рис. 618. Сглаживание в зависимости от скорости

При резких изменениях направления траектории в местах перехода от одной программной записи к другой возникает определенное сглаживание, если в конце соответствующей записи не будет выполнено торможение в режиме точного останова. Интенсивность своеобразного «скругления» вершин при

этом зависит от скорости движения по траектории, то есть при пониженных скоростях сглаживание будет небольшим, а при более высоких скоростях это явление пропорционально возрастает (рис. 618). Чтобы теперь получить определенный контур независимо от скорости движения по траектории, у некоторых систем ЧПУ зоны сглаживания программируются в виде заданных путевых размеров (рис. 619). В этом случае система ЧПУ вычисляет параболические сегменты или сплайны для скругления вершин и вводит их между программированными записями.

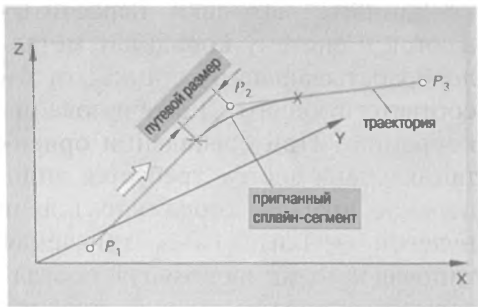


Рис. 619. Интерполяция сглаживания

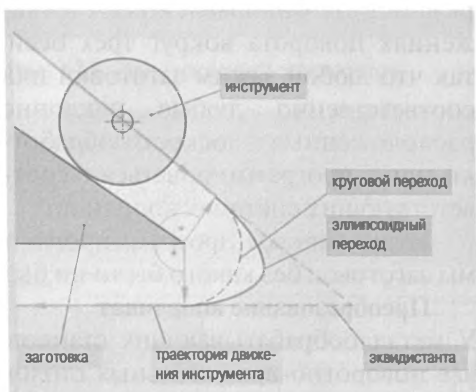


Рис. 620. Поправка на радиус инструмента

Коррекция инструментов

Системы ЧПУ, независимо от программированных траекторий обработки, учитывают текущую длину и текущий радиус инструмента с принятием соответствующих поправок (рис. 620). При вызове определенного инструмента значение его текущий длины прибавляется к значению координат траектории в направлении длины инструмента. Текущие радиусы инструментов (например радиус фрезы) прибавляются к позиционным координатам траектории слева или справа — в зависимости от направления вращения. В местах перегиба в программированную траекторию вводятся круговые или эллипсоидные сегменты (рис. 620). Помимо прочего, коррекция инструмента может зависеть также от направления его действия, принимая постоянно меняющиеся значения, как это бывает, например при коррекции радиуса режущей кромки в процессе токарной обработки. В случае динамической коррекции инструментов обязательно берется в расчет степень износа последних, что, в свою очередь, определяется сроком их эксплуатации. Величины поправок для инструментов непрерывно изменяются по мере увеличения продолжительности эксплуатации и обязательно учитываются в программе движений.

5.2.5. Типовая концепция и преобразование координат

Современные металлообрабатывающие станки и роботы позволяют составлять программы с программными данными, ориентирующимися на типовую (рамочную) систему координат, в большинстве случаев — на систему координат определенной заготовки (рис. 621). Программа ЧПУ при этом становится независимой от существующей позиции зажима заготовки. Текущие

координаты заготовки пересчитываются в систему координат металлообрабатывающего станка путем соответствующего преобразования координат. При совпадении ориентаций обеих систем требуется лишь перенос начала координат (сдвиг нулевой точки). Рассматриваемая типовая концепция позволяет согласовывать координаты в 6 степенях свободы, а именно в движениях передачи в трех направлениях и в движениях поворота вокруг трех осей, так что любой зажим заготовки или соответственно любые наклонно расположенные плоскости обработки могут программироваться в соответствующих системах координат.

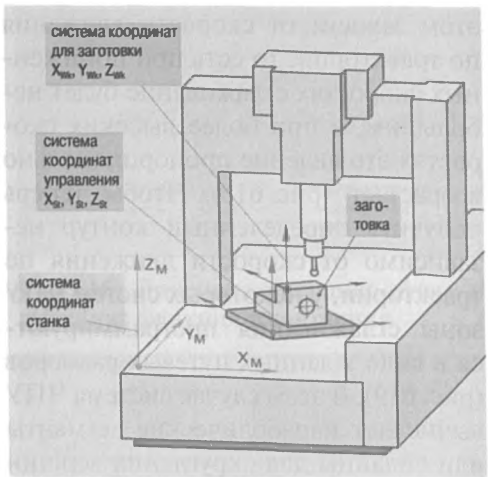


Рис. 621. Типовая система координат

Итак, типовое программирование позволяет осуществлять любые зажимы заготовок без какого бы то ни было изменения программ обработки.

Преобразование координат

У металлообрабатывающих станков с круговыми осями (например в случае поворотно-вращательных столов у станков с пятью осями, шарнирных автооператоров у роботов и проч.) осевые движения на основе машинных координат находятся в очень сложной зависимости относительно программируемой декартовой системы координат (базисных координат) (рис. 622). Проектирование траектории и интерполяция осуществляются в типовой декартовой системе координат, которые с помощью уравнений преобразования пересчитываются в координаты осей.

Наряду с проблемами точности преобразования и затрат времени на расчеты (значения координат должны поступать в миллисекундном такте), сложности возникают и по причине многозначности такого преобразования. Так, у станков с пятью и шестью осями, в принципе, возможно несколько положений осей для одних и тех же позиций и ориентаций инструмента.

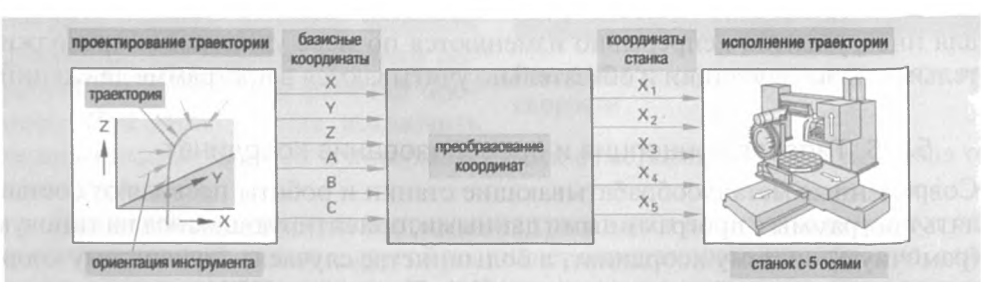


Рис. 622. Преобразование координат для станков с ЧПУ

5.2.6. Связь

Связь машины с оператором осуществляется через цветной графический экран дисплея посредством клавиш ввода, а при управлении скоростями и прецизионном позиционировании — через маховичок с инкрементным датчиком (рис. 623). Зоны связи при этом разделяются следующим образом:

Программирование

- составление программ и
- оптимизация программ.

Режимы работы

- ручное управление,
- автоматический режим работы,
  режим контроля и отладки,
  режим аналого-цифрового преобразования,
  режим прямого цифрового управления и
  дистанционная диагностика/дистанционное управление.

Диагностика

- тревожная сигнализация,
- редактирование параметров машины (рис. 624) и конфигурирование всей системы.

Рис. 623. Электронный маховичок

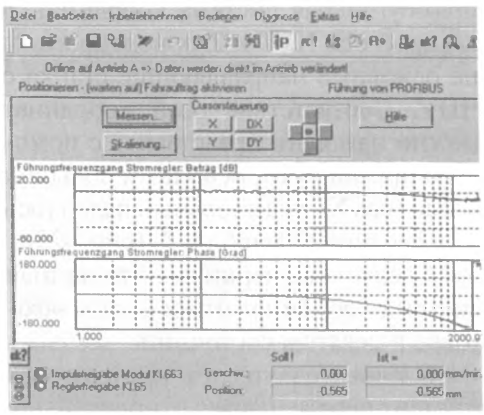


Рис. 624. Диагностика и параметрирование приводов

Создание новых программ обработки заготовок возможно и в процессе самой обработки. Программирование может осуществляться с тем же программным обеспечением и теми же шаблонами ввода, какие предлагаются системой ЧПУ, причем это возможно как в непосредственной близости от станка, так и дистанционно с помощью ПК — например через виртуальные панели управления, где управление элементами вводами выполняется с использованием «мыши».

Повторение и закрепление материала

1. *На какие функциональные зоны разделена система ЧПУ?*
2. *Каков принцип действия системы ЧПУ с пятью осями?*
3. *Назовите самые распространенные методы интерполяции.*
4. *Что такое NURBS?*
5. *В чем заключаются преимущества интерполяции на основе NURBS?*
6. *Какие погрешности компенсируются посредством системы ЧПУ?*
7. *Что означает функция «просмотра вперед»?*

8. *Какие функции сглаживания существуют?*
9. *Как происходит поправка на радиус инструмента?*
10. *Что понимается под термином «типовая концепция» и каковы ее особенности?*
11. *Для чего требуется преобразование координат?*
12. *Какие возможности предлагает системе ЧПУ присоединение к ISDN (интегральная цифровая сеть связи)?*

5.2.7. Системы координат и направления движений

Обозначения осей и их принадлежность к системе координат установлены для технологических машин с ЧПУ в нормах ДИН 66 217. В этом стандарте указаны также отдельные направления движений на станке с ЧПУ

Система координат

Обычно это правоориентированная, прямоугольная система координат, в которой оси X, Y и Z ориентированы на основные направляющие станка с ЧПУ. Соответствие осей координат можно наглядно представить с помощью правой руки, используя большой палец (ось X), указательный палец (ось Y) и средний палец (ось Z) (рис. 625).

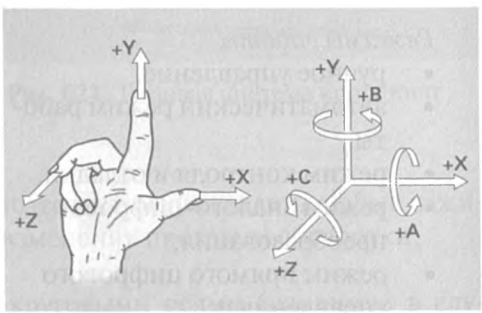


Рис. 625. Правоориентированная система координат

Следует подчеркнуть, что данная система координат относится к заготовке в зажатом состоянии.

Следовательно, при программировании всегда имеется в виду, что инструмент перемещается относительно системы координат предполагаемой установки, находящейся в состоянии покоя.

Из этого постулата для программиста ЧПУ вытекает следующее простое правило: заготовка неподвижна, движется только инструмент.

Если у технологических машин с ЧПУ имеются оси поворота, например поворотные столы или откидные приспособления, то они обозначаются буквами A, B и C. Такие оси располагаются в соответствии с осями поступательного движения X, Y и Z. Если применительно к какой-либо оси смотреть в положительном направлении, то вращение по часовой стрелке будет считаться положительным направлением вращения.

Согласование осей координат

Токарные станки

У токарных станков шпиндель изделия несет на себе вращающуюся заготовку. Токарный инструмент, например резец, совершает поступательные движения в направлении осей X и Z (рис. 626).

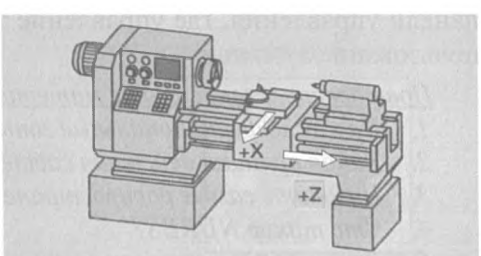


Рис. 626. Оси координат у токарного станка

Ось Z

Ось Z проходит параллельно шпинделю изделия либо совмещена с ней.

Положительное направление оси Z проходит от заготовки к вращающемуся инструменту, то есть при удалении инструмента от заготовки возникает движение оси Z в положительном направлении: значения параметров координат возрастают.

Ось X

Положительное направление оси X проходит от оси заготовки (оси поворота) до оси резцедержателя.

Этим объясняются и разные направления оси X при размещении токарного резца до или после центра вращения (рис. 627).

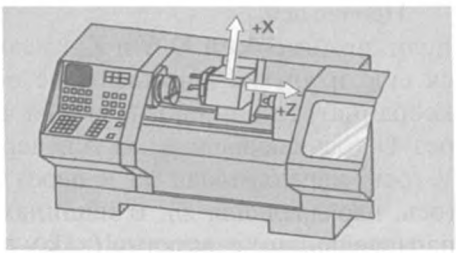


Рис. 627. Оси координат у токарного станка с наклонной станиной

Фрезерные станки

У фрезерных станков шпиндель изделия служит опорой для вращающегося инструмента.

Ось Z

У фрезерных станков ось Z проходит в направлении шпинделя изделия.

Положительное направление оси Z есть направление от заготовки к инструменту. Следовательно, при удалении инструмента от заготовки возникает движение в положительном направлении. При приближении инструмента по оси Z к заготовке возникает движение по оси Z в отрицательном направлении.

Ось X

Ось X есть главная ось в плоскости позиционирования, располагающаяся преимущественно параллельно поверхности зажима заготовки.

В силу разных положений шпинделя изделия, ось X по-разному располагается в горизонтальном и вертикальном консольно-фрезерных станках. Работая на горизонтальном консольно-фрезерном станке, оператор смотрит на заготовку, как правило, в направлении шпинделя изделия: тогда положительная ось X проходит влево (рис. 628). В случае же вертикального станка оператор стоит перед машиной и смотрит в направлении от шпинделя изделия к станине: тогда положительная ось X проходит вправо (рис. 629).

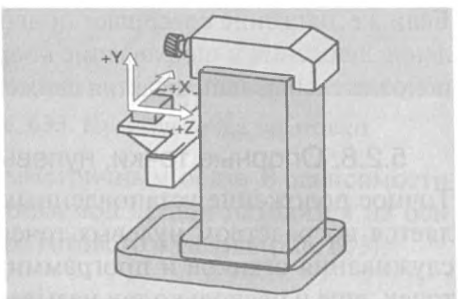


Рис. 628. Оси координат у горизонтального консольно-фрезерного станка

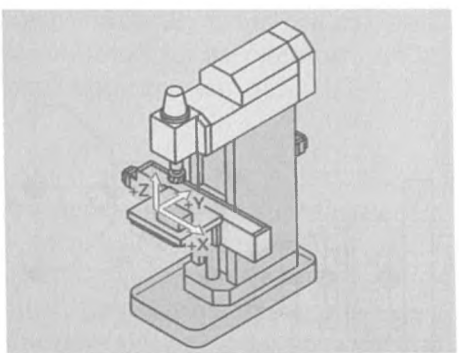


Рис. 629. Оси координат у вертикального консольно-фрезерного станка

Ось Y

На основе положения и направления осей X и Y принудительно создается положение и направление оси Y.

Прочие оси

Если, помимо осей X, Y и Z, имеются еще и другие параллельные оси координат, то они обозначаются через U (ось, параллельная X), через V (ось, параллельная Y) и через W (ось, параллельная Z). В машинах с параллельными салазками (как у горизонтальных фрезерных станков) последние получают обозначение оси U или P (рис. 630).

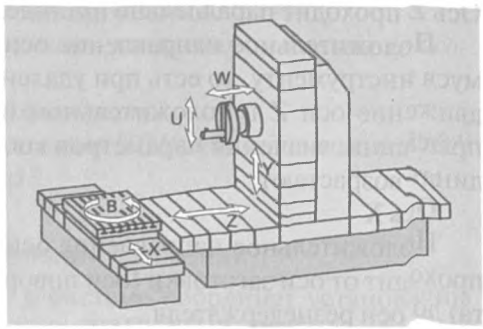


Рис. 630. Оси координат у обрабатывающего центра

Направления движения в станках

Движения по оси в положительном направлении всегда вызывают повышение значений параметров координат.

Когда движется инструментальный суппорт, направление оси и направление движения идентичны. В этом случае положительные направления движения, как и положительные направления осей, обозначаются через +X, +Y и +Z. Если же движение совершает приспособление для зажима изделия, то направление движения и направление координат противоположны друг другу, и тогда положительные направления движения будут обозначены как +X', +Y' и +Z'

5.2.8. Опорные точки, нулевые точки

Точное положение установленных в ДИН 66 217 систем координат определяется посредством нулевых точек отсчета. Для упрощения процессов обслуживания станков и программирования ЧПУ имеются, помимо нулевых точек, еще и несколько так называемых опорных точек (рис. 631).

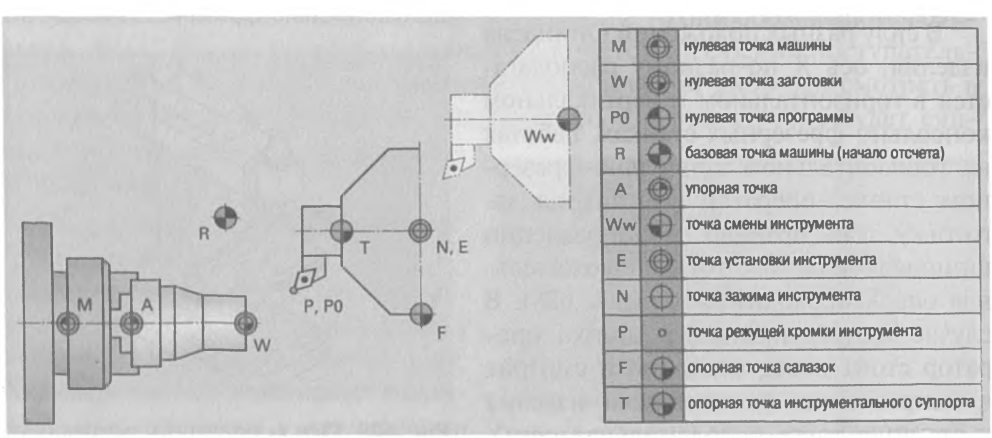


Рис. 631. Положение опорных и нулевых точек у токарного станка

5.2.8.1. Нулевые точки

Машинная нулевая точка M

Машинная нулевая точка M есть начало системы координат, устанавливаемое создателем станка.

У фрезерных станков эта точка часто располагается на краю зоны перемещения (рис. 632), у токарных станков — в области зажимного патрона, но чаще — на опорной поверхности фланца шпинделя.

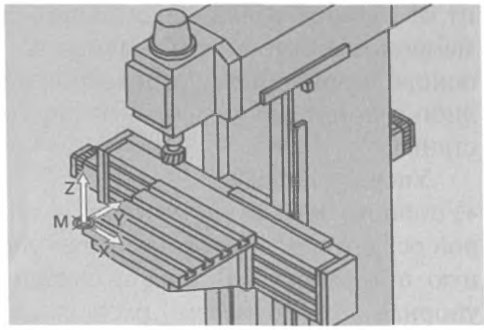


Рис. 632. Машинная нулевая точка M

Нулевая точка заготовки W

Нулевая точка заготовки W есть начало системы координат, относящейся к данному изделию.

Ее положение может свободно выбираться и устанавливаться программистом. Но делать это надо с таким расчетом, чтобы размеры чертежа готового изделия могли восприниматься непосредственно в виде значений координат. В случае фрезерованных деталей нулевую точку заготовки располагают на внешней угловой точке контура заготовки. При симметричных деталях предпочтение отдается симметричным осям. В зависимости от заданных размеров нулевая точка обтачиваемой детали находится на оси шпинделя с левого или правого края контура готового изделия (рис. 633).

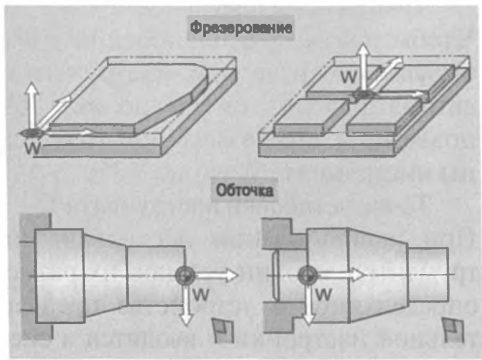


Рис. 633. Нулевая точка заготовки

Нулевая точка программы P0

Нулевая точка программы P0 указывает то место, где инструмент находится в начале обработки.

Нулевая точка заготовки W для этой цели не всегда подходит, поскольку, например в случае вращающихся деталей она располагается внутри изделия. Рекомендуется выбирать программную нулевую точку таким образом, чтобы это не создавало проблем при замене заготовок и инструментов.

5.2.8.2. Опорные точки

Машинная базовая точка R

У машин с инкрементным измерением пути перемещения действительные величины в случае исчезновения сетевого тока или иных неисправностей просто теряются. Чтобы в подобной ситуации вновь вернуть систему измерения перемещений в определенное состояние, приходится проводить через указанную точку все оси станка. В большинстве случаев такое невозможно уже в силу того, что этого не допустит зажатая заготовка или само зажимное приспособление. По этой причине требуется установить вторую опорную точку на осях станка — базовую точку R (рис. 634). Базовая точка R отсто-

ит от нулевой точки машины на неизменяемое расстояние и реализуется на основе маркировок штриховой меры либо с помощью кулачков на салазках станка.

Упорная точка A

«Упорной» называют ту точку, в которой ось вращения проходит через упорную поверхность. В токарных станках упорная поверхность располагается прямо на кулачковом патроне либо на зажимных кулачках.

Точка смены инструмента Ww

Чтобы избежать столкновений с обрабатываемым изделием, инструмент при автоматической смене должен быть подведен к так называемой точке смены инструмента Ww (рис. 635).

Точка установки инструмента E

При использовании нескольких инструментов за один установ их размеры определяются в устройстве предварительной настройки и вводятся в систему управления в качестве коррекционных значений (поправок) инструмента. Соответствующие поправки (Q и L) относятся к точке установки инструмента E, находящейся на относящемся к нему держателе (рис. 636).

Точка зажима инструмента N

Если инструмент вставлен в инструментальный суппорт, то точка зажима N и точка установки E инструмента совпадают. Во фрезерных станках точка зажима инструмента N располагается на переднем конце шпинделя, в токарных станках – в плоскости револьверной головки.

Точка режущей кромки инструмента P

Эта точка фактически или теоретически является вершиной режущей кромки инструмента (рис. 637).

Опорная точка салазок F

Все прочие точки, находящиеся на салазках станка, должны соотноситься с данной опорной точкой F.

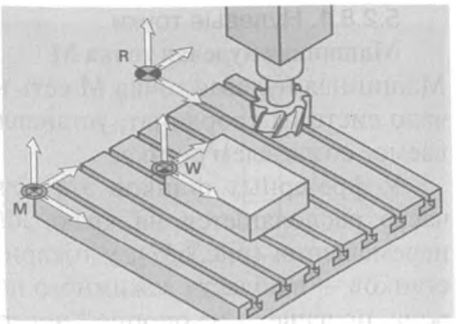


Рис. 634. Базовая точка станка

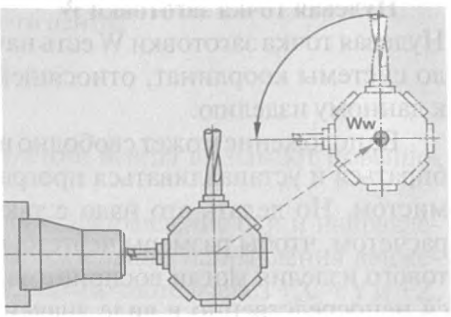


Рис. 635. Точка смены инструмента

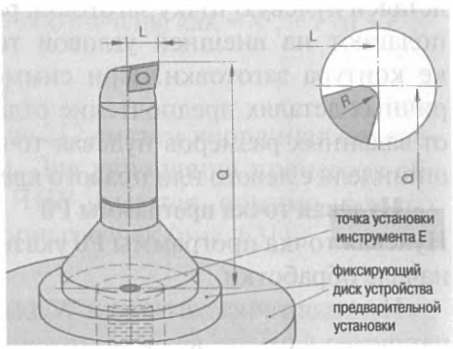


Рис. 636. Точка установки инструмента

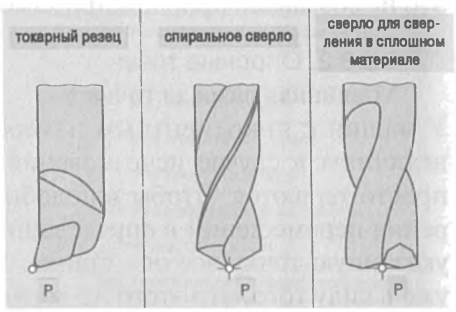


Рис. 637. Точка режущей кромки инструмента

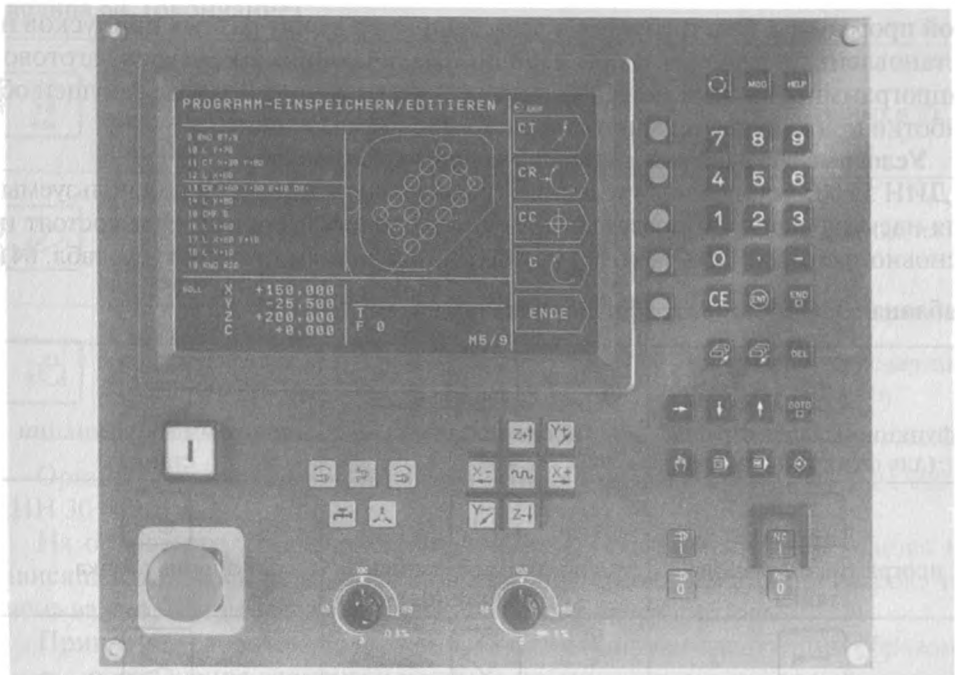


Рис. 638. Панель управления современной системы ЧПУ

Точка инструментального суппорта Т

С помощью этой точки устанавливается положение инструментального суппорта, например револьверной головки на салазках. Она служит в качестве исходной точки для всех прочих заданных размеров.

5.2.9. Органы управление и режимы работы

Панель управления

Через панель управления осуществляются все связи между оператором и системой управления (рис. 638), через нее вводятся программы ЧПУ, коррекционные значения инструментов и специальные параметры машин.

Если станок с ЧПУ будет обслуживаться вручную, используют кнопки и клавиши на панели управления. Здесь все функции могут вызываться простым нажатием соответствующей клавиши. Особое значение приобретает при этом электронный маховик, который обычно находится за пределами панели управления прямо на машине (рис. 639). Он заменяет собой кривошипные рукоятки и используется при установке и контроле опорных точек.

Рис. 639. Электронный маховик и выключатель отмены

Выключатель отмены позволяет оператору в ручном режиме производить изменение программированных значений подачи, то есть без коррекции са-

мой программы. Это требуется, когда, например в силу разных припусков на установленные размеры и при наличии различающихся контуров заготовок запрограммированные значения подачи и чисел оборотов в ходе текущей обработки приходится подгонять под изменившиеся условия.

Условные обозначения и клавиши кодировки символов

В ДИН 55 003 установлены условные графические обозначения, используемые для идентификации и представления управляющих функций. Они состоят из основного символа (см. табл. 63) и дополнительных обозначений (см. табл. 64).

Таблица 63. Основные графические символы по ДИН 55 003

функциональная стрелка (для функции станка)	носитель данных	программа без функции станка
программа с функцией станка	программная запись (предложение)	опорная точка
коррекция сдвига	запоминающее устройство	изменение

Таблица 64. Принятые графические символы для станков с ЧПУ

	базовая точка		поправка на радиус инструмента (для фрезерного инструмента)		поиск основной записи программы в прямом направлении
	начало координат		поправка на диаметр инструмента (для фрезерного инструмента)		поиск основной записи программы в обратном направлении
	перенос начала координат		ручной ввод		останов программы
	ввод абсолютного размера		начало программы		выборочный останов программы
	ввод относительного размера		конец программы		считывание и выполнение всех данных одной записи
	коррекция инструмента в оси X (для токарного инструмента)		ввод программы		считывание и выполнение всех данных программы

Таблица 64. (окончание)

	коррекция инструмента в оси Z (для токарного инструмента)		ввод программной записи		ввод данных в ЗУ
	коррекция радиуса режущей кромки (для токарного инструмента)		поиск записи №... в прямом направлении		вывод данных из ЗУ
	поправка на длину инструмента (для фрезерного инструмента)		поиск записи №... в обратном направлении		удаление содержимого памяти

Органы управления для функций станка нормированы в ДИН 24 900 и ДИН 30 600.

На основе представления в виде условных обозначений достигается не зависящее от языка пользователя понимание происходящих процессов, что очень важно, например при экспорте машин и оборудования.

Принятые условные обозначения классифицируют следующим образом:

- обозначения элементов машин и органов управления для элементов машин (см. табл. 65) и
  обозначения общих управляющих устройств и процессов, протекающих в машине (см. табл. 66).

Таблица 65. Условные обозначения элементов машин

	Шпиндель, ходовой винт		Токарный патрон Зажимный патрон		Пиноль задней бабки
	Цепной накопитель		Двухручный механизм смены инструмента		Захватный механизм для инструмента

Таблица 66. Условные обозначения движений машины

	Подача		Ускоренный ход		Продольный зажим заготовки
	Настройка		Позиционирование		Оборот шпинделя

Режимы работы

Благодаря возможности выбора режимов система управления может приводиться в разные рабочие состояния: ввода программы, ручной работы, автоматической работы. В зависимости от конструктивного исполнения системы управления, желаемый режим работы включается с помощью поворотных выключателей, клавишных переключателей либо так называемых «Softkeys» — многофункциональных

клавиш (клавиш с изменяемой функцией, устанавливаемой пользователем). Текущее значение таких многофункциональных клавиш индицируется на обрамлении экрана (рис. 640).

Ввод программы. В этом рабочем режиме принимаются и помещаются на хранение в ЗУ команды системы управления.

Ввод параметров инструмента и параметров станка. Ввод коррекционных значений для инструментов в систему ЧПУ на базе ВМ может осуществляться вручную или на основе дистанционного управления (Remote Control).

Рис. 640. Многофункциональные клавиши на панели управления

Путем ввода параметров станка максимальные числа оборотов, максимальная скорость подачи, ограничение рабочего пространства и зоны защиты от столкновения для инструмента и зажимного приспособления подгоняются к разным условиям рабочего процесса.

Ручной режим работы. При ручном режиме станок обслуживается через клавишную панель управления, причем для управления осями используются клавиши или координатный переключатель. Система измерения при работе в этом режиме подключена и индицирует на экране позицию осей.

Работа в режиме отдельных программных записей. Программа, хранящаяся в программной памяти, отрабатывает запись за записью путем нажатия соответствующих клавиш. Перед выполнением следующего шага обработки относящаяся к нему программная запись высвечивается на экране. Благодаря этому оператор имеет возможность распознавать и своевременно компенсировать возможные ошибки в программе при первом заходе заготовки.

Автоматический режим работы. После нажатия пусковой клавиши система управления приступает к автоматическому выполнению программы.

Запуск базовой точки — если потребуется. Базовая точка устанавливается в системе управления либо посредством предельного клавишного выключателя, либо с помощью соответствующих контрольных меток, и может быть автоматически задействована нажатием определенной клавиши.

ГЛАВА 6

РОБОТОТЕХНИКА

Понятие «робот» появилось еще в 1920 году с легкой руки чешского писателя Карела Чапека. В своей пьесе R.U.R. (Rossums Universal Robots) он описал общество будущего, члены которого пользовались услугами человекоподобных машин, именуемых роботами (от чешского robota — тяжелая работа). То есть предполагалось, что их задачей будет выполнение самой тяжелой работы.

Образ робота возник на основе представлений о производственных отношениях того времени. Вообще, 20-е годы считаются периодом бурного развития производства товаров массового спроса. Разрабатываемые тогда новые технологии, основанные на принципе разделения труда, последовательно внедряются и по сей день. При этом труд по своему характеру порой сводится к повторению ряда примитивных монотонных движений, совершаемых в ритме работы машины или в такте перемещения поточной линии. Признаком такой «конвейерной деятельности» стала высокая напряженность, связанная с:

- однообразной работой,
- стрессами, шумом, пылью, жарой,
- физически тяжелым трудом.

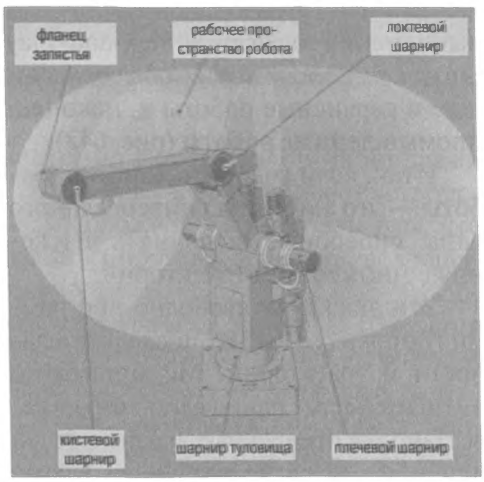


Рис. 641. Промышленный робот

Роботы — это, в сущности, автоматизированные механизмы с шарнирами, имитирующими человеческие суставы: рук, плеч, пальцев (рис. 641). Рабочее пространство у устройств среднего размера примерно такое же, какое бывает у стоящего в полный рост человека. Подобный автомат способен манипулировать предметами, требующими приложения силы до 300 Н и более. Рабочая скорость значительно превышает скорость работы вручную и составляет порядка 1 м/с.

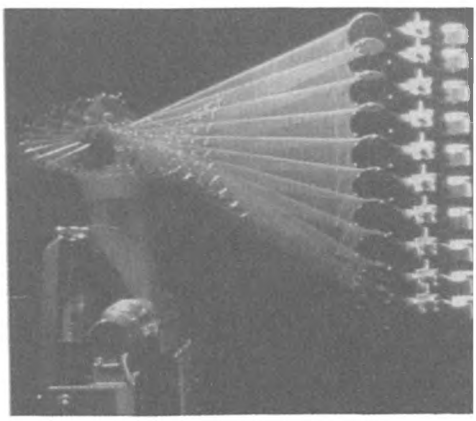


Рис. 642. Взаимодействие нескольких осей движения для получения прямой линии

Чтобы взаимодействие движений отдельных шарниров создавало целенаправленное, например прямолинейное движение механической руки робота, требуются мультипроцессорные системы управления с высоким быстродействием, способные выполнять несколько миллионов вычислений в секунду (рис. 642).

6.1. Классификация роботов

Многочисленные манипуляционные устройства внешне зачастую выглядят очень похожими, но могут сильно различаться по уровню управления, способу программирования и области применения. Так, есть автоматизированные манипуляторы, автоматы для выполнения задач типа Pick-and-Play («взять-и-положить»), обслуживающие и сервисные роботы и, наконец, промышленные роботы (рис. 643).

Рис. 643. Классификация манипуляционных систем

Итак, если говорить коротко, роботы — это автоматы универсального типа, способные выполнять движения с множеством траекторий.

Эти движения свободно программируются в смысле их последовательности и траектории. Механического вмешательства, например с целью перестановки предельных выключателей или т. п., здесь не требуется. Кроме того, траектории движений и последовательность их выполнения могут управляться с помощью сенсоров.

Обслуживающие роботы представляют собой самоходные автоматы для обслуживания технологических линий, сервисные роботы рассчитаны преимущественно для работ в сфере службы быта.

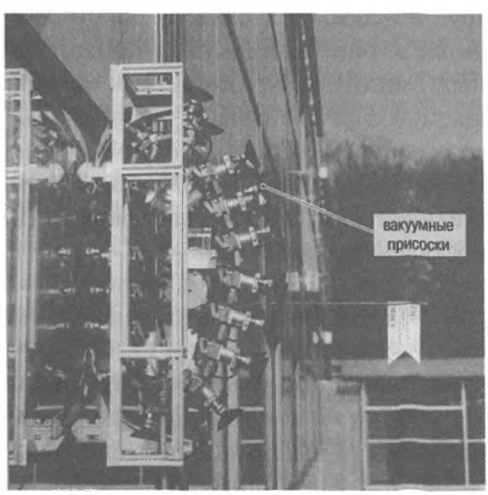


Рис. 644. Роботы с вертикальным самоподъемом на фасаде

В качестве примера можно назвать широко используемые в больницах автоматически передвигающиеся тележки для раздачи обедов или «лазающие» роботы с вертикальным самоподъемом для очистки и контроля фасадов зданий (рис. 644).

Манипуляционные автоматы с жестким программированием находят применение в случае неизменяемых двигательных процессов, например при загрузке пресса или монтаже серийных изделий.

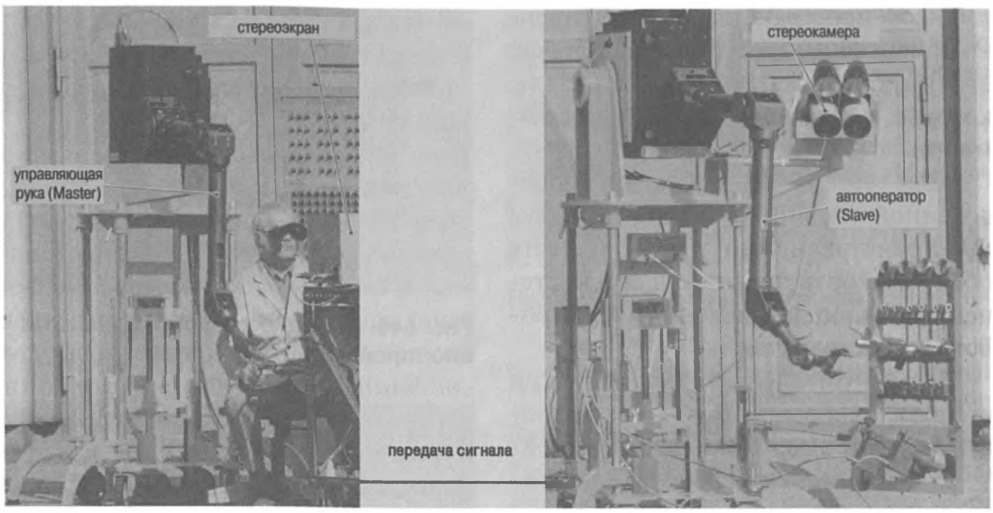


Рис. 645. Телеоператор, управляемый посредством трехмерного телевизионного экрана

Эти устройства оснащены обычно подъемно-поворотными цилиндрами пневматического действия. Механизмы такого рода часто называют устройствами, действующими по принципу «взять-положить», из чего следует, что они предназначены для выполнения указанных простых действий, совершаемых в четко установленной последовательности.

Манипуляторы относятся к устройствам, управляемым вручную в сочетании с налаженным визуальным контролем. Это могут быть, например механизмы для перемещения тяжелых поковок к ковочным прессам либо для раскачивания больших «баб», используемых при сносе зданий. У манипуляторов с дистанционным управлением (телеманипуляторов) процесс выполнения движений контролируется по экрану дисплея (рис. 645): они незаменимы, например для работы в радиоактивных зонах, при проведении экспериментов в космосе и т. п. С помощью микроманипуляторов могут выполняться работы, связанные с мельчайшими конструкционными элементами, в том числе с микропроцессорами. При этом все совершаемые движения контролируются через микроскоп.

6.2. Особенности кинематики

Тип, расположение и число подвижных единиц (осей) у робота определяют не только его внешний вид, но также его рабочее пространство, область применения и затраты на технику управления. Подвижными единицами являются шарнирные соединения (вращательные оси, оси R) или прямолинейные направляющие (передаточные оси, оси T).

Для достижения разных точек в пространстве требуется три оси: это так называемые основные оси, образующие собственно механическую «руку» робота. Для установки захватного механизма или инструмента в любом направлении

рабочего пространства (для собственно ориентации) требуется еще три оси: это будут, так сказать, оси «запястья», которые всегда являются ротационными (рис. 646).

Для установки робота в определенной позиции в его рабочем пространстве нужно в целом шесть осей — в соответствии с шестью степенями свободы движения «тела» робота в пространстве.

При этом следует различать три степени свободы для позиционирования, например с координатами X, Y, Z, и три степени свободы для ориентации с осями вращения: D — для движения качения, E — для движения наклона (кивания) и P — для движения качания (рис. 647).

Роботы классифицируются в зависимости от их кинематики, то есть способа выполнения движений.

При кинематике типа TTT три основные передаточные оси (3 x translation), начиная с опорной поверхности робота, следуют друг за другом (рис. 648). Такой тип роботов используют чаще всего в качестве портальных механизмов для погрузки-выгрузки поддонов и проведения разных монтажных работ. У них квадратное рабочее пространство, а длина граней такого квадрата соответствует длинам осей X, Y и Z. Для выполнения прямолинейных движений в этом рабочем пространстве отдельные оси должны перемещаться с разными, но стабильными скоростями. Управление такими роботами напоминает систему управления фрезерными станками с ЧПУ При индивидуальном управлении осями в ручном режиме создаются отдельные сегменты прямолинейного движения в декартовой системе координат.

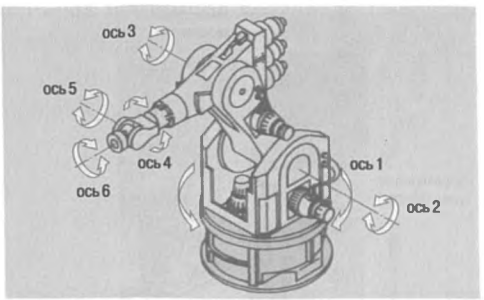


Рис. 646. Шесть осей робота для позиционирования и ориентации

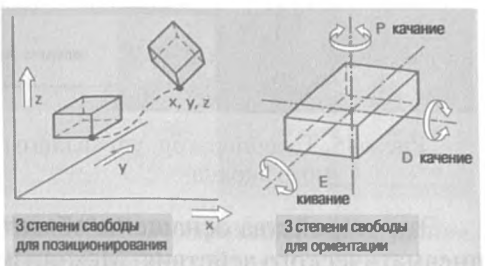


Рис. 647. Шесть степеней свободы движения.

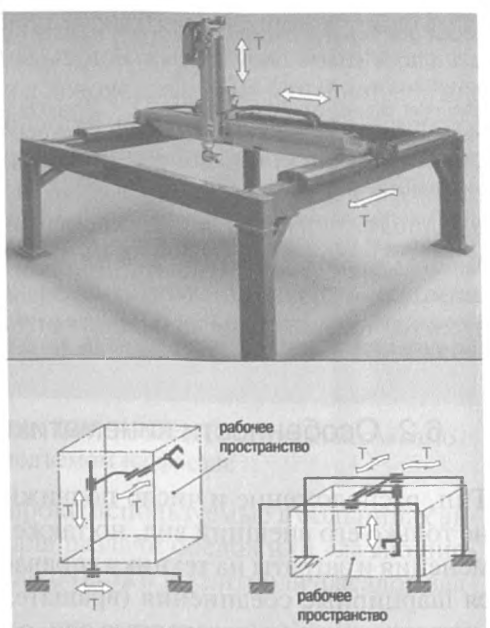


Рис. 648. Роботы с кинематикой TTT

При кинематике типа RTT (1 x rotation + 2 x translation) две передаточные оси насажены на одну вращательную ось (рис. 649). Поворотная колонна

(первая ось) несет на себе передаточную ось (вторая ось) для достижения вертикальной установки по высоте, а та, в свою очередь, удерживает еще одну передаточную ось (третья ось) для определения дальности действия в радиальном направлении. Рабочее пространство имеет здесь цилиндрическую форму. Когда в ручном режиме осями управляют индивидуально, получают для второй и третьей осей по одному сегменту прямолинейного движения, а для первой оси — дугу окружности, лежащую в плоскости X/Y. Чтобы выполнить программирование робота обычным способом с прямоугольными координатами X, Y, Z и дать ему возможность перемещаться вдоль этих осей, системе управления роботом приходится непрерывно производить преобразования декартовых координат в полярные (машинные) координаты.

Роботы с кинематикой типа RRT (2 x rotation + 1 x translation) имеют, например одну ось вращения в качестве первой оси, одну поворотную ось в качестве второй оси и одну передаточную ось в качестве третьей оси (рис. 650). Здесь рабочее пространство имеет форму полусферы. При индивидуальном управлении первыми двумя осями получают сегменты кругового движения для каждой из них. Чтобы выполнить программирование робота обычным способом с прямоугольными координатами X, Y, Z и дать ему возможность перемещаться вдоль этих осей, необходимо непрерывно производить пересчет с системы декартовых координат в систему сферических координат — систему координат роботов.

Также и робот в исполнении по рис. 651 имеет в качестве передаточной оси не линейную направляю-

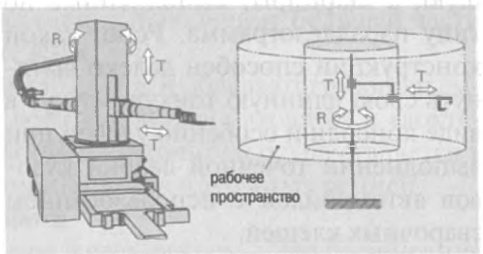


Рис. 649. Робот с кинематикой RTT

Рис. 650. Робот с кинематикой RRT

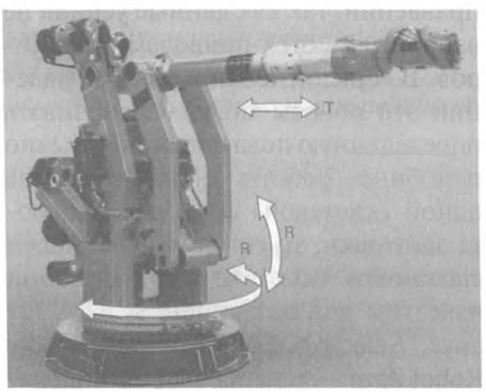


Рис. 651. Пример робота в кинематике RRT с параллелограммным шарниром

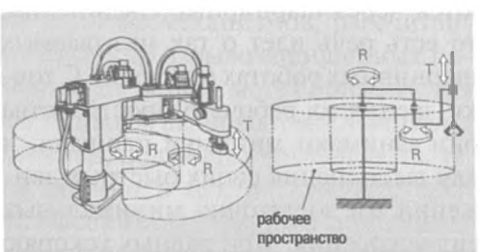


Рис. 652. Робот с кинематикой RRT и горизонтальным автооператором (SCARA)

щую, а шарниры, выполненные по типу параллелограмма. Робот такой конструкции способен далеко вытянуть свою длинную тонкую «руку» в виде консоли и особенно удобен при выполнении точечной сварки кузовов автомобилей с использованием сварочных клещей.

Для монтажных роботов часто находит применение кинематика RRT с горизонтальным автооператором. Базируясь на двух вращательных осях, за перемещающейся в горизонтальном направлении консолью следует передаточная ось для вертикального движения подъема (рис. 652). Рабочее пространство здесь — цилиндрической формы.

Такая конструкция робота позволяет ему достигать высоких усилий для состыковки в вертикальном направлении, так как данные усилия не воспринимаются приводами шарниров. В горизонтальном же направлении эти роботы могут обеспечивать определенную податливость. Обычно подобные роботы обладают лишь одной «кистевой» осью для поворота заготовки, то есть имеют в общей сложности всего четыре оси. Они известны под названием SCARA (от англ. Selective Compliance Assembly Robot Arm — монтажный автооператор с избирательной податливостью).

При кинематической схеме RRR (3 x rotation) все движения выполняются через шарнирные соединения, то есть речь идет о так называемых шарнирных роботах (рис. 653). С точки зрения их рабочего пространства они занимают минимум площади, и для выполнения своих быстрых движений им достаточно минимальных сил ускорения. При равных ускоряющих массах и соответственно одинаковых силах инерции, конструкция таких роботов отличается большей жесткостью и надежностью, чем у роботов с иной кинематикой.

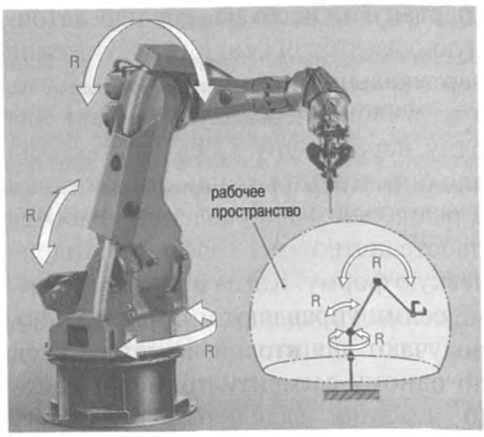


Рис. 653. Кинематика RRR робота с шарнирной рукой

Рис. 654. Робот с расширением рабочего пространства за счет седьмой оси

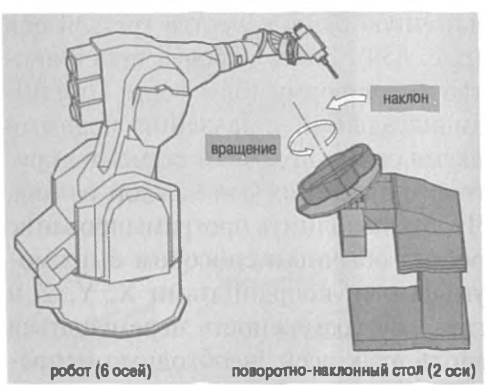


Рис. 655. Робот с поворотно-наклонным столом.

Здесь уместно отметить, что конструктивное исполнение большей части роботов основано именно на кинематике RRR.

Эти роботы могут быть самых разных габаритов и обладают грузоподъемностью от 1 кг до 200 кг. Приводы для осей «запястья» находятся в «локтевом» шарнире. Передача усилий к «запястным» шарнирам осуществляется в большинстве случаев посредством шарнирных валов и зубчатых ремней.

Расширение рабочего пространства робота

Часто к шести осям робота добавляется еще и седьмая ось — для расширения его рабочего пространства, причем робот устанавливается на рельсы либо подвешивается к направляющей (рис. 654). С его помощью удается изготовлять изделия (например в модельном деле) длиной более 30 метров.

Расширение с добавлением поворотно-наклонного стола, то есть за счет седьмой и восьмой осей (рис. 655), обеспечивает особенно благоприятное расположение обрабатываемой заготовки по отношению к перемещаемому роботом обрабатывающему инструменту.

В случае подобного расширения все движения добавочных осей должны учитываться при проектировании траектории в системе управления. Все семь или восемь осей могут двигаться одновременно, а именно таким образом, чтобы, например при сварке объемно-изогнутых деталей плавильная ванна всегда занимала горизонтальное положение.

Повторение и закрепление материала

1. *На какие три группы принято делить манипуляционные системы?*
2. *Сколько степеней свободы движения существует?*
3. *Какое рабочее пространство характерно для робота с кинематикой RTT?*
4. *Назовите два исполнения роботов с кинематикой RRT. Каково их типичное рабочее пространство?*
5. *Чем отличается кинематическая схема RRR?*
6. *С какой целью к уже имеющимся осям робота добавляют иногда еще седьмую ось или седьмую + восьмую оси?*

6.3. Приводы для роботов

В качестве приводных агрегатов для роботов используют преимущественно серводвигатели трехфазного тока. Только в случае механизмов, рассчитанных на экстремальные нагрузки или работающих во взрывозащищенных помещениях (например в сушильно-лакировальных цехах), могут применяться гидравлические приводы. Пневматические приводы выбирают исключительно для совсем простых механизмов — питателей, подающих устройств и т. п.

Приводные двигатели располагаются обычно в центре рабочего пространства робота, что позволяет избежать высоких сил инерции при движениях робота. Габариты и мощность электродвигателя зависят, главным образом, от ускоряющих сил, а не от максимально допустимой нагрузки данного робота.

Электрические приводы

Привод состоит в большинстве случаев из трехфазного двигателя с регулируемым числом оборотов в сочетании с электромагнитным тормозом и сельсином для измерения угла (рис. 656).

Эти двигатели отличаются чрезвычайно низкими инерционными моментами (малыми маховыми массами). Максимальное число оборотов двигателей составляет порядка 3000 в минуту, или 50 в секунду, но максимальная окружная скорость вращения осей «рук» роботов достигает всего лишь 0,5 об/с. Поэтому число оборотов двигателя приходится понижать с помощью редуктора в отношении примерно 100:1. Для этой цели устанавливают обычно передаточные механизмы типа Harmonic-Drive (волновой редуктор), реже — планетарные передачи.

Волновой редуктор состоит из овального приводного диска, который на основе направляющих шариков вдавливает гибкую гильзу с внешним зацеплением в неподвижное кольцо с внутренним зацеплением (рис. 657). Благодаря овальной форме приводного диска гибкая гильза с наружными зубьями касается неподвижного кольца с зубьями внутреннего зацепления всего лишь в двух противолежащих точках (рис. 658). При этом число зубьев гильзы с внешним зацеплением, например на два меньше, чем число зубьев наружного кольца с внутренним зацеплением.

Если, скажем, число зубьев гильзы с наружным зацеплением составляет 200 штук, а число зубьев наружного кольца с внутренним зацеплением — 202 штук, то при обкате гильзы по кольцу за один оборот приводного диска гильза провернется на два зуба, то есть на 1/100 оборота.

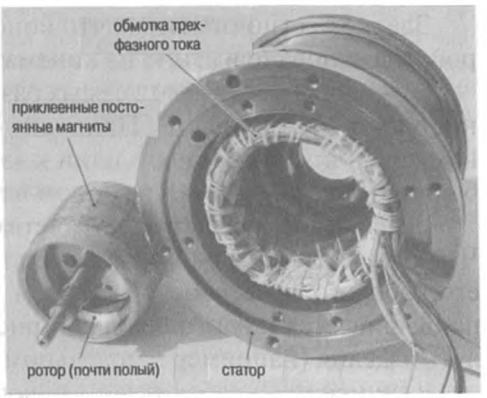


Рис. 656. Сервопривод трехфазного тока с двигателем (с полым ротором)

Рис. 657. Волновой редуктор

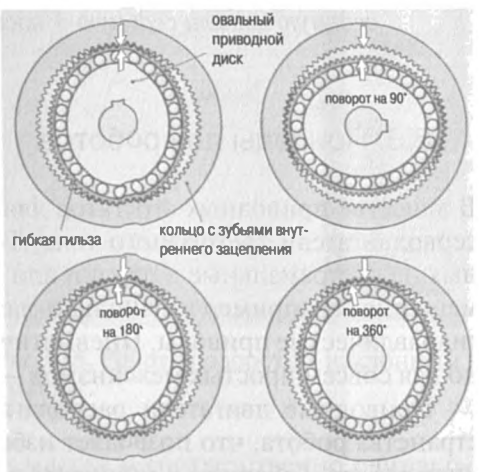


Рис. 658. Принцип действия волнового редуктора

Передаточное отношение, следовательно, равно 1:100.

Волновые редукторы чрезвычайно просты в исполнении, довольно легки и обладают отличным КПД (выше 80 %), не имеют зазора и не нуждаются в большой монтажной площади.

Гидравлические приводы

В качестве гидравлических приводов используются цилиндровые приводы в сочетании с кривошипами либо поворотными цилиндрами, встроенными непосредственно в шарниры «руки» робота; здесь находят применение также аксиально-поршневые гидромоторы или гидромоторы с роликовыми замыкателями.

6.4. Захваты

Роботы в функции манипуляторов оснащены разного рода захватными механизмами.

Как правило, это захваты клещевого типа с пневматическим управлением, способные создавать посредством коленно-рычажной передачи большие захватные усилия (рис. 659). Клещевые захваты с кулисным приводом отличаются особенно большой шириной раскрытия (рис. 666).

Нередко бывает так, что захватные колодки в рамках обычного инструментального производства порой специально подгоняются для выполнения функций манипулятора. Для манипуляций с цилиндрическими заготовками иногда используются также трехпальцевые захваты.

Для обращения с текстильными изделиями и проч. существуют захваты, оснащенные игольчатыми колодками. Для выполнения универсальных задач на «взятие» имеются максимально приближенные к человеческой руке многопальцевые захваты.

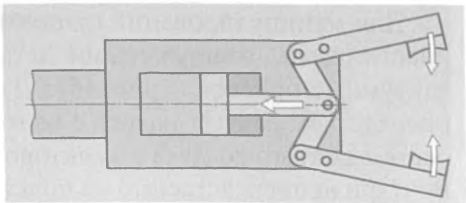


Рис. 659. Коленно-рычажный привод для клещевого захвата

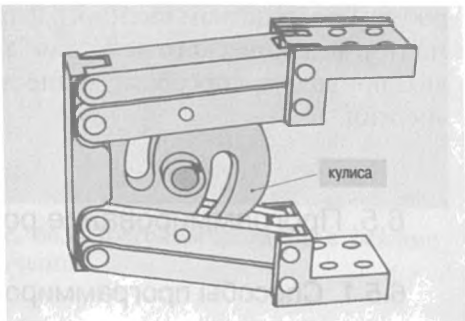


Рис. 660. Кулисный привод для клещевого захвата

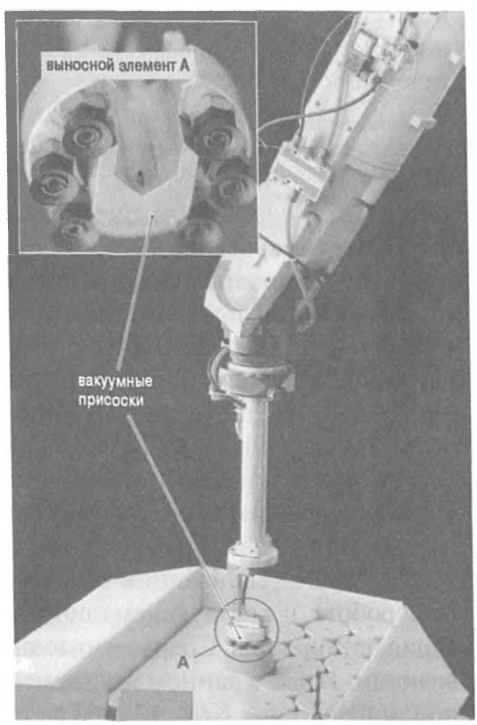


Рис. 661. Робот с вакуумно-присасывающим захватом.

Для манипулирования гладкими и плоскими заготовками (стеклянными пластинками, пластиковыми деталями) находят применение загрузочные вакуумные присоски (рис. 661). Требуемый для этой цели вакуум создается посредством вакуум-насоса с соответствующей буферной емкостью либо на основе сжатого воздуха с эжектором. При этом получается небольшое сопло Вентури непосредственно на присоске.

Системы захвата и смены инструментов

Для обслуживания самых разных инструментов и заготовок захваты и соответственно инструменты крепятся на автооператоре (механической руке робота) посредством сменного фланца. Существуют системы смены инструментов механического действия, а также с пневматическим или электрическим приводом, способствующие передаче электрической и пневматической энергии.

6.5. Программирование роботов

6.5.1. Способы программирования

Процесс программирования роботов значительно сложнее программирования станков с ЧПУ, поскольку наряду с позиционными точками здесь приходится программировать еще и ориентацию инструментов. Чертежи заготовок не всегда способны помочь в определении ориентации инструмента — как, например в случае сварочной горелки при траекторной сварке изогнутых деталей ходовых частей шасси.

Среди наиболее распространенных способов программирования можно назвать следующие: Play-back (в режиме воспроизведения роботом программы движения), Tech-in (в режиме обучения) и интерактивное графическое программирование в автономном режиме (Off-Line).

Программирование в режиме Play-back (рис. 662)

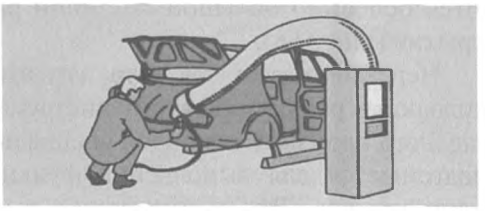


Рис. 662. Программирование в режиме воспроизведения программы движения роботом

В случае простых механизмов (например роботов, предназначенных для выполнения лакокрасочных работ) движение задается напрямую ручным способом — путем установки механической руки робота в предусмотренной траектории и с нужной ориентацией. Система управления в это время регулярно запоминает (примерно каждые 20 мс) параметры позиций отдельных осей робота, и в следующем программном цикле установленная вручную траектория повторяется. Сохраненные значения позиций служат в качестве заданных величин. Итак, в данном случае мы имеем дело с воспроизведением сохраненной информации. Конечно, такая техника программирования менее точна, чем программирование в режиме Teach-in, поскольку механическая рука робота при программировании способом ручного управления нагружается совсем ина-

че, чем в автоматическом цикле работы. Так, при ручном управлении руку робота приходится тянуть вручную, в то время как в автоматическом цикле с этим успешно справляется привод. Еще один недостаток состоит в том, что программист вынужден перемещаться в рабочем пространстве вместе с роботом, а этого пространства порой явно не хватает (вспомним хотя бы процесс покраски внутренних поверхностей кузова), что делает подобную работу крайне неудобной и тяжелой.

Программирование в режиме Teach-in (рис. 663)

При программировании в режиме обучения робот перемещается к позициям обслуживания или местам обработки с помощью управляющих клавиш либо трехкоординатной ручки управления (джойстика) ручного программирующего устройства (рис. 664). При этом устанавливается и сохраняется требуемая ориентация. Далее запускается следующая позиция, и так в автоматическом режиме отрабатываются все позиции согласно порядку номеров программных записей.

Позиции и ориентации вводятся в самообучающуюся программу посредством ручного управления точка за точкой. Прочие операторы программируются самим роботом либо с помощью ПК.

В большинстве случаев роботы могут программироваться — на выбор — на языке программирования высокого уровня PASCAL либо на языке пользователя с применением макросов. Подходящие макросы составляются для пользователя изготовителем робота или поставщиком системы.

Рис. 663 Программирование в режиме обучения

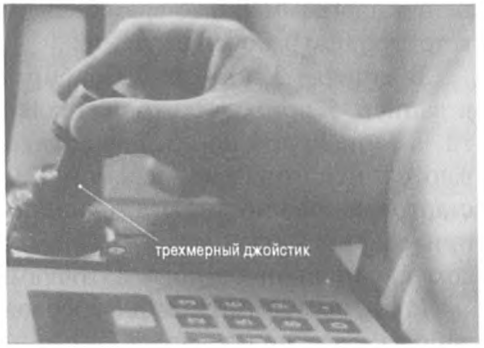


Рис. 664. Ручное программирующее устройство с координатной ручкой управления

Рис. 665. Разбивка программы на сегменты

Программирование на высокоуровневом языке

Программирование с использованием языка высокого уровня осуществляется по принципу структурирования, то есть с разделением на основные программы (HP) и подпрограммы (UP) (рис. 665), и вплоть до ввода данных позициони-

рования и ориентации выполняется на ПК, реже — через панель управления роботом. Подобное членение дает хорошо обозримую программу, удобную для тестирования и прогона по сегментам.

В основной программе определяются все общезначимые функции, как то: максимальная скорость, максимальное ускорение, коррекция нулевой точки, система координат, стартовая позиция.

В подпрограммах описываются отдельные рабочие задания со всеми данными позиционирования и ориентации. Здесь устанавливаются выходы и распознаются входы.

Все без исключения программы строго разделены на описательную и операторную части (рис. 666 и табл.67). В описательной части стоит имя программы, а у основной программы — имена глобальных (нелокализованных) подпрограмм и специфицированные переменные. В операторной части находятся подлежащие выполнению операторы (инструкции). Глобальные подпрограммы действуют на протяжении всего хода выполнения программы, в то время как локальные активизированы только в соответствующем рабочем сегменте.

описательная часть	имя/определение переменных
операторная часть	инструкция инструкция ⋮

Рис. 666. Структура программы

В записях 3 и 4 (см. табл. 60) описываются внешние подпрограммы, а в записи 5 приводятся целочисленные переменные. В операторной части, в записях с 6 по 16, посредством глобальных подпрограмм устанавливаются необходимые переменные. В записи 12 робот перемещается в стартовую позицию. Инструкциями 13 — 16 управляется выполняемое при сварке движение. В данном случае производится сварка под флюсом с четырьмя сварными точками в соответствии со списком данных.

Итак, программирование роботов производится на языке высокого уровня либо на языке пользователя.

Таблица 67. Пример структуры программы

```
1   DEF EUROPA BSP ( )
2   ; пример сварки
3   EXT GESALL (INT); глобальная подпрограмма для осевой скорости
4   EXT GESALL (INT); глобальная подпрограмма для осевого ускорения
5   INT I
6   GESALL (50) ;вызов подпрограммы, скорость 50 %
7   BESALL (50) ;вызов подпрограммы, ускорение 50 %
8   $ BASE = {X 0.0, Y 0.0, Z 0.0, A 0.0, B 0.0, C 0.0]
9   ; коррекция нулевой точки
10  $ TOOL = X0, Y0, Z100, A0, B0, C0}
11  ; коррекция инструмента 100 мм вдоль оси Z
```

Таблица 67. (продолжение)

```
12  PTP START
13  FOR I = 1 TO 4
14  PTP PUNKT (1)
15  СВАРКА ( )
16  END FOR
17  PTP [X 100.0, Y 100.0, Z 100.0]; Home-Pkt
18
19  ; локальная подпрограмма сварки
20  DEF СВАРКА ( )
21  $ OUT [13] = TRUE; установить выход 13 = закрыть цангу
22  WAIT FOR $ IN [31]; вход 31 = ? цангу закрыть?
23  $ OUT [14] = TRUE; установить выход 14 = сварка
24  WAIT FOR $ IN [41]; вход 41 = ? конец сварки
25  $ OUT [13] = FALSE; выход 13 сбросить = открыть цангу
26  КОНЕЦ
```

```
1   DEF DATA EUROPA BSP
2   POS PUNKT [4]; параметры позиций 4 сварных точек
3   PUNKT [1] = {220.0, Y230.0, Z200.0, A10.1, B20.0, C30.0}
4   PUNKT [2] = {X230.0, Y240.0}
5   PUNKT [3] = {X240.0}
6   PUNKT [4] = {X250.0}
7   ENDDAT
```

```
1   DEF GASALL; глобальная подпрограмма, скорость осей 1- 6
2   INT I
3   FOR I = 1 TO 6
4       $ VEL_AXIS [1] = 50 %
5   END FOR
6   КОНЕЦ
```

```
1   DEF BESALL; глобальная подпрограмма, ускорение осей 1 — 6
2   INT I
3   FOR I = 1 TO 6
4    $ACC_AXIS [1] = 50
5   ENDFOR
6   КОНЕЦ
```

Программирование с применением макросов

При программировании с помощью макросов (макрокоманд) происходит следующее: на основе имени команды, например СВАРКА S1, автоматически генерируются заданные для этого вида сварки (S1) параметры: скорость перемещения, амплитуда колебаний, частота колебаний, сварочный ток и подача при образовании сварного шва. Таким образом, формируются как операторы перемещений, так и операторы ввода/вывода для периферии, а именно — источника сварочного тока.

С относящейся сюда макрокомандой «сварочная дуга ВКЛ.» устанавливаются: время истечения газа до начала сварочного процесса и время зажигания — в качестве периодов ожидания, а также — по команде вывода — открывается газовый вентиль, и спустя короткое время — по следующей команде вывода — начинается процесс зажигания. Далее, по команде «сварочная дуга ВЫКЛ.» в программе робота устанавливаются подходящие периоды ожидания, чтобы процесс сварки правильно заканчивался с соответствующим временем горения и временем истечения газа после завершения сварки.

С помощью таких макрокоманд удается создать затем очень простую программу для робота (рис. 667). Такой способ программирования весьма технологичен, поскольку нацелен на конкретную задачу. Параметры процесса — сварочный ток и амплитуда колебаний электрода — внесены в таблицу и могут изменяться и оптимизироваться прямо на рабочем месте.

Графическое интерактивное программирование

В этом случае прямо на рабочем месте программиста формируются гра-

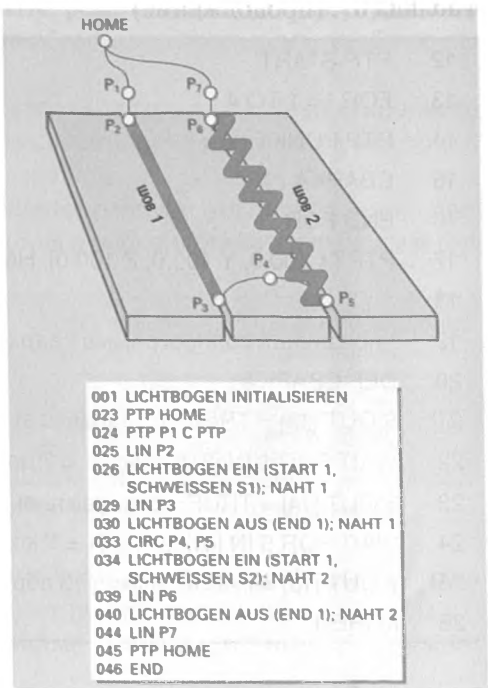


Рис. 667. Программирование с применением макросов на примере сварки

Рис. 668. Графическое интерактивное программирование

фическим интерактивным способом не только программные команды и инструкции по заданию траектории, но также параметры позиций и требуемые ориентации (рис. 668). Речь идет в данном случае об использовании очень удобной системы автоматизированного проектирования, позволяющей разнооттеночное моделирование роботизированной ячейки с использованием подвижного робота. Поставленная перед роботом задача полностью выполняется в форме виртуальной реальности, и при этом автоматически разрабатывается программа автоматизации процесса. Для управления движениями «экранного робота» используют либо те же команды, что и для реального робота (то есть, например язык программирования ACR), либо какой-нибудь нейтральный для управления язык (например язык имитационного моделирования TDL) модулирующей системы.

Итак, графическое интерактивное программирование осуществляется на основе систем автоматизированного проектирования методом моделирования движений робота в имитируемой роботизированной ячейке.

6.5.2. Системы координат

Для управления движениями робота требуется его точное описание в относящемся к нему рабочем пространстве — с принятием во внимание изделий, с которыми будет иметь дело данный робот. Такое описание включает в себя положение робота относительно его окружения с учетом возможных манипуляций с соответствующими деталями и производится на основе прямоугольных, то есть декартовых координат (Рене Декарт, французский философ, 1596–1650 гг.) (рис. 669). Системы координат, предлагаемые пользователю для управления движениями и программирования роботов, называют коор-

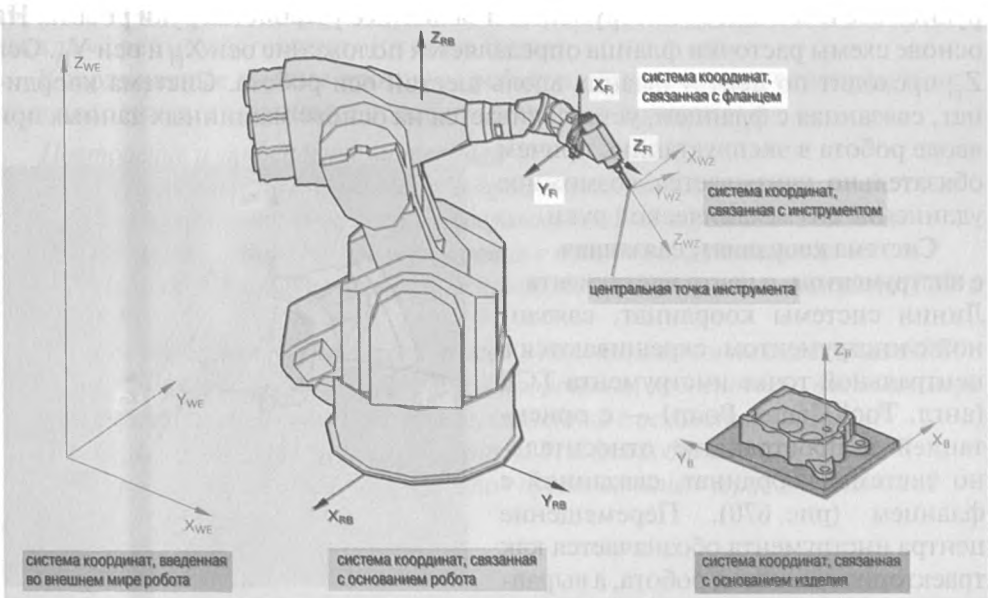


Рис. 669. Системы координат в роботизированной производственной ячейке

динатными системами программирования, или координатными системами пользователя.

Система координат мира

Здесь речь идет об исходной системе координат, введенной во внешнем мире робота. В случае роботов, не меняющих свое местоположение, такая система описывает роботизированную ячейку с помощью координатных осей X_{WE}, Y_{WE}, Z_{WE}, причем ось Z направлена вертикально вверх. Установленная однажды, эта система координат не претерпевает уже никаких изменений.

Система координат, связанная с основанием робота

Эта система координат отнесена к конкретному роботу и обычно определяется с таким расчетом, чтобы относящаяся сюда монтажная площадка располагалась в плоскости $X_{RB}-Y_{RB}$, а ось Z_{RB} приходилась на центр робота.

Если робот устанавливается на ровной поверхности и ориентируется в горизонтальном и вертикальном направлениях, то между системой координат мира и системой координат, связанной с основанием робота, возможен лишь один сдвиг и одно проворачивание относительно оси Z. У многих роботов система координат основания может изменяться, с учетом машинных данных, во всех 6 степенях свободы, так что и в случае наклонно установленного робота можно получить абсолютно вертикальную ось Z_{RB}.

Особой проблемой часто становится точное выравнивание системы координат, связанной с основанием робота, так как — в отличие от станка — здесь порой отсутствуют плоскости для установки уровня, а центральная часть робота остается недоступной для измерительных приборов.

Система координат, связанная с фланцем

Связанная с фланцем система координат относится к последней оси робота с координатами X_{Fl}, Y_{Fl} и Z_{Fl}. Относительно этой системы координат центрируются все имеющиеся инструменты и захватные устройства руки робота. На основе схемы расточки фланца определяется положение оси X_{Fl} и оси Y_{Fl}. Ось Z_{Fl} проходит по центру фланца вдоль шестой оси робота. Система координат, связанная с фланцем, устанавливается на основе машинных данных при вводе робота в эксплуатацию, причем обязательно учитывается возможное удлинение его механической руки.

Система координат, связанная с инструментом, и центр инструмента

Линии системы координат, связанной с инструментом, скрещиваются в центральной точке инструмента TCP (англ. Tool Center Point) — с ориентацией в пространстве относительно системы координат, связанной с фланцем (рис. 670). Перемещение центра инструмента обозначается как траектория движения робота, а выравнивание в пространстве системы координат, связанной с инструментом,

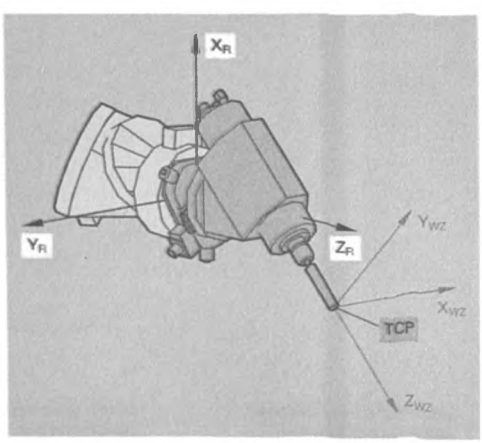


Рис. 670. Система координат, связанная с центром инструмента

— как ориентация робота. Скорость центральной точки инструмента есть скорость движения рабочего органа робота по заданной траектории. Параметры координат робота X, Y и Z с дирекционными углами A, B и C соотнесены с базовой системой координат — например системой координат, связанной с основанием робота, или системой координат, связанной с основанием изделия.

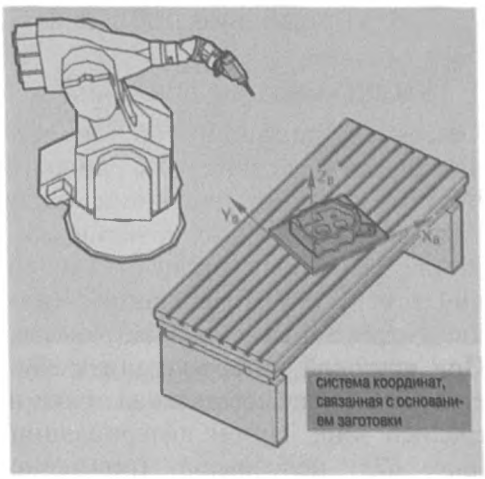


Рис. 671. Система координат, связанная с основанием заготовки

Система координат, связанная с основанием заготовки

Система координат, связанная с основанием заготовки, определяет положение последней (рис. 671) и жестко привязана к системе координат мира. При автономном программировании манипуляционных задач робота разработка программы осуществляется в большинстве случаев именно в этой системе координат, которая характеризует чаще всего положение стола или крепежной плиты.

Система координат, связанная с обрабатываемым изделием

Эта система координат описывает изделие с точки зрения его геометрии. Она жестко привязана к системе координат, связанной с основанием заготовки, и в большинстве случаев сдвинута относительно нее только параллельными осями. Автономное программирование робота для выполнения операций обработки осуществляется обычно в этой системе координат — ее называют иногда «фреймом заготовки» (от англ. frame).

Координатные данные программ роботов целесообразно отнесены к системе координат, связанной с обрабатываемым изделием.

Повторение и закрепление материала

1. *Перечислите основные способы программирования роботов.*
2. *В чем состоят недостатки программирования в режиме Teach-in?*
3. *Опишите способ программирования с применением макросов.*
4. *Охарактеризуйте рабочее пространство роботов с кинематикой TTT и RTT.*
5. *Составьте схему построения осей в двух кинематических схемах RRT.*
6. *В чем различие между системой координат, введенной во внешнем мире робота, и системой координат, связанной с основанием робота?*
7. *Опишите параметры координат X, Y, Z для робота.*
8. *Что такое «центр инструмента» применительно к робототехнике?*

6.6. Управление роботами

6.6.1. Генерация движений

Генерация движений роботов осуществляется, как и в случае станков с ЧПУ, методом интерполяции между начальной и конечной точками движения. Начальная и конечная точки при линейной интерполяции соединяют отрезок прямой в пространстве. При круговой интерполяции требуется некая вспомогательная точка в средней зоне. Путем интерполяции (рис. 673) непрерывно (примерно каждые 10-20 мс) вычисляются промежуточные точки траектории. Но, в отличие от станков с ЧПУ, эти промежуточные точки пока не могут выводиться в качестве заданных значений на контуры позиционного регулирования.

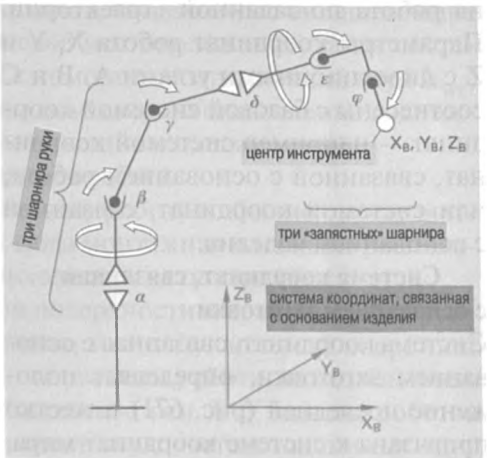


Рис. 672. Шарнирные углы робота и разные длины его руки определяют позицию и ориентацию центральной точки инструмента

У роботов в силу наличия вращательных осей требуется соответствующее преобразование координат с переводом вычисленного движения в прямоугольной системе координат (мира) в генерирующую движения систему координат робота.

Вычисление движения робота соотносится с центральной точкой инструмента (рис. 672). Это вершина рабочего инструмента робота, например

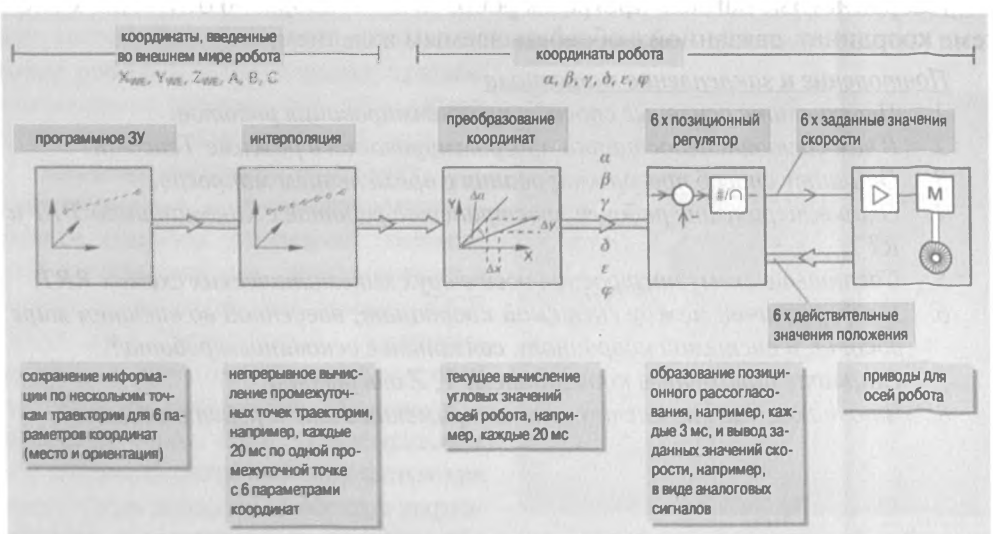


Рис. 673. Поток информации при управлении роботом

проволочный наконечник сварочной горелки или точка касания режущей кромки фрезы при автоматизированной фрезерной обработке. Положение и ориентация рабочего органа робота называется «позой».

Поза робота зависит от шарнирных углов а, β, у, δ, ε, ϕ и возможной длины его механической руки, а также от геометрии инструмента. Если требуется, например выполнить прямолинейный сдвиг центра инструмента с сохранением имеющейся ориентации, то все 6 осей робота должны будут двигаться одновременно с изменяющимися скоростями вращения.

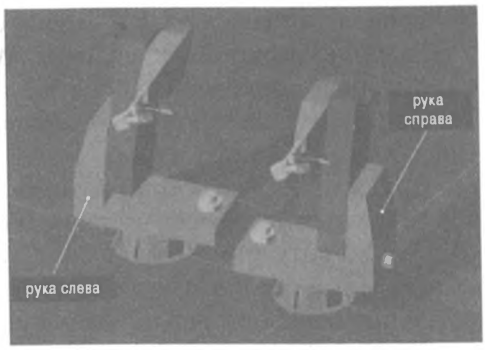


Рис. 674. Робот в положении осей «правая рука» и «левая рука»

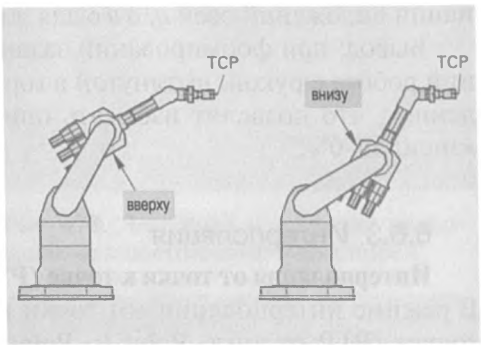


Рис. 675. Робот с «локтевым шарниром», расположенным вверху и внизу

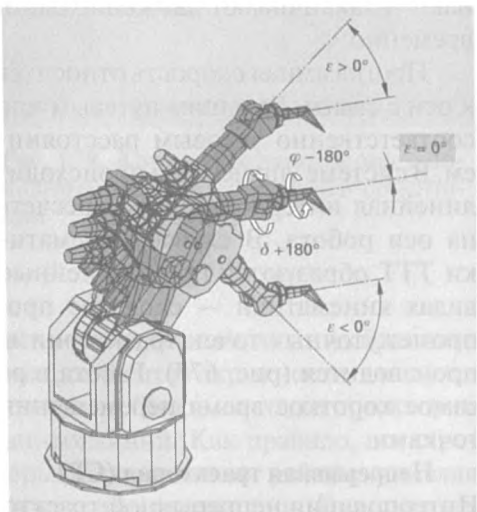


Рис. 676. Ситуация «эпсилон-0°»

6.6.2. Положения осей

Проблема многозначности

С указанием параметров позиций и дирекционных углов, как правило, не удается однозначно определить положение осей робота. Например такое положение «запястья» робота, какое показано на рис. 674, может быть достигнуто как в положении оси «левая рука», так и в положении оси «правая рука».

Идентичная поза достигается с обращенным вверх или вниз «локтевым» шарниром (рис. 675). Эта проблема создает особые трудности при управлении роботом: приходится принимать однозначное решение при наличии нескольких возможных вариантов положения осей.

Итак, на одну позу робота приходится в большинстве случаев по 4 разных положения шарниров.

При ситуации «эпсилон-0°» пятая ось имеет угол шарнира 0° (ε = 0°) (рис. 676). В таком осевом положении четвертая и шестая оси располагаются на линии схода, и для установки этих двух осей существует бесконечное множество комбинаций. При этом было бы желательно, чтобы ось 4 бесконечно быс-

тро поворачивалась на +180°, а ось 6 одновременно поворачивалась на −180° У большинства систем управления роботами ситуация «эпсилон-0°» протекает с сильно пониженной скоростью движения по траектории.

В ситуации «эпсилон-0°» четвертая и шестая оси робота вращаются в противоположных направлениях.

При заданиях на обработку иногда пытаются разместить заготовки в рабочем пространстве робота таким образом, чтобы по возможности избежать описанной ситуации «эпсилон-0°», так как при противоположных движениях осей 4 и 6 обычно имеют место определенные неточности, и некоторые метки при обработке заготовок остаются без внимания.

Равным образом проблематична и ситуация, когда оси робота *a*, δ *и* ϕ располагаются на одной линии схода. Это тот случай, когда шарнирный робот стоит абсолютно прямо. Здесь также имеется бесконечное множество комбинаций положений осей *a*, δ *и* ϕ для достижения данной позиции.

Вывод: при формировании заданий на обработку следует избегать позиций робота с рукой, вытянутой в горизонтальном или вертикальном направлениях, что позволит избежать описанной выше нежелательной ситуации «эпсилон-0°».

6.6.3. Интерполяция

Интерполяция от точки к точке (PTP)

В режиме интерполяции «от точки к точке» (PTP от англ. Point to Point) робот перемещается к заданной цели таким образом, что все его оси начинают и заканчивают движение одновременно.

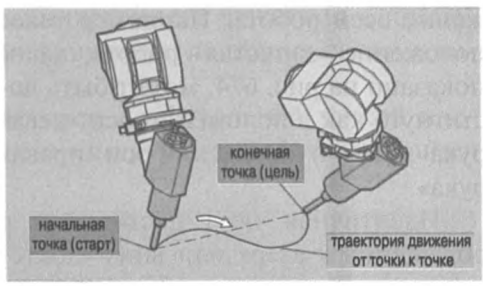


Рис. 677. Движение в режиме от точки к точке

Программная скорость относится к оси с самым большим путевым или соответственно угловым расстоянием. В системе управления происходит линейная интерполяция в пересчете на оси робота. В случае кинематики TTT образуются прямолинейные траектории движения, при остальных видах кинематики — сложные пространственные кривые, поскольку для промежуточных точек траектории никакого преобразования координат не производится (рис. 677). Работа в режиме «от точки к точке» обеспечивает самое короткое время перемещения между двумя запрограммированными точками.

Непрерывная траектория (CP)

Интерполяция непрерывной траектории движения робота (CP от англ. continuous path) осуществляется в прямоугольной системе координат — чаще всего, в системе координат мира либо в базовой системе координат.

При непрерывной интерполяции промежуточные точки вычисляются таким образом, что центральная точка инструмента лежит на прямой линии

(линейная интерполяция) либо на круговой траектории (круговая интерполяция) (рис. 678).

В отличие от интерполяции у станков с ЧПУ, здесь дуга окружности может занимать и наклонное положение в декартовой системе координат. Проекция на плоскость X/Y будет тогда иметь вид эллиптического отрезка кривой.

Самым универсальным способом интерполяции для достижения как можно более плавных движений робота считается так называемая сплайн-интерполяция, при которой программированные опорные точки соединяются по траектории, соответствующей линии изгиба стальной проволоки.

В процесс интерполяции вовлечен не только центр инструмента, но и его ориентация в пространстве, причем таковая может оставаться постоянной либо непрерывно варьироваться между начальной и конечной позициями (рис. 679).

Бывают, например движения робота, при которых позиция инструмента по отношению к его вершине остается постоянной, а изменяется только дирекционный угол: комбинацию таких движений обычно называют «качанием».

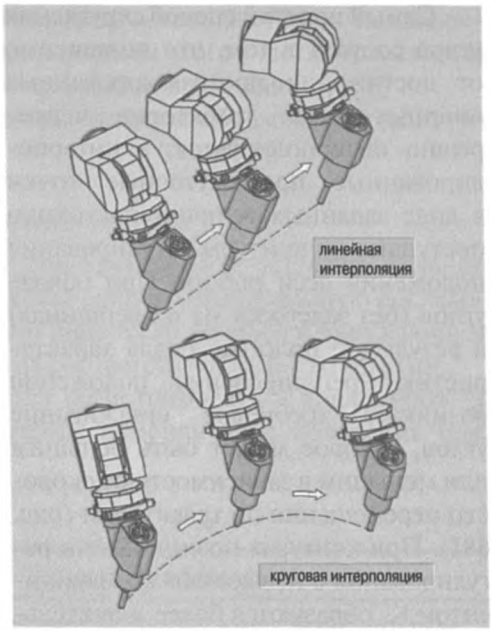


Рис. 678. Линейная и круговая интерполяция с постоянной ориентацией

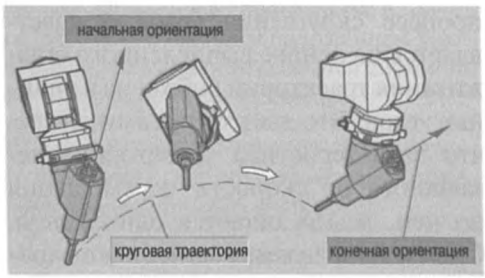


Рис. 679. Круговая интерполяция с дополнительной интерполяцией ориентации

6.6.4. Срезание углов и качание

Траектория движения робота складывается — в зависимости от выбранного способа интерполяции — из отрезков прямых, сегментов окружности, а в случае сплайн-интерполяции — из отдельных сплайнов. Опорные точки траектории есть конечные точки этих интерполированных линий. Как правило, все стремятся к достижению гармонически непрерывного движения робота, оставляя на заднем плане точный подход к опорным точкам траектории. При связных отрезках движения траекторию перемещения робота как бы скругляют в программных опорных точках, называя это просто «срезанием углов» (рис. 680).

Благодаря такому скруглению углов мы получаем плавное и вполне гармоничное движение робота.

Самый простой способ скругления углов состоит в том, что независимо от достижения программированных опорных точек траектория непрерывно интерполируется, а интерполированные промежуточные точки в виде заданных величин постоянно поступают на контуры регулирования положения осей робота. При обходе углов (без задержки на их вершинах) в результате пологого спада характеристики регулирования положения возникает требуемое сглаживание углов, которое может быть большим или меньшим в зависимости от скорости перемещения по траектории (рис. 681). При контурах позиционного регулирования с невысоким коэффициентом K_V образуются более значительные закругления, чем при контурах с высоким коэффициентом K_V.

В новейших системах управления процесс скругления углов осуществляется на основе вычисленного сглаживания траектории робота на вершинах углов. Это дает то преимущество, что характеристика траектории, независимо от скорости перемещения по ней, всегда остается одинаковой. Система управления вычисляет параболическую траекторию между началом сглаживания (точкой 1) и концом сглаживания (точка 2) (рис. 682).

Таким образом, срезание вершин углов осуществляется на основе затягивания позиционного регулирования или посредством интерполированных сглаживаний траектории.

В функции качания на программированное движение накладывается еще и движение качания (рис. 683). При этом могут программироваться параметры: плоскость качаний, длина хода качаний, частота качаний и форма качаний — синусоидальная, треугольная или прямоугольная. Если

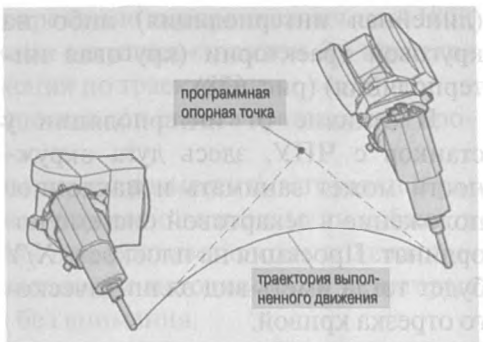


Рис. 680. Срезание углов траектории движения робота

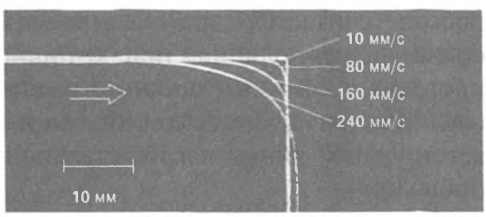


Рис. 681. Сглаживание углов в результате позиционного регулирования при разных скоростях движения по траектории

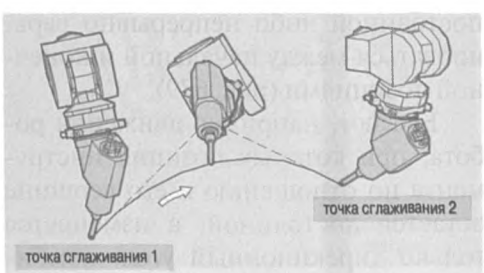


Рис. 682. Ориентация инструмента в зоне сглаживания

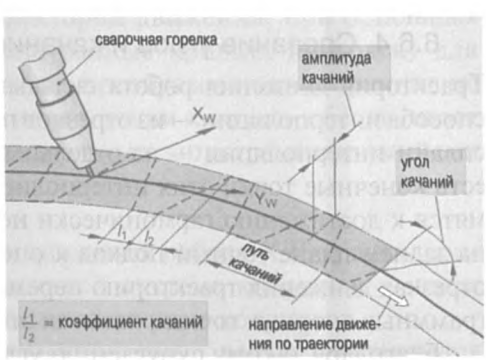


Рис. 683. Движение качания

плоскость качаний в начальной точке траектории показывает иное направление, чем в конечной точке, то во время прохождения этого участка траектории данная плоскость качаний будет иметь непрерывное вращение.

Функция качаний находит применение, главным образом, при контурной сварке.

6.6.5. Сенсоры для робототехнических систем

С самого начала развития робототехники конструкторов не оставляет желание заставить роботов не только выполнять жестко запрограммированную последовательность действий, но и самостоятельно приспосабливаться к окружающим условиям, для чего необходимо снабдить их соответствующими свойствами.

С помощью сенсоров роботам удается регистрировать и анализировать внешнюю среду, соответствующим образом изменяя свое поведение (см. табл. 68).

Таблица 68. Сенсорные функции

Название функции	Назначение функции
Коррекция нулевой точки на основе параметров	Двигательный процесс смещается в пространстве и разворачивается в соответствии с текущим положением заготовки. Сенсор определяет требуемые параметры.
Коррекция нулевой точки на основе производимых роботом измерений	Двигательный процесс смещается в пространстве и разворачивается в соответствии с текущим положением заготовки. Параметры автоматически определяются системой управления на основе зондирующих движений.
Коррекция нулевой точки на основе производимого роботом поиска	Двигательный процесс смещается в пространстве и при необходимости разворачивается, пока сенсорная система не известит о достижении начального положения.
Коррекция точек	В фазе обучения робот определяет текущие точки траектории на достаточно коротком расстоянии друг от друга. Записанная с заданными параметрами программа робота корректируется относительно текущих точек траектории.
Коррекция скорости, с управлением Коррекция скорости, с регулированием	С сигналом сенсора скорость движения уменьшается на предварительно запрограммированную величину (открытая цепь управления). В смысле регулирования скорость движения изменяется таким образом, что значимый для данного процесса обработки параметр остается постоянным или оптимальным.
Коррекция траектории, с регулированием	По сигналам сенсора движение робота непрерывно приспосабливается к текущей траектории. Это согласование касается опорной точки обработки или также ориентации. Вектор коррекции устанавливается по абсолютной величине и направлению, а именно в пересчете на декартову систему координат либо на систему координат, связанную с «запястьем» робота.

Таблица 68. (окончание)

Коррекция траектории, регулируемая с помощью попутного опережающего сенсора. Это может быть: - сенсор, неподвижно соединенный с инструментом, - сенсор, подвижный относительно рабочей точки инструмента и адаптирующийся к траектории с поддержкой следящей системы, - стационарный сенсор для регулирования коррекции траектории.	Траектория точки приложения инструмента корректируется с учетом опережения сенсора. Траектория точки приложения инструмента регулируется непрерывно, в соответствии с запросом текущей траектории. Сенсор из фиксированной позиции непосредственно наблюдает за ситуацией перед инструментом и генерирует корректирующие сигналы.
Автономное следование за траекторией	Движение робота следует за контуром заготовки — без предварительного программирования траектории.
Функции калибровки: - однократного действия, - циклического действия	Анализ сенсорных сигналов осуществляется автоматически.
Функции сдвига: - однократного действия, - циклического действия	Компенсация сдвига для сенсорного сигнала осуществляется автоматически.
Функции регулирования: - жестко параметрированные, - параметрически адаптивные	Алгоритмы П-, ПИ-, ПИД-регуляторов могут запрашиваться для управления скоростью и траекторией с помощью сенсоров.

Используемые в робототехнике сенсоры служат для:

- повышения надежности робототехнических систем,
- гарантии качества обрабатываемых изделий,
- роста производительности,
- компенсации неточностей позиционирования,
- увеличения гибкости,
- упрощения разработки программ,
- замены операций по отладке программ,
- частичной замены самого процесса программирования.

Примеры применения сенсоров

Датчики мощности позволяют приспособить скорость обработки к имеющемуся обрабатывающему инструменту, чем достигается оптимизация машинного времени.

Следовательно, здесь сенсорная техника служит целям повышения производительности при одновременной регистрации мощности обрабатывающего инструмента. Среди преимуществ такого способа можно назвать низкую чувствительность сенсора к помехам, а также то обстоятельство, что чувствительный элемент может довольно далеко отстоять от используемого инструмента.

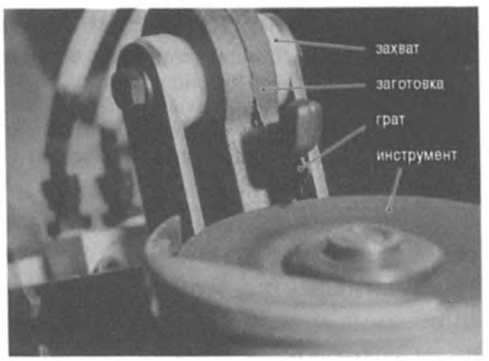


Рис. 684 Процесс зачистки с сенсорной регулировкой скорости прохождения по траектории

Пример: удаление грата.
В процессе зачистки с удалением грата, облоя, заусенцев и т. п. очень часто меняются толщина и плотность грата, твердость материала и состояние инструмента. Показателем «трудно идущей обработки» является повышение мощности электропривода (рис. 684). В случае шлифовального круга с электрическим приводом его мощность определяется тогда на основе вольт-амперного умножения (функция датчика мощности), и при возрастающей производительности зачистки скорость перемещения робота по траектории понижается настолько, что потребляемая мощность остается практически постоянной (рис. 685). Таким способом быстрее обрабатываются детали со слабо проявляющимся гратом, чем заготовки с сильно выраженным гратом. Кроме прочего, при этом достигается защита инструмента от перегрузок.

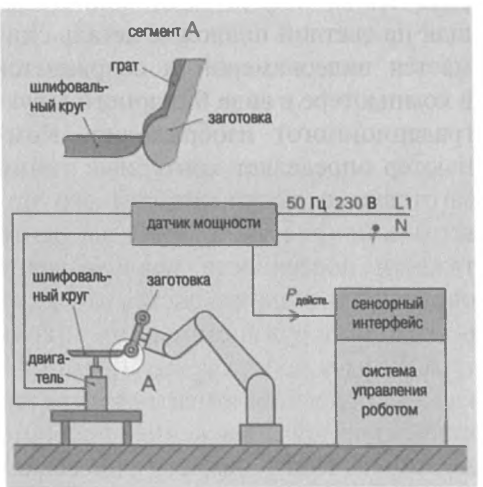


Рис. 685. Регулирование скорости обработки с помощью датчика мощности

Пример: компенсация отклонений от заданного положения с использованием индуктивного сенсора приближения.
Укладка заготовок на поддоны и снятие их с поддонов организуется с высокой гибкостью на основе операций поиска, осуществляемых с помощью сенсоров. Путем ввода параметров участка перемещения с указанием начальной и конечной точек движения определяется сектор поиска в программе робота. При появлении нового сигнала выполняется новое — относительно моментной позиции — движение, например движение захвата заготовки. Таким способом удается осуществлять зажим деталей, выстроенных в одну линию, без фиксации в программе их позиции в пределах этой линии (рис. 686).

Рука (кисть) робота с сенсором приближения позиционируется сначала над ленточным транспортером, после чего транспортер приводится в движе-

ние. Когда сенсор посылает сигнал присутствия заготовки, система управления промышленным роботом останавливает транспортерную ленту, и робот берет заготовку из расположенных в ряд деталей на поддоне. Позиция заготовки в этом ряду также регистрируется сенсором приближения. При снятии первого ряда с поддона рука робота занимает положение ожидания второго ряда деталей. При этом транспортер будет двигаться до тех пор, пока сенсор не распознает следующую заготовку Число рядов деталей на одном поддоне может варьироваться любым образом.

Преимущество этой сенсорной техники состоит в упрощении программирования и возможности приспособления робота к изменяющимся позициям заготовок.

Пример: определение длины заготовки на основе обработки изображений.

Особую сложность представляет упорядоченная подача заготовок. Лежащая на светлой подложке деталь снимается видеокамерой и сохраняется в компьютере в виде бинарного (двухградационного) изображения. Компьютер определяет контурные линии заготовки и центр тяжести его поверхности (рис. 687). Затем на центр тяжести поверхности накладывается окружность, и определяются точки пересечения окружности с линией контура. Углы поворота между этими точками пересечения и центром тяжести характеризуют положение поворота заготовки. Центр тяжести определяет позицию заготовки.

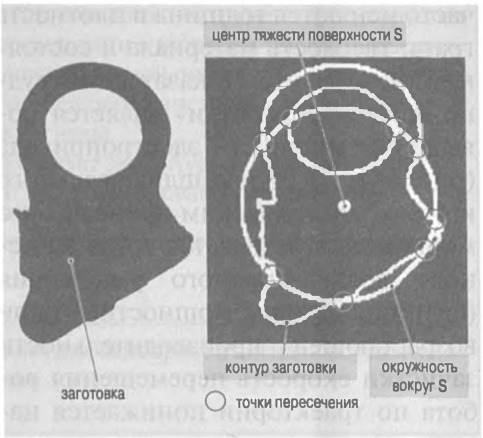


Рис. 687. Определение положения заготовки

Следует, однако, отметить, что при использовании формирователей видеосигнала (преобразователей свет – сигнал) получение четких контрастов между заготовкой и ее подложкой, освещение на уровне постоянных световых условий и исключение образования теней и зеркальных отражений на поверхности заготовок оказывается весьма проблематичным.

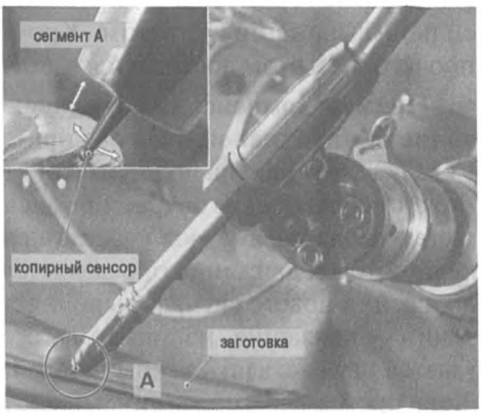


Рис. 688. Сенсор для контактного контроля сварного шва

Пример: сенсоры для отладки программы при контурной сварке.

Вместо газового сопла на горелке устанавливается небольшой чувствительный элемент со щупом, и с ним

начинается разделка кромок под сварку (рис. 688 и 689). При этом регулируются расстояние и боковой сдвиг, и предварительно запрограммированные, весьма приблизительные точки траектории перезаписываются с новыми параметрами траектории. Тем самым достигается автоматизация требуемого время от времени дополнительного программирования. Следовательно, здесь сенсоры действуют не в отношении каждой детали, а только через определенные интервалы времени — например после устранения возможных неполадок.

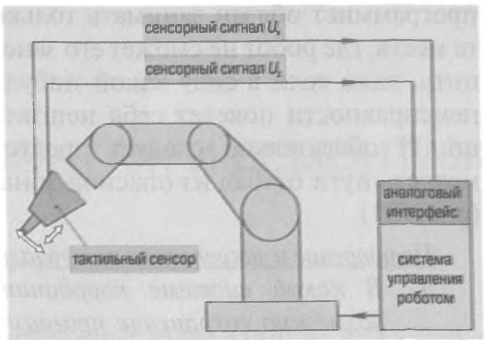


Рис. 689. Последовательность наложения швов с использованием контактного двухмерного сенсора

6.7. Защитные меры

Рабочее место робота, учитывая быстрые движения его рабочего органа, изначально является опасной зоной и с помощью определенных защитных мер должно быть ограждено от общей внутризаводской транспортной зоны и от рабочих участков с присутствием людей. Самой надежной защитой до сих пор остается ограждение крепкой металлической решеткой (рис. 690), так чтобы даже при быстром движении робота заготовки, которые при сбое в работе захватного механизма могут разлететься в разные стороны, не создавали серьезной угрозы. Часто приходится прибегать к ручной доставке деталей в рабочую зону робота, для чего обычно используется поворотный стол (рис. 676).

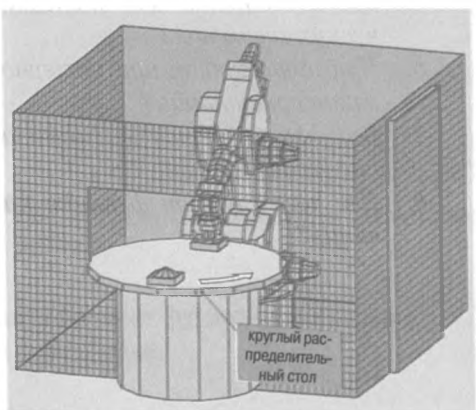


Рис. 690. Отделение опасной зоны защитной решеткой и подача заготовок с помощью поворотного стола

Итак, основные меры защиты заключаются в следующем:

- Перед началом и во время выполнения опасного движения робота должно принудительно срабатывать защитное устройство.
  При удалении защитного устройства или в случае его выхода из строя робот должен немедленно прекратить работу.

При программировании в обычном режиме обучения приходится вступать в рабочее пространство робота и, следовательно, в опасную зону, причем в данном случае некоторые защитные приспособления (например механизм блокирования двери) находятся в отключенном состоянии. В этом случае

программист обязан занимать только те места, где робот не сможет его зацепить, даже если в силу какой-нибудь неисправности поведет себя нештатно. И обязательно следует предусмотреть пути отхода из опасной зоны (рис. 691).

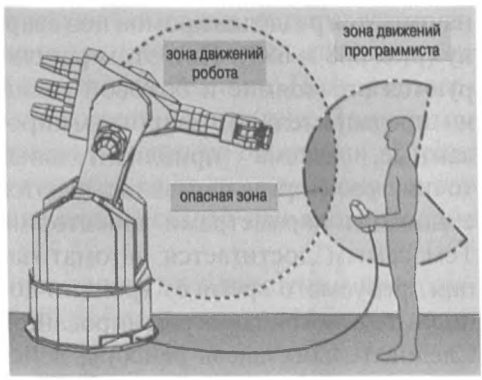


Рис. 691. Выбор места при программировании

Рис. 692. Аварийный выключатель и подтверждающая кнопка на программирующем устройстве

Повторение и закрепление материала

1. *В какой системе координат возможно сохранение программных поз робота?*
2. *На основе каких координат осуществляется позиционное регулирование?*
3. *Каковы причины многозначности положений осей?*
4. *Что такое «эпсилон-0°-ситуация»?*
5. *Какие методы интерполяции применяются в робототехнических системах?*
6. *Что происходит при интерполяции ориентации?*
7. *Как достигается «сглаживание углов»?*
8. *Для чего служит функция качания?*

ГЛАВА 7

МОНТАЖ И ДЕМОНТАЖ

7.1. Общие сведения

Сборка конструкционных элементов в монтажные узлы, а монтажных узлов — в готовые машины и оборудование производится преимущественно вручную. Серийный монтаж, то есть сборка серийных деталей, обязательно требует наличия «ловких рук», но известно, что в силу монотонности повторяющихся однообразных движений такая работа весьма тяжела для человека.

Упомянутый серийный монтаж осуществляется поточным методом, и в настоящее время его все чаще перекладывают на плечи роботов и специальных монтажных автоматов (рис. 693). Если без утомительной ручной сборки все же не обойтись, необходимо позаботиться о том, чтобы рабочий ритм на оставленных для этой цели монтажных площадках не совпадал с тактом движения поточной линии, что особенно необходимо в случае недостаточного запаса требуемых деталей.

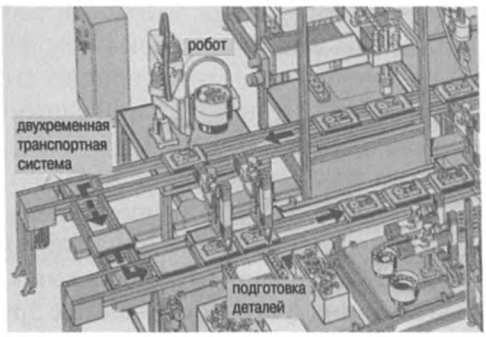


Рис. 693. Серийный монтаж с помощью роботов

В целом можно выделить следующие основные функции монтажа:

- сборка деталей и узлов разными способами,
- выверка и контроль,
- связанные со сборкой манипуляции,
- транспортировка и
- специальные операции.

Оптимальный монтаж изделий

Затраты на выполнение монтажа, равно как и качественный уровень сборки, особенно применительно к серийным деталям, в значительной мере определяют стоимость и качество готовых изделий, а в конечном итоге — их спрос на рынке.

В среднем, примерно 75 % стоимости того ли иного изделия составляют расходы на разработку конструкции и ее реализацию, которые в немалой степени определяются уровнем затрат на монтажные работы.

Демонтаж

Без демонтажа не обойтись, например в ходе проведения ремонтно-профилактических работ, при замене изношенных или неисправных деталей, а так-

же — не в последнюю очередь — при возможном рециклинге, дающем новую жизнь уже использованным однажды деталям и материалам.

Затраты на демонтаж находят отражение, как правило, только в последующем цикле использования изделий, что почти никогда не учитывается при покупке товара.

Легкие и удобные для демонтажа изделия позволяют, в частности:

- недорогую замену конструкционных деталей и узлов,
- повторное использование бывших в употреблении элементов,
- легкое устранение неисправностей путем простой замены отдельных частей,
- рециклинг наиболее ценных и дорогих материалов,
- быстрое устранение вредных веществ.

Основные правила производства изделий с учетом оптимальных способов монтажа и демонтажа заключаются в следующем:

- Изделие должно состоять по возможности из небольшого числа деталей, ибо чем меньше отдельных деталей, тем легче сборка изделия.
  Сложность того или иного изделия порой определяется именно по количеству составляющих его конструкционных элементов.
  Изделия повышенной сложности (например транспортные средства) следует разделять на узлы (ходовая часть шасси, двигатель, рулевая передача), которые, в свою очередь, подразделяются на подузлы (блоки), подлежащие монтажу еще до проведения всех запланированных проверок и испытаний.
  Желательно, чтобы каждый конструкционный блок ограничивался минимумом соединений с другими блоками.
  Разные версии изделия должны различаться наличием некоторого числа дополнительных блоков, а не монтажом нейтральных для конструкции данного изделия узлов.
  Сборка блоков разных версий исполнения изделия должна включать в себя, по возможности, равное число рабочих операций.
  Рекомендуется стремиться к тому, чтобы конструкционные детали обладали определенной симметрией.
  В случае несимметричных деталей это их свойство должно проявляться четко и недвусмысленно.
  Механизм подачи деталей при монтаже не должен создавать проблем в случае необходимой автоматизации. Податливых и гибких элементов здесь лучше избегать, то есть желательно обходиться без деталей из текстиля или т. п.
  Все монтажные направления и соответственно направления соединений должны быть по возможности унифицированы, то есть лучше использовать, например только вертикальное соединение.
  Применяя комбинированные материалы, следует помнить, что они способны сильно осложнить предполагаемый процесс рециклинга.

Базовая деталь

Базовая деталь — это основа, на которой «рождается» собственно изделие или устройство. Это может быть плата (например материнская плата у персо-

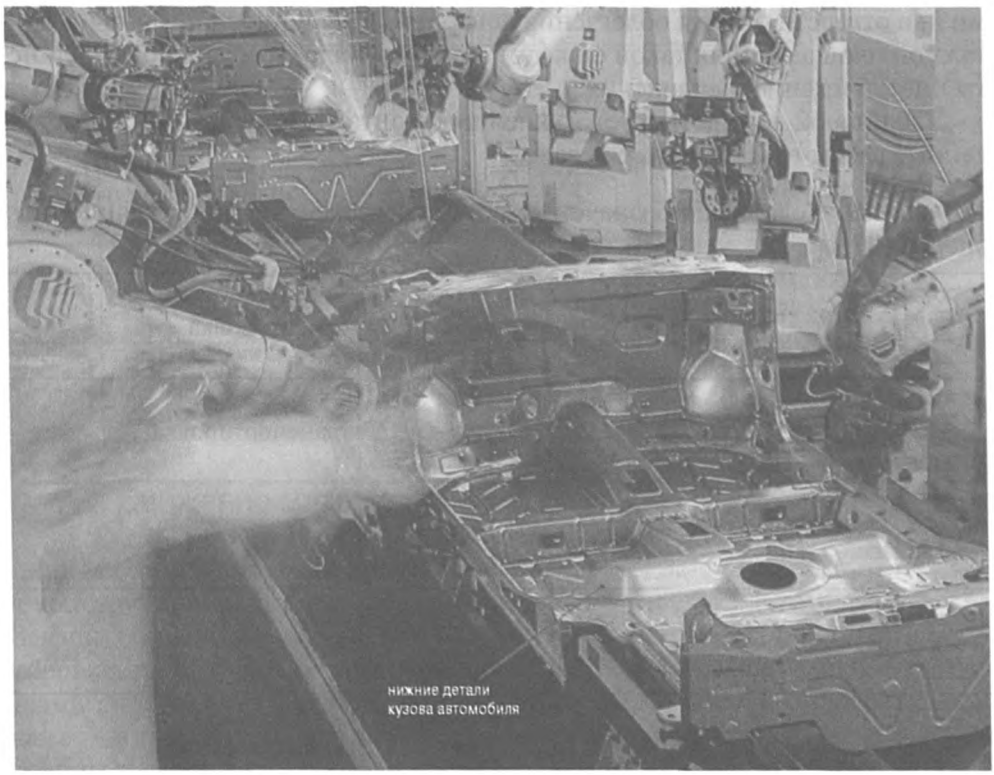


Рис. 694. Пол кузова автомобиля в качестве монтажной платформы

нального компьютера) или опорная плита (например пол кузова автомобиля) (рис. 694). Такая базовая деталь затем соответствующим образом маркируется — на ней ставится серийный номер либо (в зависимости от вида продукции) указывается принадлежность конкретному заказчику или номер заказа.

В процессе монтажа базовая деталь перемещается с одной монтажной площадки на другую, а в случае малогабаритных изделий ее иногда просто фиксируют на монтажной платформе и передают от позиции к позиции (рис. 695). С такой монтажной платформой, размеры которой остаются постоянными и независимыми от конкретного изделия, легко обращаться, она очень просто снимается и вновь фиксируется при перемене места и удобна для оснащения памятью данных по идентификации изделий и выполненных работ. Крупногабаритные детали, вроде плиты пола кузова автомобиля, не нуждаются в дополнительной опоре. Подобные узлы обычно снабжаются специально выполненными кромка-

Рис. 695. Монтажная платформа

ми или отверстиями для облегчения центрирования и выравнивания на монтажной площадке. Для такой фиксации, как правило, требуется одно-единственное движение закрепления.

Таблица 62 демонстрирует важнейшие монтажные операции, представленные в виде графических символов.

Таблица 69. Условные обозначения монтажных работ и манипуляционных операций

	упорядоченное накопление		ориентировка
	частично упорядоченное накопление		транспортировка
	неупорядоченное накопление		подвешивание
	разъединение		остановка
	соединение		деблокирование
	разделение		удержание
	упорядочение		освобождение
	разветвление		контроль, измерение
	объединение		контроль доступа
	сортировка		контроль тождественности
	вращение		контроль формы
	поворот		контроль размеров

Таблица 69. (окончание)

	сдвиг		контроль цвета
	центрирование		контроль веса
	позиционирование		контроль позиции/ измерение позиции
	размещение в один ряд		подсчет

7.2. Движение материалов

В процессе монтажа отдельные конструкционные детали собираются в узлы, а конструкционные узлы, в свою очередь, монтируются в готовые изделия. Задачи, связанные с движением материалов, а именно: хранение, транспортировка, подготовка, соединение, проверка — могут решаться самыми разными способами. При этом, однако, не следует забывать о гибкости монтажа — в том смысле, что разные варианты изделий, как, впрочем, и новые группы товаров, целесообразнее монтировать на уже существующих монтажных линиях и площадках.

7.2.1. Хранение

Склады и хранилища разного рода предназначены для временного складирования сырья, исходных продуктов, полуфабрикатов и готовых изделий. Наличие определенных запасов сырья и материалов позволяет своевременно компенсировать возможные сбои в поставках и закупках, а приобретение больших партий товара гарантирует снижение закупочных цен и/или стоимости готовых изделий, обеспечивает оптимизацию транспортных расходов и/или дает значительную экономию времени.

Складское хозяйство обычно классифицируют следующим образом:

- централизованные склады,
- децентрализованные склады,
- перевалочные склады.

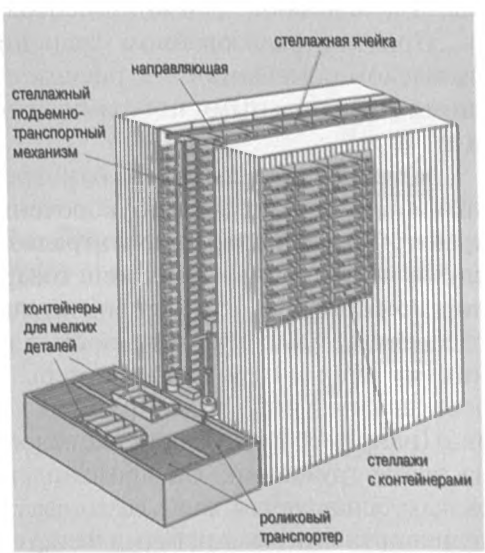


Рис. 696. Автоматизированное хранение мелких деталей в стеллажно-ячейковом складе

Централизованные склады имеют чаще всего стеллажно-ячейковую структуру с полками от пола до потолка (рис. 696). При этом крупные детали принято хранить прямо на поверхности полок, а более мелкие лучше укладывать в отдельные контейнеры и уже потом устанавливать их на стеллажи.

Для погрузки и выгрузки деталей используются специальные стеллажные транспортеры (рис. 697), которые, опираясь на направляющие, движутся по напольному рельсовому пути. Для управления складской транспортной системой используют, как правило, систему программного управления от ЭУ или специальную ВМ для управления складским хозяйством.

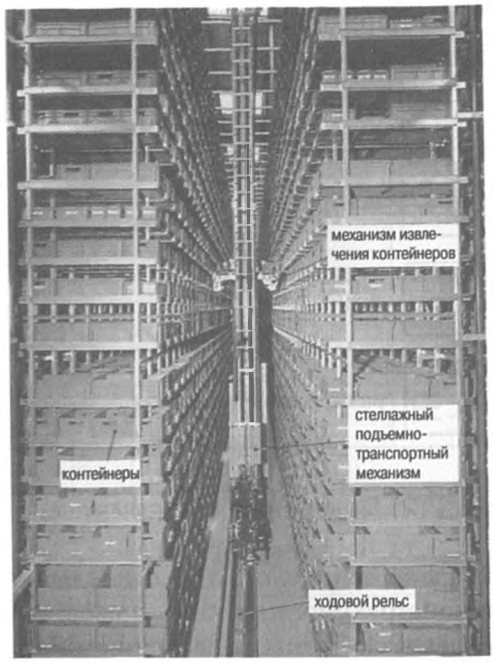


Рис. 697. Вид на проход между стеллажами

Комплектование деталей согласно поступившим заказам осуществляется в специальных комплектовочных пунктах, которые располагаются обычно перед проходами между стеллажами. Для связи таких комплектовочных пунктов друг с другом используются чаще всего роликовые транспортеры (рис. 696).

Рекомендуется следовать такому общему правилу: храните свои запасы в минимальном объеме и минимальный срок.

При централизованном хранении товары концентрируются в одном складском помещении — с риском получить огромный урон в связи с большими материальными потерями, например в результате пожара, обрушения или т. п.

Меньшие опасности и одновременно более благоприятные условия транспортировки с учетом укороченных путей перемещения создаются при хранении материалов на децентрализованных (рассредоточенных) складах. В случае перевалочных хранилищ товары временно содержатся прямо в транспортном средстве. Это дает значительную экономию складских помещений, обеспечивает высокую готовность к немедленным поставкам и сводит к минимуму риск материальных потерь. Здесь не требуется даже специального оборудования погрузо-разгрузочных площадок. Функцию подобных хранилищ (например в сфере поставки овощей) иногда выполняют просто стоящие на улице грузовики. На промышленных предприятиях централизованные склады оснащаются чаще всего высокими стеллажами с самодвижущимися транспортными механизмами и системой автоматической загрузки-выгрузки товара. При этом определенные изделия могут распределяться на относящихся именно к ним площадях либо загружаться в произвольном порядке. Компьютер запишет и сохранит в своей памяти все позиции складирования.

7.2.2. Использование промежуточных накопителей

Промежуточным накопителям отводится чрезвычайно важная роль на случай сбоев и неисправностей при эксплуатации автоматизированных монтажных установок, а также для обеспечения пауз при ручном монтаже и соответственно исключения жесткой привязки к заданному такту работы станка.

При этом различают:

- накопитель непрерывного действия (рис. 698),
  накопитель с заворотом (рис. 699),
  накопитель с обводом (рис. 700),
  накопитель с прямым доступом (рис. 701).

В качестве промежуточных накопителей непрерывного действия может быть предложена практически любая транспортная техника — ленточные транспортеры, подвесные конвейеры, рольганги и проч. (рис. 698). Если рабочие позиции не слишком удалены друг от друга, то лучше использовать накопитель в исполнении с заворотом (рис. 699), который заполняется только при условии временно недостаточной емкости механизма загрузки деталей. Накопитель обводного типа рекомендуется, прежде всего, для монтажных площадок, рассчитанных на ручную работу, а именно для обслуживания сразу нескольких таких площадок, особенно если они характеризуются разным временем монтажа и часто меняющейся численностью обслуживающего персонала (рис. 700).

Благодаря промежуточным накопителям в разных исполнениях удается избежать жесткой связи рабочих позиций друг с другом. Они устраняют принудительную зависимость от такта работы станка, при необходи-

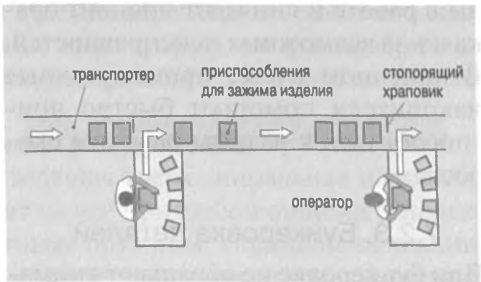


Рис.698. Промежуточный накопитель непрерывного действия

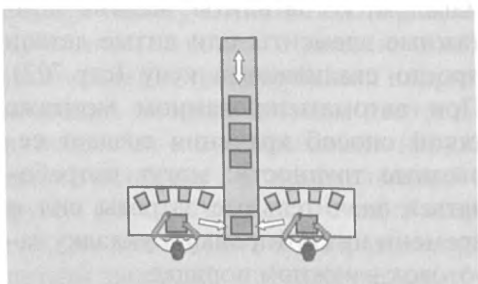


Рис. 699. Промежуточный накопитель с заворотом

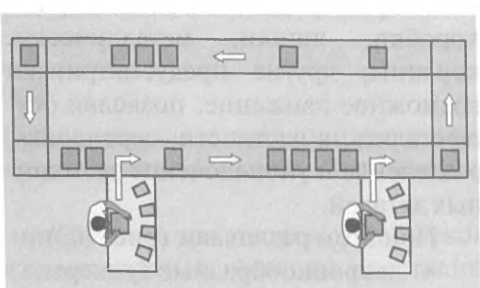


Рис. 700. Промежуточный накопитель с обводом

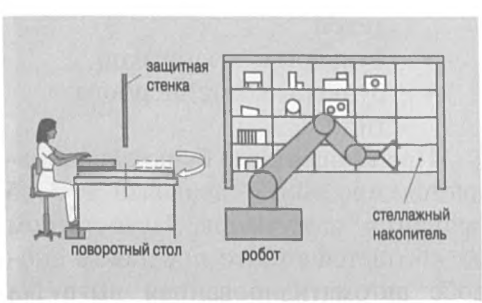


Рис. 701. Промежуточный накопитель с прямым доступом

мости позволяют устраивать перерывы в работе и снижают процент брака из-за возможных неисправностей. В конечном счете, промежуточные накопители помогают быстро приспособиться к разным рабочим скоростям.

7.2.3. Бункеровка деталей

При бункеровке не обращают внимания на положение заготовок в пространстве, то есть речь идет о засыпке навалом, когда винты, мелкие монтажные элементы или литые детали просто сваливают в кучу (стр.702). При автоматизированном монтаже такой способ хранения создает серьезные трудности: могут потребоваться значительные затраты сил и времени на сортировку и укладку заготовок в нужном порядке.

Одни бункеры задуманы без движения заготовок: таковыми являются, например емкости разного рода, коробки, ящики, металлические корзины; другие предусматривают возможное движение, позволяя осуществлять, в частности, сортировку, разделение и упорядочение засыпанных деталей.

При этом различают (рис. 703):

- воронкообразные бункеры,
- качающиеся бункеры,
- черпальные бункеры,
- бункеры с цепным разгрузителем,
  бункеры с дозагрузкой,
  бункеры контейнерного типа.

Преимуществом бункеровки является простой и дешевый способ хранения материалов. Недостатком же считается то, что при таком способе автоматизированная выгрузка деталей представляется весьма затруднительной. Выполняемая не-

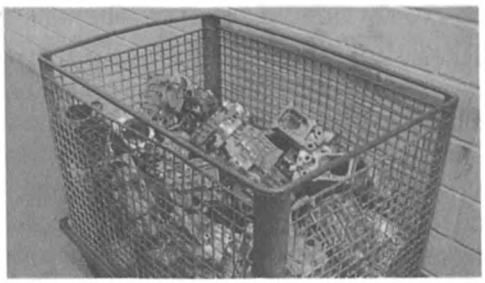


Рис. 702. Литые детали, загруженные в решетчатый бункер

Рис. 703. Бункеровочные системы

Рис. 704. Воронкообразный бункер с вибрационной выгрузкой

которыми роботами операция под условным названием «взятие из ящика» допустима лишь в немногих ситуациях. Насыпной материал, особенно мелкие детали из металла и пластмассы, лучше всего хранить в воронкообразных бункерах с вибрационной выгрузкой, откуда они могут поступать в несколько упорядоченном виде.

Воронкообразный бункер с вибрационным разгрузителем

У такого бункера по стенкам проходит ведущая вверх спиральная направляющая (рис. 704), так что детали попадают на нее при любой степени заполнения. Три наклонно установленные листовые пружины, служащие основанием воронкообразного бункера, под действием электромагнитов совершают колебательные движения, направленные по касательной к краю емкости. Амплитуда этих колебаний составляет менее 1 мм, частота колебаний находится в диапазоне от 25 до 100 Гц. Благодаря такому качанию силы движения передаются и засыпанным в бункер мелким деталям, а именно таким образом, что они постепенно начинают восхождение по спиральной направляющей. Направление возникающих вибраций выбрано с таким расчетом, что определенное усилие одновременно создается и в направлении наружу к стенкам воронки, в результате чего детали остаются на направляющей и перемещаются по отдельности друг за другом («гуськом») вдоль стенки кверху. При наличии определенных механических дополнений и направляющих элементов нетрудно сделать так, чтобы детали двигались в предпочтительном для конкретного случая направлении.

Итак, воронкообразный бункер с вибрационной разгрузкой позволяет производить бункеровку, транспортировку, упорядочение и отсекание деталей.

7.2.4. Магазинная загрузка деталей

«Магазинами» обычно называют накопители с упорядоченной (ориентированной) загрузкой заготовок с целью их промежуточного хранения — например на поддонах (рис. 705).

Такие накопители необходимы как при ручном, так и при механическом монтаже — особенно в тех случаях, когда монтажные операции пространственно разрозненны.

Существует множество накопителей самых разных исполнений (рис. 706). Среди них:

- воронкообразные,
- шахтные,
- ступенчатые,
- рольганговые,
- с направляющей скольжения,
- канальные,
- конвейерные,
- подъемные,
- цепные,
- револьверные,

Рис. 705. Накопительподдоновналенточном транспортере

- барабанные,
- многоместные.

Представляется весьма целесообразным, когда в задачу транспортировки или соответственно в задачу магазинной загрузки либо промежуточного накопления включается еще какая-нибудь операция производственного процесса, например сушка или охлаждение. В таком случае сам участок и продолжительность промежуточного хранения часто настраиваются на конкретную операцию, чем обеспечивается ее надежное и своевременное завершение. В качестве примера можно назвать операции по монтажу литых и кованых деталей.

Повторение и закрепление материала

1. *Перечислите основные функции монтажа.*
2. *Что необходимо учитывать при создании изделий, удовлетворяющих требованиям сборки?*
3. *Какую роль играет базовая деталь в последующем монтаже?*
4. *Приведите примеры складов разных видов.*
5. *Какие проблемы могут возникнуть при бункеровке с использованием стационарных емкостей, когда планируется проведение автоматизированного монтажа?*
6. *Какие задачи решаются с помощью воронкообразных бункеров с вибрационной разгрузкой?*
7. *Как достигается ориентация деталей при вибрационной разгрузке?*
8. *Чем накопители магазинного типа отличаются от бункеров?*
9. *Каков принцип действия шахтного и подъемного накопителей?*

Рис. 706. Конструктивные исполнения накопителей

Рис. 707. Транспортные столы с роликами с произвольным направлением перемещения

7.2.5. Транспортные системы

Для транспортировки заготовок от одной позиции обработки или сборки к следующей позиции или от накопителя к монтажным площадкам используются обычно автотележки, робокары либо различные транспортные системы. Вот важнейшие из них:

- спускные желоба, транспортные столы,
  роликовые транспортеры,
  ленточные транспортеры,
  цепные транспортеры,
  подвесные конвейеры и
  автоматические транспортные системы.

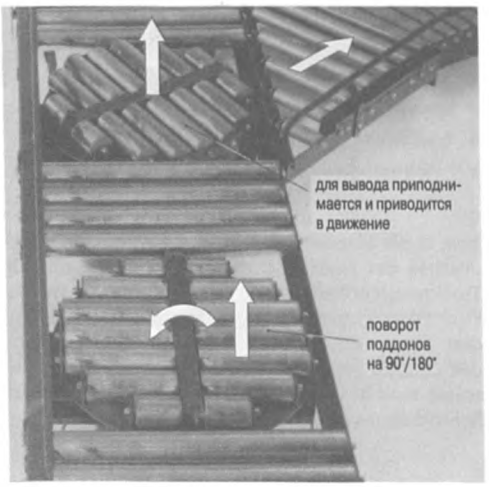


Рис. 708. Роликовый транспортер с острелочным выводом и поворотом поддонов

Спускные желоба и транспортные столы

Спускные желоба и лотки относятся к самым простым транспортным средствам. Для обеспечения автоматического скольжения деталей они обладают наклоном от 2 до 7 %. Лоток имеет гладкую поверхность либо снабжен несущими шариками, а во многих случаях предусматривается — с целью облегчения скольжения — еще и поддувка воздуха через сопла, так что детали как бы плывут на воздушной подушке. Транспортные столы, оснащенные роликами с произвольным направлением перемещения, позволяют смещать и поворачиваать детали во все стороны (рис. 707).

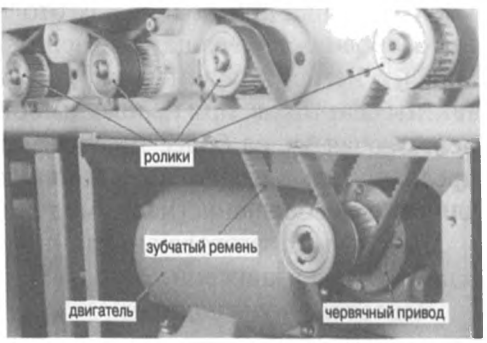


Рис. 709. Привод роликов через зубчатые ремни

Роликовые транспортеры

Среди роликовых транспортеров (рис. 708) существуют такие, у которых ролики с геометрическим замыканием приводятся в движение через цепи и звездочки или зубчатые колеса и зубчатые ремни (рис. 709), и такие, которые перемещаются на основе фрикционного замыкания — например посредством лент и фрикционных дисков. Приводные усилия передаются либо от ролика к ролику, либо сразу на все ролики. Имеются и транспортеры с роликами, каждый из которых отдельно приводится в движение электродвигателем.

Роликовые направляющие качения, действуя по принципу подпора, позволяют организовать транспортировку таким образом, что перед разгрузочной позицией создается небольшая очередь из деталей, так что в случае перерывов в разгрузке не приходится тратить время на ожидание. В транспортерах

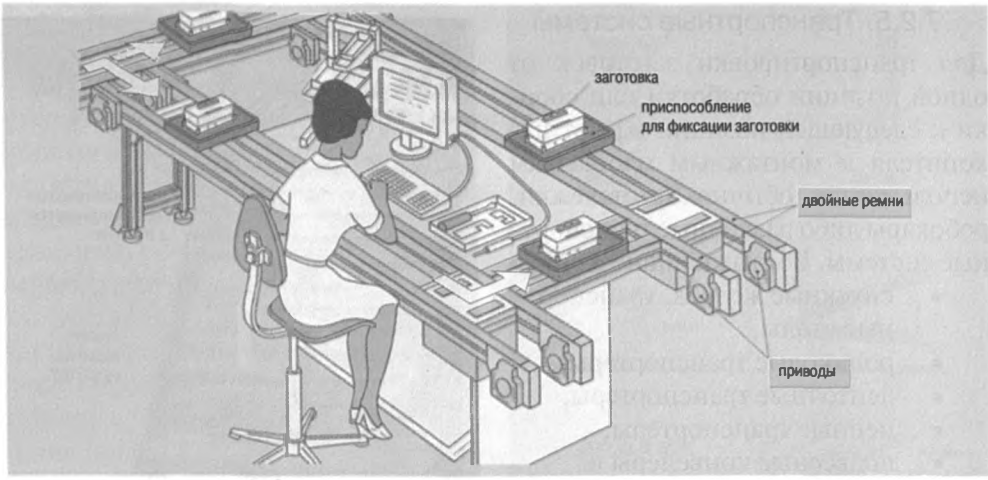


Рис. 710. Рабочее место контролера на двухременном транспортере

такого типа используются ролики с проскальзывающими ступицами, то есть корпус ролика при подпоре заготовок останавливается, в то время как ступица продолжает вращаться, передавая на корпус постоянный вращающий момент. Регистрировать подпор можно с помощью контактных или бесконтактных датчиков, при необходимости останавливая роликовые приводы или переключая их на более низкий момент подачи. Роликовые транспортеры предлагаются в разных исполнениях: как для легких мелких деталей, так и для тяжелых болванок (например в литейном производстве).

При выводе заготовок наклонно установленные ролики приподнимаются и приводятся в движение (рис. 708).

Ленточные транспортеры

Ленточные, или ременные транспортеры приводятся в действие посредством лент или соответственно ремней, обхватывающих два ролика, один из которых вращается с помощью электродвигателя. При перемещении приспособлений для фиксации изделий часто используют двухременный транспортер. В этом случае удается — благодаря наличию свободной средней зоны — выполнять требуемые дополнительные операции (например поднимать или выгружать детали либо приспособления для зажима заготовок с помощью подъемного цилиндра). Ленты в таких транспортерах могут иметь разные исполнения: с гладкой поверхностью, с пластиковым покрытием, с резиной или с шипами для затормаживания при скольжении по скату. С помощью двухременных транспортеров можно реализовать практически все формы «монтажной топологии» (линейной или четырехугольной структуры) и с любыми уровнями вложенности (рис. 710). Для прямоугольного изменения направления существуют достаточно простые решения, поскольку при наличии двойного ремня в свободной средней зоне можно вполне разместить поперечный привод.

Двойная роликовая цепь с подпором

Конструктивные особенности этого транспортера близки к двухременному исполнению, только вместо ремней используется цепь с роликами в качестве

звеньев цепи (рис. 711). Эти ролики установлены с возможностью поворота и несут на себе приспособление для фиксации заготовки. В случае подпора цепь продолжает двигаться дальше, а ролики вращаются в звеньях цепи, так что на крепежное приспособление воздействуют лишь незначительные приводные усилия.

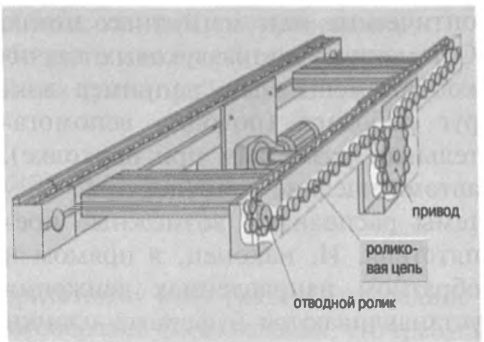


Рис. 711. Двойная роликовая цепь с подпором

Подвесной конвейер

Существуют подвесные конвейеры с цепными приводами, канатными приводами (наподобие горнолыжного подъемника) и с ходовыми рельсами, по которым при 3%-ном наклоне катятся каретки с приспособлениями для подвешивания деталей. В таком исполнении подвесные конвейеры могут также играть роль буферного участка с функцией промежуточного накопителя (рис. 712).

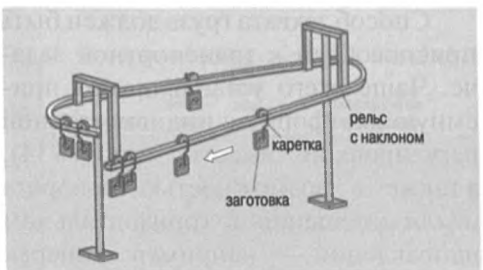


Рис. 712. Подвесной конвейер

Автоматические транспортные системы

В автоматических транспортных системах (рис. 713), работающих, как правило, от электропривода, уложенные на поддоны заготовки и инструменты автоматически забираются с поддона и переносятся в заранее установленное место, например на монтажную площадку или на склад. Сообщение о пункте назначения передается через индуктивные приемопередатчики, инфракрасные датчики или по радиосвязи. Управление движением при этом осуществляется либо посредством направляющих проводов, проложенных в полу заводских цехов, либо через радионавигационные системы, подобные технике спутниковой связи для управления движением безрельсовых сухопутных транспортных средств с моторным приводом, или же по отдельным маршрутным секциям с нанесением вдоль путей

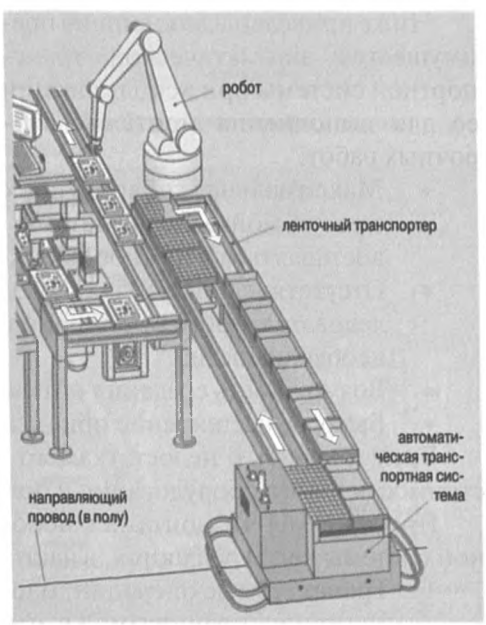


Рис. 713. Движение материалов на автоматической транспортной системе

оптических или магнитных меток. С помощью ультразвуковых датчиков, размещенных, например вокруг робокара (подобно вспомогательным разметкам при парковке), автоматические транспортные системы распознают возможные препятствия. И, наконец, в прямом и обратном направлениях движения устанавливаются буферные планки с коммутационными контактами, при соприкосновении с которыми происходит останов автоматической транспортной системы.

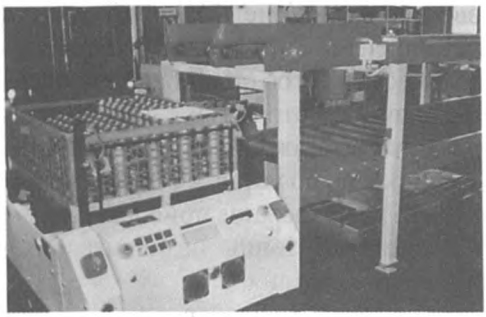


Рис. 714. Автоматическая транспортная система с передачей проволочного контейнера

Способ захвата груза должен быть приспособлен к транспортной задаче. Чаще всего устанавливают приемную платформу с индивидуальной регулировкой высоты (рис. 714), а также с возможностью поворота и/или смещения в горизонтальном направлении — например поперек направления движения, благодаря чему создается возможность боковой погрузки и выгрузки.

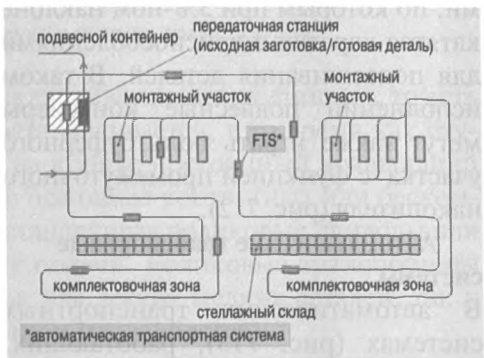


Рис. 715. Гибкая автоматизированная сборкасиспользованиемавтоматической транспортной системы

Ниже приведены важнейшие преимущества автоматической транспортной системы при использовании ее для выполнения монтажно-сборочных работ:

- Максимальная гибкость при объединении нескольких модулей в единую монтажную систему. Все узлы и детали могут автоматически доставляться в нужное место.
  Отсутствие принудительного рабочего такта. Гибкая настройка последовательности выполнения движений согласно производственной необходимости.
- Возможность создания оптимальных монтажных участков.
- Быстрое расширение при наличии свободных площадей или цехов.

Если говорить о недостатках, то придется упомянуть довольно высокую стоимость такого оборудования и большую занимаемую площадь.

При проведении монтажа с использованием автоматической транспортной системы легко решаются, в частности, следующие задачи:

1. Транспортные операции: маршруты с установленным временем движения, планируемой выгрузкой, регламентированным захватом груза, выгрузкой в установленном месте, зарядкой батарей, периодическим контролем и техническим обслуживанием (рис. 715).

2. Организация работ: указание заданных станций, распределение транспортных задач с учетом свободного или освобождающегося транспорта, определение заданий для пустых робокаров.

7.3. Способы соединения в процессе монтажа

7.3.1. Крепление винтами

Резьбовые соединения относятся к приоритетному виду разъемных соединений. Винты представлены в огромном многообразии форм головок, что требует и разных исполнений предназначенных для них отвертывающих инструментов. Итак, бывают винты с простым шлицем в головке, винты с крестообразным шлицем, винты с внутренним и внешним шестигранником (с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ/с наружным шестигранным углублением под ключ) — с защитой от проворачивания либо без таковой. Для соединения заготовок из листового металла предлагаются специальные винты — так называемые саморезы, скрепляющие материал с одновременным его просверливанием. Надежное резьбовое соединение получают, когда при затягивании винта возникает еще его предварительное натяжение (рис. 716). Однако момент затяжки определяется преимущественно моментом трения между головкой винта и опорой и, следовательно, в значительной мере зависит от качества поверхности соединяемых конструкционных элементов.

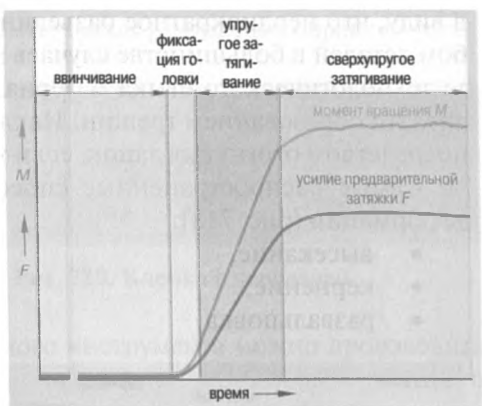


Рис. 716. Фазы при завинчивании

Для целей монтажа используются винты с управляемым углом поворота и управляемым моментом вращения, а также ударный винтоверт с импульсным управлением. Сенсоры регистрируют момент вращения и угол поворота. Это служит гарантией правильного резьбового соединения. При необходимости эти параметры могут быть документированы.

Внимание! Винтоверты с ручным управлением нагружают суставы рук человека вибрациями и силовыми импульсами, так что длительное пользование таким инструментом опасно для здоровья!

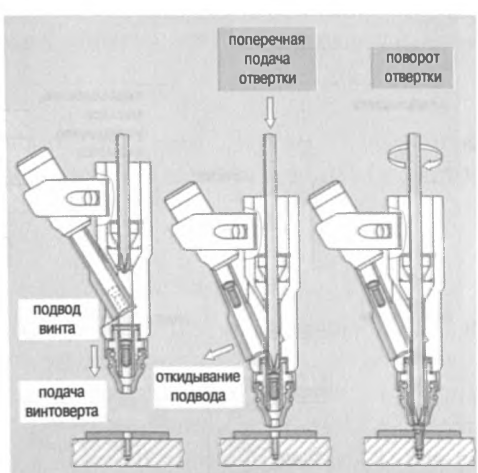


Рис. 717. Автоматизированное свинчивание

При автоматизированном свинчивании винтоверты снабжаются подводами для винтов (рис. 717), причем винт подводится к отвертке сбоку, после чего она подается на глубину и приводится во вращение.

Для надежного автоматизированного свинчивания необходимо тщательно проверить все винты (сплошной контроль!), после чего упаковать их в небольшие пакетики и запечатать. Распечатывать их следует только на винтовом автомате. Резьбовые соединения можно сколько угодно развинчивать и вновь свинчивать, что делает их весьма удобными с точки зрения монтажа-демонтажа.

7.3.2. Стыкование методом пластической деформации

Методом пластической деформации достигается неподвижное соединение монтажных элементов. Реализовать такой способ возможно с использованием достаточно простых инструментов, в том числе и на основе манипуляций с помощью роботов, если противодействующие силы воспринимаются инструментом, как, например в случае просечной цанги. Но следует иметь в виду, что неоднократное разъединение состыкованных описанным способом деталей в большинстве случаев весьма проблематично, поскольку в месте технологического стыка материал упрочняется, и повторное соединение чревато образованием трещин. Исключение составляет разве что скрепление посредством отогнутых лапок, если только в месте стыка нет надрывов.

Самые распространенные способы соединения методом пластической деформации (рис. 718):

- высекание,
- кернение,
- развальцовка,

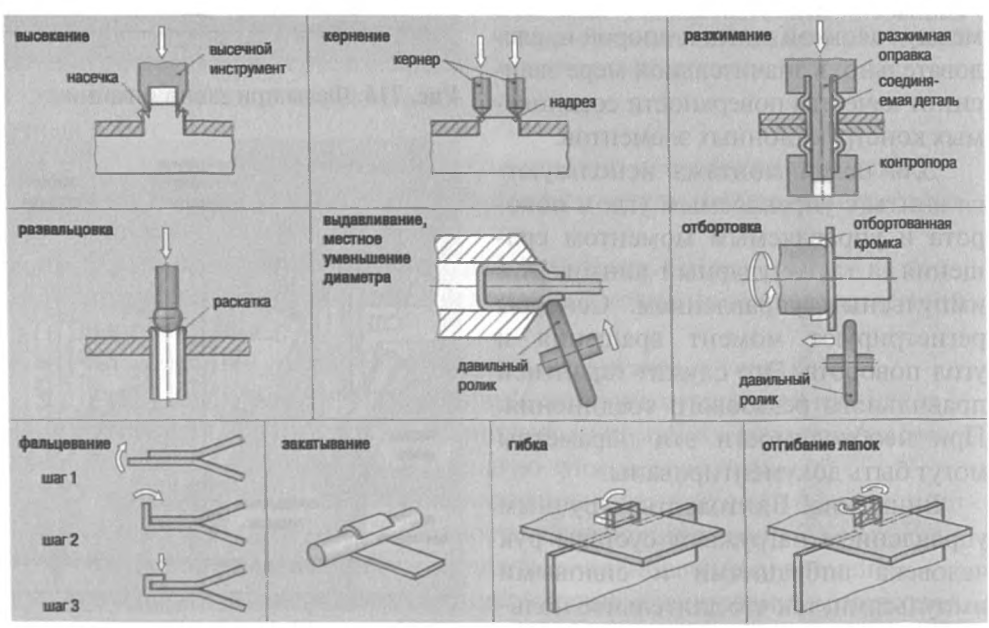


Рис. 718. Соединение методом пластической деформации

- разжимание,
- обжатие,
- местное уменьшение диаметра,
- отбортовка,
- фальцевание,
- гибка,
- скрепление отгибанием лапок.

Клепка

При способе соединения деталей, именуемом «клепкой», происходит осаживание болта, пустотелой цапфы или втулки. В качестве вспомогательного средства здесь выступают заклепки разного исполнения — цельные (сплошные), пустотелые или специальные для клепки вслепую. При этом сборка осуществляется с помощью клепального молотка, клепального пистолета (пневматического клепального молотка) или клепального пресса. Для клепки вслепую заклепки обычно поставляются вместе с оправкой, осаживаемой относительно заклепки (рис. 719) и ломающейся в заданном месте: клепка готова. При работе с использованием специального накопителя для заклепок и клепального инструмента можно производить соединение пустотелыми заклепками, в том числе и с оправками многократного применения.

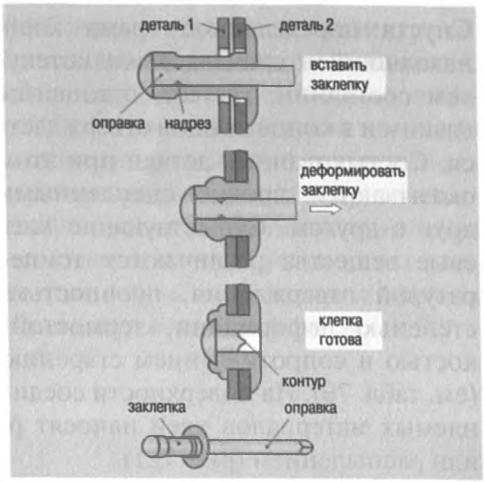


Рис. 719. Пустотелые заклепки с инструментом для разрушения оправки

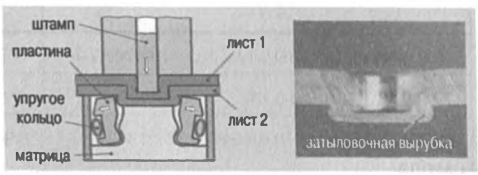


Рис. 720. Клепка с передачей

Наряду с решением задачи соединения конструкционных элементов, клепку с так называемыми «призонными заклепками» используют также для монтажа с точным позиционированием, а с так называемыми «плотными заклепками» — для уплотнения отверстий.

Клепка с передачей

В данном случае речь идет о клепке без вспомогательной детали. С помощью клепальных клещей достигается точное и абсолютно плотное соединение листовых материалов (рис. 720).

7.3.3. Склеивание и заделка уплотнением (герметизация)

Клеевые соединения служат, кроме прочего, для уплотнения конструкционных деталей как из однородных, так и из разнородных материалов. В автомобилестроении, например приклеиваются стекла к (лакированным) металлическим рамам. Важным условием хорошего клеевого соединения является безупречное смачивание соединяемых деталей клеем. Когда клей тонкой пленкой ложится на поверхность заготовки (при необходимости — предварительно обработанной), возникает феномен, именуемый адгезией, или сцеплением.

Спустя определенное время клей, находящийся сначала в жидкотекучем состоянии, густеет, становится вязким и в конце концов отверждается. Состыкованные детали при этом оказываются прочно сцепленными друг с другом. Существующие клеевые вещества различаются температурой отверждения, прочностью, степенью деформации, термостойкостью и сопротивлением старению (см. табл. 70). На поверхности соединяемых материалов клей наносят разными способами — кистью, валками или распылением (рис. 721).

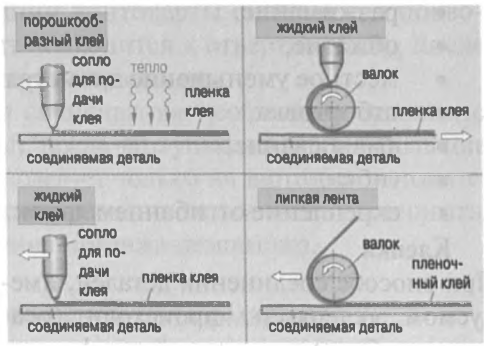


Рис. 721. Способы нанесения клея

Таблица 70. Клеи для металлов (выборка)

Название	Прочность	Деформируемость	Термостойкость
Эпоксидная смола (2 компонента)	очень высокая	хорошая	80 °С
Эпоксидная смола	очень высокая	хорошая	200 °С
Эпоксидно-феноло-альдегидная смола	очень высокая	умеренная	250 °С
Феноло-альдегидная смола	очень высокая	умеренная	200 °С
Эфир диакриловой кислоты, быстроотверждающийся	Низкая	хорошая	120 °С
Клей горячей плавки	Низкая	хорошая	100 °С

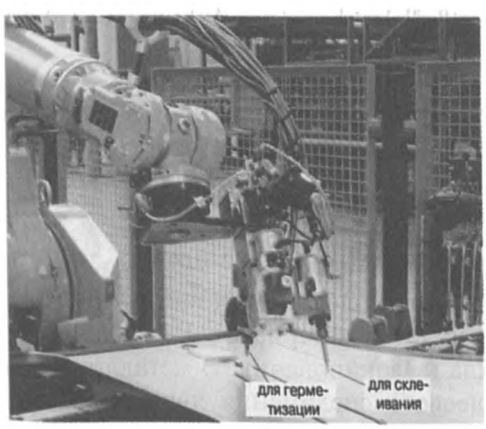


Рис. 723. Робот при выполнении операции склеивания

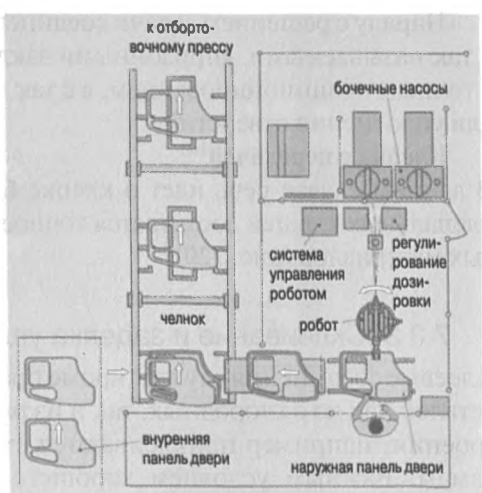


Рис. 722. Роботизированная ячейка для нанесения клея и уплотнения двери автомобиля

Задача плотной заделки (герметизации) близка к задаче склеивания, с той лишь разницей, что в данном случае прочность соединения не столь важна. А вот что касается деформируемости, то при уплотнении это свойство должно сохраняться достаточно длительное время. Уплотняющий материал не может быть хрупким. Такие операции, как склеивание и герметизация, часто выполняются роботами (рис. 722 и 723). Для получения равномерного покрытия выход клея или соответственно уплотняющего материала (герметика) с помощью регулируемого дозировочного насоса настраивается на текущую скорость движения робота по траектории — с учетом того, что скорость перемещений робота может меняться, например при обходе углов и достижении мест назначения.

7.3.4. Сварка и пайка

При монтаже, например кузовов и деталей автомобилей используют, наряду с клепкой, также и контактную сварку давлением с помощью сварочных клещей либо сварку плавлением — металлическим электродом в инертном газе/в активных защитных газах. Сварочными клещами или соответственно сварочной горелкой порой вполне успешно манипулируют роботы.

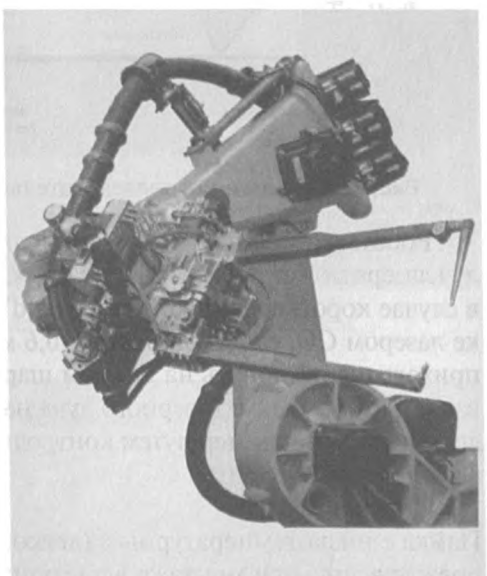


Рис. 724. Роботы со сварочными клещами для проведения точечной контактной сварки

Усилие прессования при использовании сварочных клещей (рис. 724) создается посредством управляемого пневматическим способом напорного цилиндра. Временные характеристики процессов движения сварочных клещей, усилий прессования и сварочных токов должны регулироваться с максимальной точностью (рис. 725). Сварные точки в быстрой последовательности устанавливаются роботом.

При сварке плавлением в случае длинных сварных швов применяют специальные сенсоры, помогающие направить робота и соответственно сварочную горелку вдоль текущей линии сварки.

Энергия для плавления создается посредством электрической дуги или лазерного луча (обычно лазера CO_2 или лазера NdYAG).

Примечание: Лазер CO2 есть газоразрядный оптический квантовый генератор с углекислым газом в качестве основы; длина волны составляет 10,6 мкм. Лазер NdYAG есть твердотельный оптический квантовый генератор с гранатом (Y3Al5O2) в качестве основного материала, легированного неодимом (Nd); длина волны составляет 1,06 мкм.

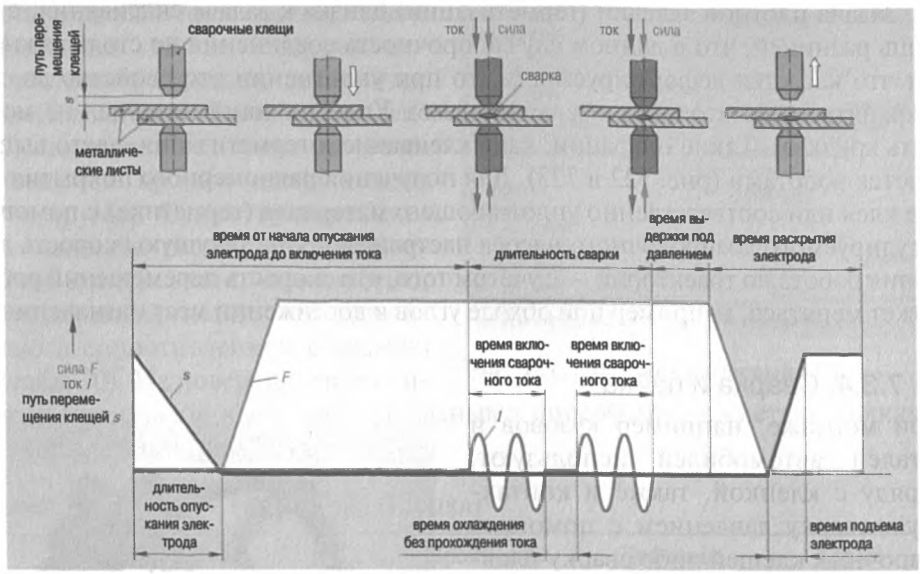


Рис. 725. Временная последовательность при точечной контактной сварке

Роботам особенно легко манипулировать лазерными инструментами, когда луч лазера может проходить через стекловолокно, как это имеет место, например в случае коротковолнового лазера NdYAG с длиной волны 1,06 мкм. При сварке лазером CO_2 с длиной волны 10,6 мкм его луч с помощью зеркал или призм приходится отклонять на каждом шарнире робота. При лазерной сварке очень важно, чтобы фокус лазерного луча находился чуть ниже поверхности шва. Это достигается, например путем контроля расстояния на основе емкостного измерения.

Пайка

Пайка с низкотемпературным (легкоплавким) припоем находит применение, прежде всего, при монтаже электронных деталей. Паяное соединение служит при этом как для механического стыкования, так и для передачи напряжения и тока.

В качестве легкоплавкого припоя используют оловянно-свинцовые сплавы (см. табл. 71). Процесс монтажа конструкционных элементов осуществляется с соединительными шинами/соединительными проводами, причем эти соединения проводятся сквозь отверстия в печатных платах и быстро погружаются там в жидкий припой (пайка погружением).

Таблица 71. Низкотемпературные и высокотемпературные припои

Название	Условное обозначение	Состав	Точка плавления	Применение
Капиллярный припой (легкоплавкий)	L-Sn 63 Pb	63 % Sn; остальное Pb	183 °C	Лужение и пайка проводов и деталей в электроприборостроении

Таблица 71. (окончание)

Оловянно-свинцовый припой (легкоплавкий)	L-Sn 60 PbAg	60 % Sn; 3-4 % Ag, остальное Pb	от 178 до 180 °C	Лужение и пайка конструкционных элементов в электронике
Серебряный припой (тугоплавкий)	L-Ag 40 Cd	40 % Ag; 20 % Cd; 19 % Cu; остальное Zn	610 °C	Пайка меди, стали, никеля и их сплавов
Латунный припой (тугоплавкий)	L-Ms 60	60 % Cu; остальное Zn	900 °C	Пайка меди и стали

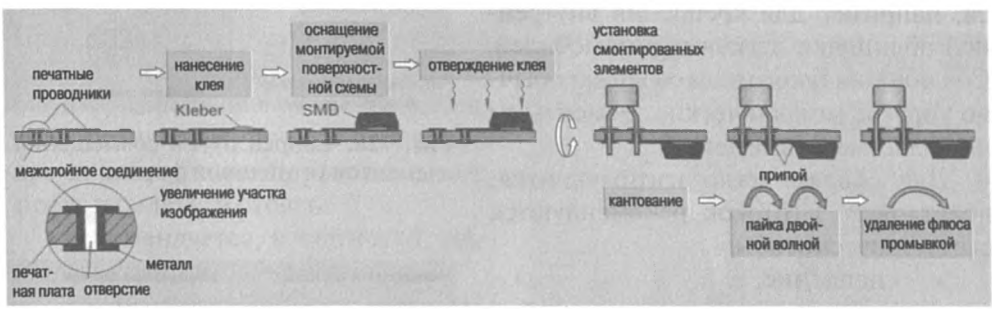


Рис. 727. Процесс пайки для печатных плат с гибридным оснащением

При пайке методом расплавления полуды монтируемые поверхностные схемы SMD (от англ. Surface Mounted Device) фиксируют с помощью паяльной пасты (смесь оловянной пудры с флюсом) и нагревают поверхность платы горячим воздухом, пока припой не потечет.

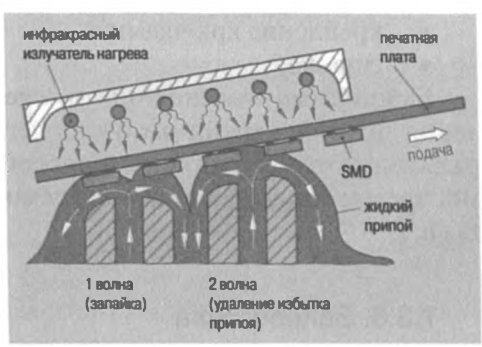


Рис. 726. Пайка по принципу двойной волны

При пайке по принципу двойной волны сначала — с первой волной — выполняется запайка жидким припоем, после чего — со второй волной — избыток припоя удаляется (рис. 726). Этот способ пригоден также для гибридного оснащения SMD и смонтированных конструкционных элементов (рис. 727).

7.3.5. Сборка совмещением

Самые распространенные способы сборки деталей устойчивой формы (рис. 728):

- вкладывание,
- вдвигание,

подвешивание,
сборка по типу байонетного соединения,
сборка с разжимом вставляемой детали.

Соединение упругих заготовок, в частности, из синтетической пленки, производится по методу защелкивания (рис. 729). Сборка с пружинным зажимом, как правило, заключает в себе целый ряд комбинированных способов соединения и широко используется, например для крепления внутренней облицовки легковых автомобилей. Соединения такого рода содержат обычно упругие металлические элементы и/или пластмассовые детали.

Для сборки легко изгибающихся, податливых заготовок рекомендуются следующие способы:

- сцепление,
- совмещение через разрывной элемент,
- подвязывание,
- крепление крючками и
- сшивка.

Байонетные соединения и сцепления по типу репейника очень легко разъединяются и считаются способами, чрезвычайно удобными для демонтажа.

Рис. 728. Сборка путем совмещения элементов устойчивой формы

Рис. 729. Фиксация защелкиванием и стопорением

7.3.6. Запрессовка

Особенно прочные соединения получают путем запрессовки. При этом в случае металлов деталь нагревается и соответственно охлаждается с прессовой посадкой. При нагревании наружная деталь расширяется и может быть легко сдвинута относительно внутренней детали (рис. 730).

При комнатной температуре получается прочное соединение с силовым замыканием. Соответствующим образом может быть охлаждена и внутрен-

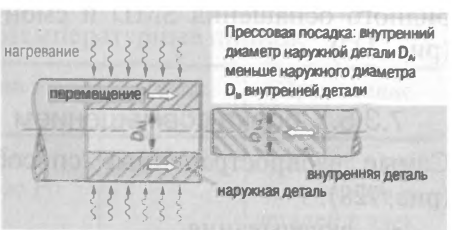


Рис. 730. Запрессовка

няя деталь. При этом ее объем сокращается, так что ее легко вложить в наружную деталь.

Детали можно быстро соединять с помощью «пластиковых стяжных трубок», которые в результате нагревания, например горячим воздухом стягиваются, прочно удерживая заключенные в них детали. Такой способ часто используют при электромонтажных работах и при сборке электронных элементов. Впрочем, следует отметить, что без разрушения демонтировать их уже не удастся.

7.4. Монтажные площадки

7.4.1. Ручной монтаж

При выполнении ручного монтажа рабочие места монтажников должны быть организованы по всем правилам эргономики, причем человек во время работы должен иметь возможность и сидеть, и стоять.

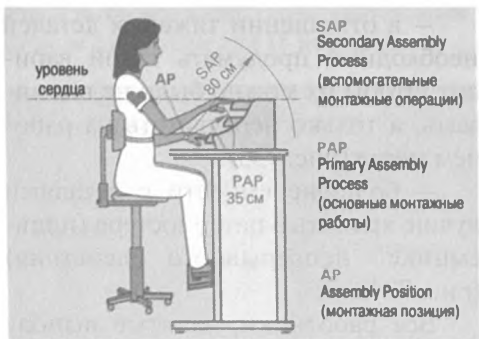


Рис. 731. Рабочее место монтажника

Рис. 732. Работа в двухручном режиме

Рекомендуется, в частности, соблюдать следующие правила:

- Все пути «схвата» (рис. 731) должны быть как можно короче, особенно по ходу рабочего процесса. С учетом поставленной производственной задачи, необходимо определить наиболее оптимальный способ работы, а именно: в направлении слева направо или лучше снаружи внутрь (двухручным методом).

  Все емкости размещаются в зоне оптимальной досягаемости (рис. 717). Те емкости, к которым приходится обращаться чаще, устанавливают по центру, непосредственно перед местом монтажа; сюда же кладут необходимые инструменты, установочные детали и проч. Основные монтажные операции PAP (от англ. Primary Assembly Process) желательно выполнять в плоскости примерно на уровне сердца.

  Настоятельно рекомендуется в полной мере использовать все имеющиеся возможности работы двухручным способом (рис. 732). При этом:

– две подлежащие сборке детали кладут слева и справа под одинаковым углом и совершают движения в направлении снаружи внутрь,

– наиболее часто используемые элементы размещают строго по центру,

– мелкие детали (гайки, шайбы, кольца) и вспомогательные материалы (смазка, клей, паста) тоже желательно хранить поближе к центру.

- Особое внимание следует уделить объемным емкостям с деталями и тяжелым узлам и блокам. При этом рекомендуется:

– большие емкости всегда ставить слева или справа от основного поля зрения; при необходимости можно предусмотреть две емкости с одинаковым содержимым,

– в отношении тяжелых деталей необходимо продумать такой вариант, чтобы их можно было не поднимать, а только передвигать на рабочем месте (рис. 733),

– большие емкости с деталями лучше хранить в патерностере (подъемнике непрерывного действия) (рис. 734).

Все работники, занятые выполнением монтажных операций, должны иметь возможность действовать и сидя, и стоя, периодически меняя свое рабочее положение.

Рис. 733. Направление основного движения

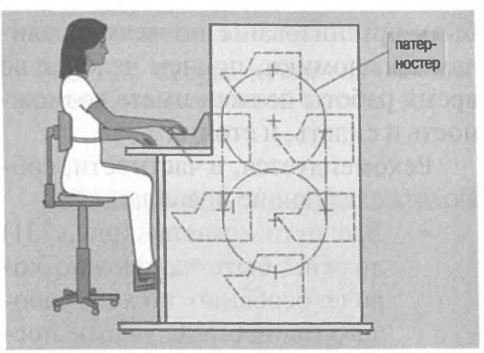


Рис. 734. Система хранения емкостей в подъемнике непрерывного действия

7.4.2. Автоматизированный монтаж

Для автоматизированного монтажа агрегатов и устройств необходимо найти такое решение, чтобы сборка деталей осуществлялась преимущественно только в горизонтальном либо в вертикальном направлениях. И лишь какие-то вспомогательные движения (например стопорение на основе байонетного соединения) могут выполняться в других направлениях.

При таком монтаже предлагается решение, представленное на рис. 735. Монтажная опорная плита подается с использованием транспортной системы. Необходимые для сборки элементы находятся в вибрационных

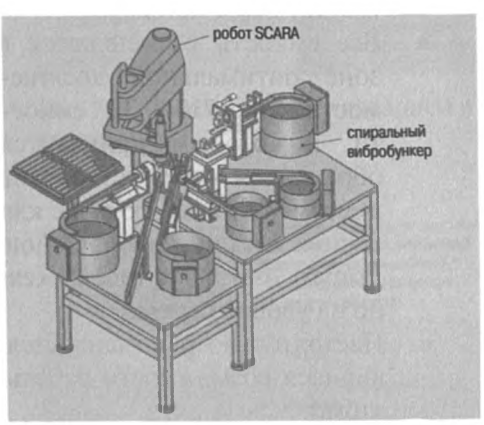


Рис. 735. Сборочная станция в гибкой производственной системе

бункерах либо накопителях вокруг манипуляционной системы и предоставляются ей отдельно, упорядоченно и с правильным позиционированием. Простые мелкие детали (жестяные уголки, проволочные пружины и проч.) при необходимости доставляются к месту монтажа на ленточном транспортере, что позволяет избежать трудоемкой операции по их упорядочению.

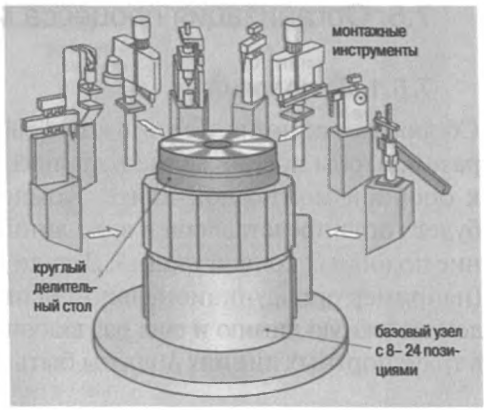


Рис. 736. Монтаж с круглым делительным столом с фланцем для 16 позиций

В отношении ситуаций с привлечением роботов напоминаем, что при монтаже лучше всего проявляют себя роботы с горизонтальной механической рукой с 4 степенями подвижности (4 осями) типа SCARA (от англ. Selective Compliance Assembly Robot Arm — сборочный робот с избирательной податливостью). Эти механизмы отличаются высокой конструктивной жесткостью и точностью именно в вертикальном направлении соединения и обладают податливостью поперек этого направления.

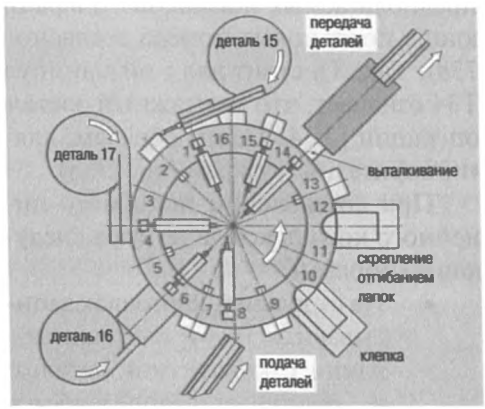


Рис. 737. Компоновка монтажного механизма с круглым делительным столом

В вертикальном направлении воспринимаются все усилия шарниров, в то время как поперек этому направлению моторные приводы подготавливают усилия и управляют ими. Это имеет то преимущество, что при выполнении операций соединения удается избежать возможных заклиниваний.

Недостатком же такой сборочной станции с использованием робота является то, что работа при этом ведется только в одном месте, а именно там, где как раз находится рука робота.

Монтажные многопозиционные станки с круглым делительным столом с каждым тактом проворачивают монтажную деталь дальше на один такт (рис. 736). В зависимости от характера монтажных работ к станине круглого делительного стола прифланцовываются необходимые монтажные инструменты.

Существуют монтажные станки с 8, 12, 16 и 24 позициями. Компоновка здесь зависит от монтажного задания и наличия свободной площади. В качестве накопителя используют обычно воронкообразные вибронакопители (рис. 737).

Операции соединения следует осуществлять по возможности в направлении сверху вниз или в горизонтальном направлении.

7.5. Организация процесса монтажа

7.5.1. Топология

Сборочные станции и монтажные рабочие площадки компонуются таким образом, чтобы продвижение в процессе работы осуществлялось в направлении к опорной монтажной плите. Компоновка (топология) сборочных участков будет тогда представлена в виде линии, кольца или квадрата либо как сочетание подобных конфигураций. Детали, забракованные в ходе контроля качества (например при функциональном испытании), отводятся, иногда поступают на демонтажную линию и еще раз включаются в процесс монтажа. Для этой цели в транспортных линиях должны быть предусмотрены стрелочные выводы.

7.5.2. Последовательное выполнение монтажных операций

Процесс монтажа разбивается на отдельные сегменты в зависимости от числа предполагаемых монтажных операций, которым присваиваются соответствующие порядковые номера согласно их временной последовательности (рис. 738). Так, Tij стоит для j-ой манипуляции с монтажной деталью Ti. Пример: T34 означает, что монтажный элемент T3 (винт) будет ввинчен в монтажной операции j = 4. Таким образом, для компоновки создаются так называемые «приоритетные графы» (рис. 738).

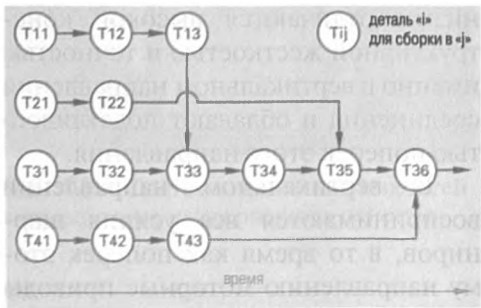


Рис. 738. Граф приоритета для последовательности выполнения монтажных операций

При составлении подобного линейного комплекса действуют следующим образом:

- На отдельных карточках записываются требуемые манипуляции с конкретной деталью и оценивается/определяется время монтажа.
  Эти карточки крепятся на панель с учетом предыдущих и последующих действий, в результате чего получаются ряды временной последовательности совершаемых операций.
  Для каждой отдельной операции фиксируется самый ранний момент ее выполнения. При этом создается приблизительная структура графов приоритета.
  Теперь в эти графы заносятся соединительные линии (рис. 739).
  Карточки и соединительные линии варьируются с таким

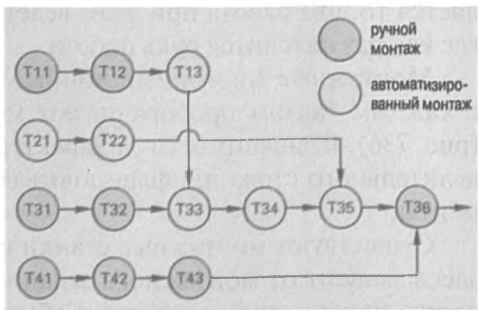


Рис. 739. Отдельные операции, рассчитанные на ручной или автоматический режимы

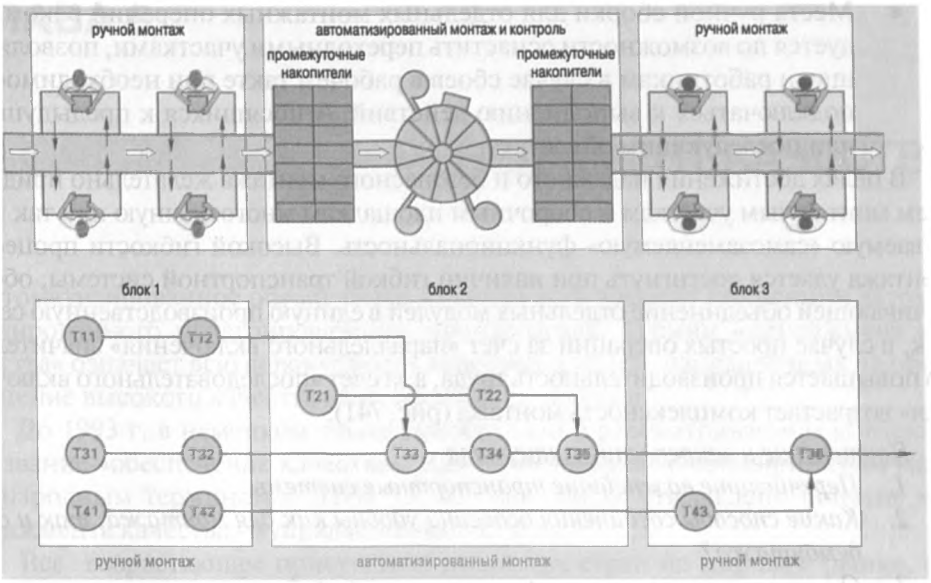


Рис. 740. Граф приоритетов для монтажа (пример)

расчетом, чтобы возникали блоки, пригодные для автоматизированной обработки, и «зарплатоемкие» блоки, предназначенные для ручного труда (рис. 740).

Последние не могут разрозненно размещаться среди подлежащих автоматизации операций, чтобы избежать жесткой привязки к тактовому режиму. Для отделения ручного монтажа от заданного рабочего такта предусматриваются подходящие промежуточные накопители.

Площадки для выполнения монтажных операций в ручном режиме следует организовать таким образом, чтобы работники не были изолированы друг от друга, то есть находились хотя бы в поле зрения своих коллег и имели возможность взаимного контактирования.

Места ручной сборки должны быть оборудованы с расчетом на возможность работы в сидячем и стоячем положениях.

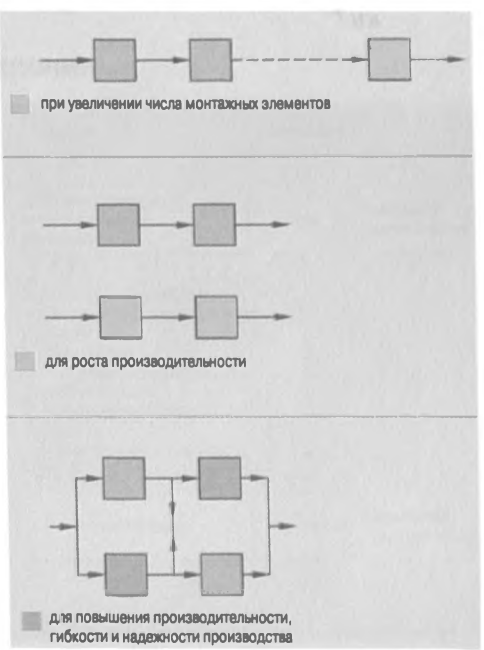


Рис. 741. Организационные структуры монтажного процесса

Места ручной сборки для отдельных монтажных операций рекомендуется по возможности оснастить переходными участками, позволяющими работникам в случае сбоев в рабочем такте при необходимости подключаться к выполнению действий, относящихся к предыдущим или последующим объектам.

В целях достижения надежного и безопасного монтажа желательно придать всем монтажным участкам и сборочным площадкам многозначную или так называемую «самозаменяемую» функциональность. Высокой гибкости процесса монтажа удается достигнуть при наличии гибкой транспортной системы, обеспечивающей объединение отдельных модулей в единую производственную сеть. Так, в случае простых операций за счет «параллельного включения» значительно повышается производительность труда, а за счет «последовательного включения» возрастает комплексность монтажа (рис. 741).

Повторение и закрепление материала

1. *Перечислите важнейшие транспортные системы.*
2. *Какие способы соединения особенно удобны как для монтажа, так и для демонтажа?*
3. *Опишите процесс и результат клепки «с передачей».*
4. *Как могут нагружаться клеевые соединения?*
5. *Что необходимо учитывать при организации мест ручной сборки?*
6. *Каковы основные отличия роботизированного монтажного участка от монтажной установки с круглым делительным столом?*
7. *Как осуществляется планирование монтажных работ?*
8. *Для чего нужны промежуточные накопители на площадках ручной сборки?*

ГЛАВА 8

МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА

Автоматизированное обеспечение качества есть элемент концепции автоматизированного интегрированного производства. Термин «менеджмент качества» означает всю совокупность действий и целей, направленных на обеспечение высокого качества выпускаемой продукции.

До 1993 г. в немецком языке преобладало в рассматриваемом контексте название «обеспечение качества». Для гармонизации с общепринятым международным термином в ДИН 55 350 было также утверждено понятие менеджмента качества — управления качеством.

Все возрастающее присутствие азиатских стран на мировом рынке, открытие восточно-европейских рынков и основание европейского внутреннего рынка ввергли предприятия Европы в острейшую конкуренцию. Наряду с ценами, все более важным стратегическим фактором конкурентной борьбы становится качество товаров и услуг. Определение мероприятий, способствующих улучшению качества во всех без исключения сферах производства, стало одной из важнейших задач менеджмента качества.

8.1. Качество как объект управления

Качество есть состояние единицы, отвечающее заданным требованиям к качеству (ДИН 55 350/ИСО 8402). Под единицами понимаются в данном случае любые товары и услуги, а требования к качеству устанавливаются покупателями или всем обществом в форме ожиданий и пожеланий производителю.

Приобретая товар, покупатель, естественно, ожидает от него оптимальной работоспособности, высокой надежности и безопасности, а в послепродажный период надеется на получение квалифицированных консультаций и грамотного обслуживания; не стоит забывать и о такой «мелочи», как приятный вне-

Рис. 742. Зависимость между требованием к качеству товара и его состоянием

шний вид приобретенного товара. С этим тесно связаны также вопросы максимальных цен и приемлемых сроков поставки. Для поставщиков высокие требования к качеству становятся источником дополнительных затрат, которые отнюдь не всегда совпадают с представлениями покупателя о «нормальных» ценах.

Состояние того или иного товара определяется совокупностью всех относящихся к нему признаков качества (рис. 742).

8.1.1. Признаки качества

Поскольку признаки характеризуют разные показатели (например длину, сварные точки), то существуют и разные виды признаков, на основе которых определяются также виды значений признаков (см. табл. 70).

Таблица 72. Признаки качества

Вид признака		Показатель	Пример
количественный	непрерывный признак	измеримое, постоянное значение признака	Диаметр болта Значение признака: например ∅ 20,05 мм, 20,1 мм или 20,02 мм
	дискретный признак	исчислимое значение признака (0, 1, 2, ...)	Сварные точки Значение признака: например 23, 24 или 20 сварных точек
качественный	порядковый признак	оценка с отношением порядка	Внешний вид поверхности Значение признака: например вид очень хороший, хороший, приемлемый, плохой или очень плохой
	номинальный признак	оценка без отношения порядка	Направление бороздок на шлифованной поверхности Значение признака: например направление перекрестное, поперечное или продольное относительно заготовки

Поскольку, как показывает опыт, количественные признаки в процессе производства демонстрируют определенное рассеяние, то величины, отличающиеся от идеального значения признака (заданного значения), ограничиваются предельными значениями — минимальным и максимальным. В случае мер длины эти предельные величины называются «минимальный размер» и «максимальный размер». Разница между максимальным и минимальным значениями именуется допуском.

Если значение признака варьируется в пределах допуска, такое значение считается допустимым. Если оно достигает заданного значения, значит, речь идет о высшем качестве. В направлении к границам поля допуска качество снижается, но еще остается допустимым (рис. 743).

Рассматривая ситуацию применительно к ходу производственного процесса, нетрудно заметить, что в случае значений признаков, все дальше удаляющихся от заданного значения, возникает гораздо больше проблем, чем при значениях признаков вблизи заданного значения. Соединение двух деталей может выполняться, например в процессе монтажа только путем подгонки либо с применением специальных инструментов. В результате мы обязательно получим дополнительные затраты и связанные с этим потери. Такая зависимость проявляется через функцию потерь Тагудши (Genichi Taguchi, японский ученый) (рис. 744).

Следовательно, целью производства должно стать достижение значения признака на уровне заданного значения с как можно меньшим рассеянием. Необходимо, однако, заметить, что производственный процесс при этом неизбежно становится более дорогим и менее экономичным. Таким образом, определение предельных значений всегда является компромиссом между производственными затратами и равномерностью значений признаков.

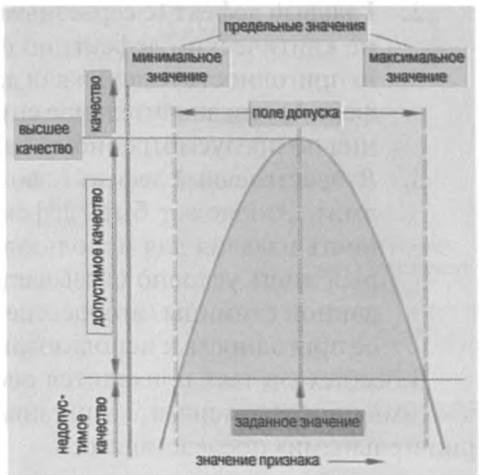


Рис. 743. Качественная характеристика значения признака

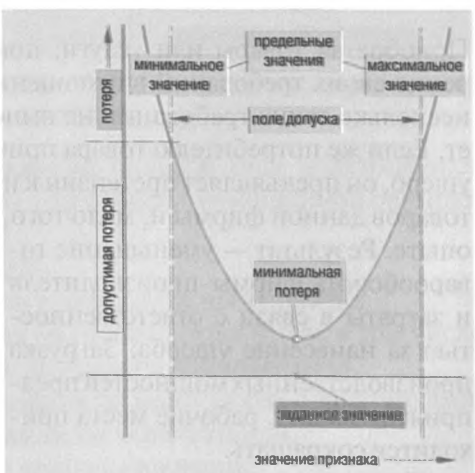


Рис. 744. Функция потерь по Тагудши

8.1.2. Дефекты

Если требование к качеству не выполняется, значит, изделие дефектно. Это имеет место, когда значение признака находится за пределами поля допуска, либо отсутствует требуемое свойство товара.

Дефекты — с учетом связанных с ними отрицательных последствий — классифицируются следующим образом:

1. **Критический дефект** (с критическими последствиями). Этот дефект представляет опасность для лиц, которые используют данное изделие, проводят его текущий ремонт или консультируют на предмет обращения с ним. К «критическим» относится также дефект, способный привести к выходу из строя более крупной и важной установки. Такое может случиться, например когда ломается судовая силовая установка, зависает ЭВМ или происходит сбой в работе спутника связи.

2. **Главный дефект** (с серьезными отрицательными последствиями). Это не критический дефект, но его результатом является обычно полная непригодность изделия для дальнейшего использования (главный дефект А) или значительное снижение его пригодности для использования по предусмотренному назначению (главный дефект В).
3. **Второстепенный дефект** (с возможными отрицательными последствиями). Это может быть дефект, который несколько снижает пригодность изделия для использования по назначению, или дефект, который лишь условно сказывается на использовании или эксплуатации данной единицы (второстепенный дефект А) либо никак не влияет на ее пригодность к использованию (второстепенный дефект В).

В особых случаях приходится особо оговаривать разницу между «критическими» последствиями, «серьезными» последствиями и «возможными отрицательными» последствиями.

8.2. Цели менеджмента качества

Приобретая товары или услуги, покупатель надеется на полное удовлетворение своих требований в отношении этих товаров и услуг. Когда одно или несколько таких требований не выполняется, покупатель досадует и негодует. Если же потребителю товара причиняется физический или материальный ущерб, он предъявляет претензии к изготовителю, а в будущем станет избегать товаров данной фирмы и, мало того, сообщит другим о своем отрицательном опыте. Результат — уменьшение товарооборота фирмы-производителя и затраты в связи с ответственностью за нанесение ущерба. Загрузка производственных мощностей предприятия падает, рабочие места приходится сокращать.

Итак, высшей целью менеджмента качества должно быть оптимальное выполнение требований клиента. Каждый сотрудник предприятия обязан вносить посильный вклад в это общее дело.

Улучшение качества изделия и совершенствование технологического процесса дают устойчивый рост производительности предприятия. Принимаемые для этого меры в краткосрочном масштабе приводят часто к повышению затрат, зато в долгосрочной перспективе, при условии целесообразной органи-

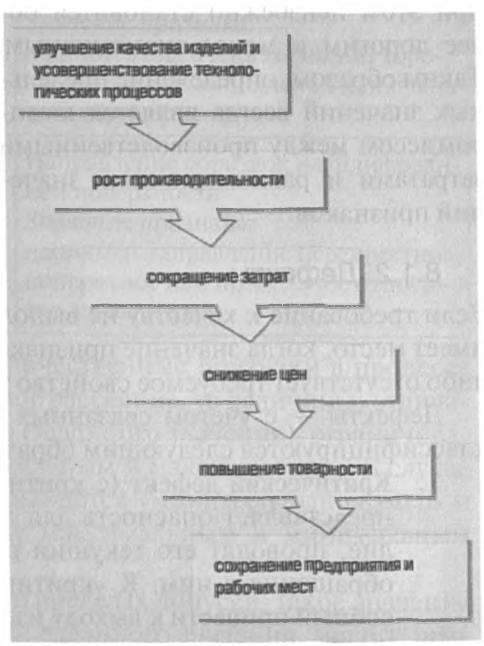


Рис. 745. Цепочка от улучшения качества до коммерческого успеха

зации производства, вызывают сокращение затрат, а, следовательно, и обеспечивают возможность снижения цен. В результате товарность продукции повышается, положение предприятия упрочняется, рабочие места сохраняются (рис. 745 и 746).

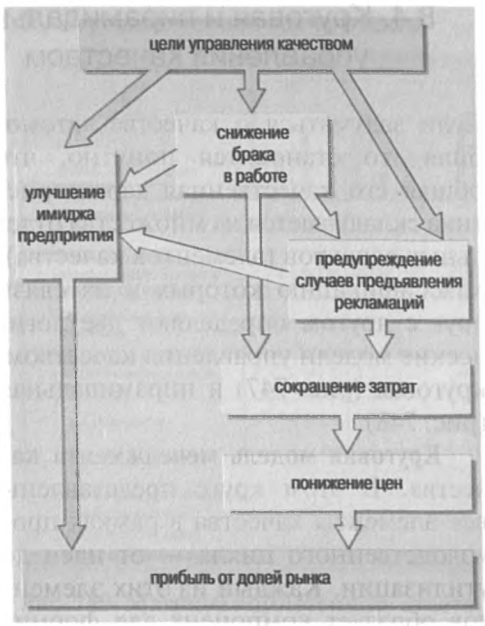


Рис. 746. Важнейшие цели управления качеством

8.3. Всеобщий менеджмент качества (TQM)

Последовательное улучшение качества по всем направлениям положено в основу TQM (от англ. Total Quality Management — всеобщий менеджмент качества).

Речь идет о таком способе управления организацией, при котором качество становится центром внимания и объектом управления при полном взаимодействии всех сотрудников, нацеленных на долгосрочный успех в деле максимального удовлетворения запросов потребителей — на пользу членов данной организации и всего общества (ДИН ИСО 8401).

Важнейшие компоненты метода TQM:

1. Ясность поставленной цели для руководства предприятия.
2. Ориентация всего предприятия на нужды потребителя, в том числе:
   – внимательное отношение к пожеланиям покупателей,
   – такт и дружелюбие при телефонных переговорах с заказчиками,
   – четкие и понятные инструкции по эксплуатации,
   – подробное и внимательное консультирование.
3. Внедрение программы «Ноль дефектов»:
   – система анализа и исключения брака в процессах проектирования, конструирования, производства и т.д.
4. Непрерывное улучшение измеряемых параметров:
   – измерение признаков качества вместо оценки по принципу «хорошо-плохо»,
   – анализ измеряемых величин (см. «Статистический контроль качества») и меры по совершенствованию технологий.
5. Вовлечение всех сотрудников предприятия в процесс улучшения качества.
6. Непрерывное обучение и повышение квалификации сотрудников.
7. Регулярный аудит:
   – периодические исследования мер повышения качества на предмет их эффективности.

8.4. Круговая и пирамидальная модели управления качеством

Если задуматься о качестве автомобиля, то становится понятно, что общая его качественная характеристика складывается из множества отдельных аспектов (элементов качества), классификацию которых и их связи друг с другом определяют две логические модели управления качеством: круговая (рис. 747) и пирамидальная (рис. 748).

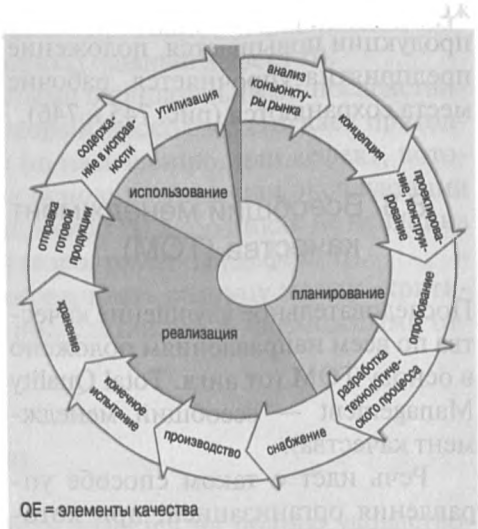


Рис. 747. Круговая модель управления качеством ДИН 55 350

Круговая модель менеджмента качества. В этом круге представлены все элементы качества в рамках производственного цикла — от идеи до утилизации. Каждый из этих элементов образует компонент для формирования общего качества продукции. Если, например, исследование конъюнктуры рынка приводит к плачевному результату или в рамках закупок приобретаются дешевые, но низкосортные комплектующие, качество продукции сразу падает. Следовательно, требование к качеству должно быть главной целью всех организационных структур предприятия.

Понятно, что благодаря постоянному совершенствованию выпускаемой продукции «круг качества» начинается снова и снова

Пирамидальная модель менеджмента качества. Общее качество установки складывается из показателей состояния ее отдельных узлов. В свою очередь, качество узлов зависит от значений признаков отдельных деталей и материалов, из которых они изготовлены. Можно идти и от обратного: при ожидании определенного стандарта качества установки ее узлы, детали и материалы должны отвечать совершенно определенным требованиям.

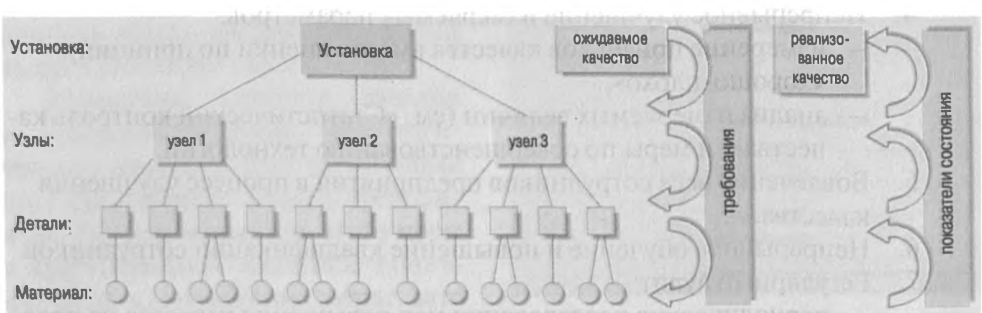


Рис. 748. Пирамидальная модель менеджмента качества

8.5. Структура и элементы системы управления качеством

Как видно из круговой модели управления качеством, множество отдельных элементов способствуют достижению требуемого качества продукции. Важнейшая задача предприятия заключается в целесообразном планировании и координации всех действий, так или иначе влияющих на уровень качества. Организация структуры управления качеством и организация временной и порядковой последовательности выполнения обуславливающих качество мер и действий на протяжении всего технологического цикла должна устанавливаться, обосновываться, реализовываться и контролироваться с максимально возможной точностью.

Элемент качества
Проект

Nr.	Деятельность, значимая для качества	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
1	Определение требований к проекту	M	V	M	M	M	M		M
2	Создание необходимых сопряжений с предшествующим и последующим участками	Z	M	M	M	M	M	M	V
3	Передача результатов разработок	I	V	M	I	I	I	I	M
4	Определение критериев контроля отдельных стадий разработок	Z	V	M	I	I	I	I	M
5	Принятие проекта	Z	V	M	I	I	I	I	M

V = ответственность за выполнение
M = требуется содействие
Z = требуется согласование
I = обязательное информирование

Рис. 749. Матрица компетенции-ответственности для сферы проектирования

8.5.1. Организация структуры системы управления качеством

Важнейшей целью организации структуры является разделение общей задачи предприятия на отдельные подзадачи, комбинируемые в разных отделах таким образом, чтобы достигалось целесообразное, основанное на разделении труда расчленение и упорядочение рабочего процесса.

Так как все подразделения предприятия ориентированы на принятие определенных мер по повышению качества, то очень важно в этой связи од-

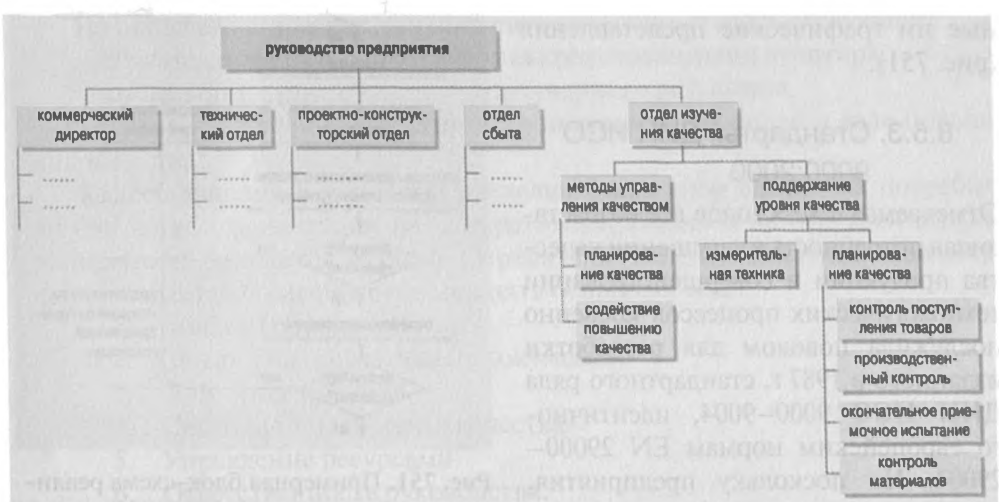


Рис. 750. Организация структуры среднего предприятия для сферы «изучения качества»

нозначно и недвусмысленно определить понятия компетентности и ответственности за совершаемые действия.

Представляется целесообразным поручать координацию и контроль принимаемых мер не отдельным производственным подразделениям, а конкретному отделу по изучению качества («качествоведения»), подчиненному напрямую руководству предприятия или главе фирмы. Это позволит избежать целевых конфликтов с производственными участками — например из-за остановки технологического процесса по качественным признакам или из-за требования возможного изменения конструкции.

Организация структуры документируется в органиграммах, описаниях операционных зон и матрицах компетенции и ответственности за выполняемые работы (рис. 749 и 750).

8.5.2. Составление планов и графиков

Меры, способствующие достижению требуемого уровня качества, разделены в большинстве случаев на множество отдельных шагов. Если организация структуры регулирует, прежде всего, уровни компетенции и ответственности, то в сфере временной и порядковой организации отдельные меры по улучшению качества в реально-логической последовательности разделяются обычно на уже существующие производственные процессы с принятием во внимание важнейших экономических аспектов. В качестве вспомогательного средства планирования и представления здесь предлагаются: блок-схемы последовательности операций, поэтапные планы или подобные им графические представления (рис. 751).

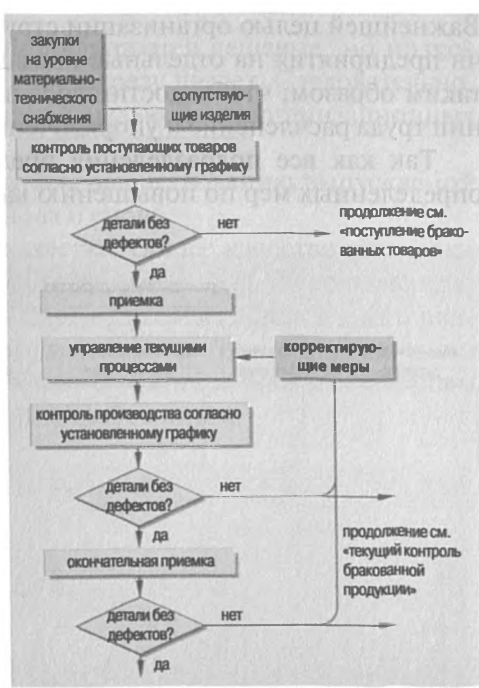


Рис. 751. Примерная блок-схема реализации элемента менеджмента качества «управление процессами производства и монтажа»

8.5.3. Стандарты ДИН ИСО 9000:2000

Отмечаемая с 80-х годов все возрастающая потребность в улучшении качества продукции и совершенствовании технологических процессов косвенно послужила поводом для разработки изданного в 1987 г. стандартного ряда ДИН ИСО 9000–9004, идентичного европейским нормам EN 29000–29004. Но поскольку предприятия, как известно, предлагают совершенно разный ассортимент товаров, производимых к тому же с применением

разных технологий, то при разработке данного стандарта пришлось придерживаться некоего общего уровня. Этот стандартный ряд можно рассматривать в качестве своеобразного руководства, призванного помочь создать систему управления качеством на предприятии по единому образцу. В 2000 г. указанный стандартный ряд был принципиально переработан и дополнен еще тремя следующими нормативными документами:

Рис. 752. Конструктивное содержание стандартов ДИН ИСО 9000:2000

- ДИН ИСО 9000:2000 Основы и понятия,
- ДИН ИСО 9001:2000 Требования,
- ДИН ИСО 9004:2000 Принципы повышения производительности.

Отличительные признаки новых стандартов:

- ориентация на конкретный процесс
- ориентация на потребителя
- классификация с учетом возможных поставщиков и субпоставщиков
- постоянное совершенствование
- меры предупредительного характера
- унифицированная норма для всех организаций
- ИСО 9004 как способ перехода к всеобщему менеджменту качества
- совместимость с мировыми стандартами менеджмента
- усиление внутреннего аудита.

При этом стандарт ДИН ИСО 9001 декларирован как сертифицируемая норма обязательных требований, а ДИН ИСО 9004 — как основная директива касательно управления качеством, способствующая интенсивному движению в направлении всеобщего менеджмента качества TQM (рис. 752).

Из прежнего стандарта менеджмента качества осталось следующее:

– обязательный ежегодный аудит аккредитованными аудитора,

– внутренний аудит с анализом полученного результата,

– определение уровня достижения поставленных целей в деле повышения качества.

Классификация и основные разделы. Здесь упор сделан на потребителя при четкой ориентации на конкретный процесс. В центре всей структуры процесса находится именно потребитель (клиент, заказчик). После трех вводных разделов рассматривается пять основных тем:

1. Области применения.
2. Ссылки на нормативные документы.
3. Принятые понятия.
4. Система менеджмента качества.
5. Управление ресурсами.
6. Ответственность руководства.
7. Реализация продукции.
8. Измерение, анализ и совершенствование.

Любая деятельность, вносящая свой вклад в конечный результат, рассматривается как «процесс» (рис. 753). При этом получаем модель организации, устанавливающей процессы между запросами потребителя и его удовлетворенностью (рис. 754 и 755).

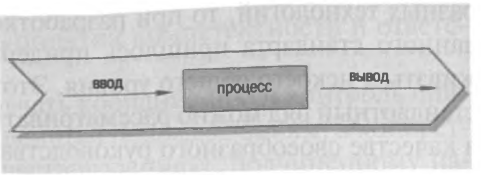


Рис. 753. Структура процесса

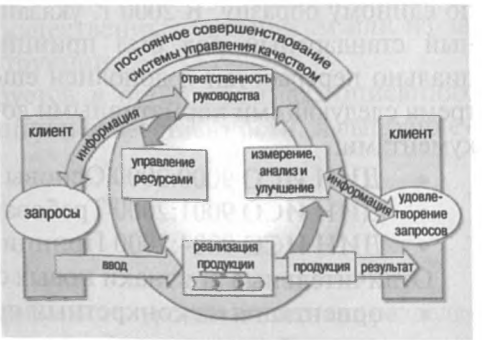


Рис. 754. Модель профессиональной системы управления качеством согласно ДИН ИСО 9001:2000

Справочник менеджмента качества

В указанном справочнике приводится описание общей системы управления качеством. Там устанавливается, в частности: кто, когда, как и каким образом обязан решать конкретные задачи и выполнять те или иные действия, направленные на повышение качества выпускаемой продукции. Это должно стать основным руководством к действию для всех сотрудников предприятия.

Справочником менеджмента качества нередко интересуются потенциальные покупатели, клиенты и заказчики, что вполне резонно, если учесть, что именно этот документ отражает реальный уровень управления качеством на данном предприятии.

Рис. 755. Процессы предприятия

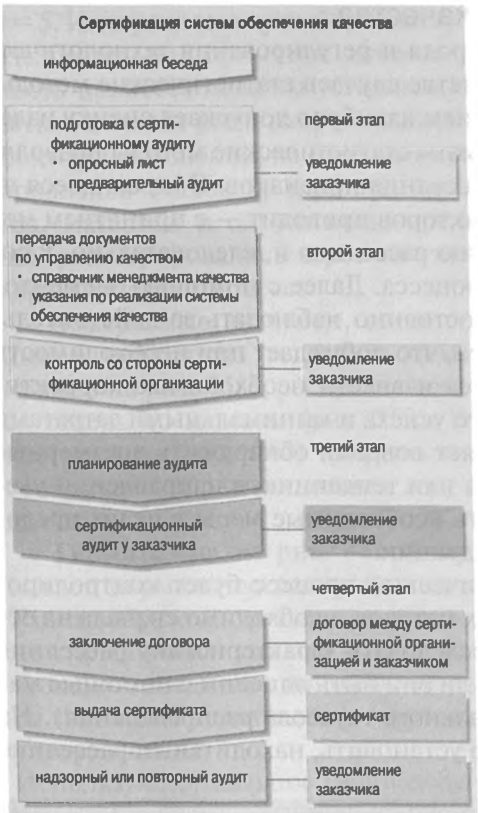


Рис. 756. Структура процесса сертификации

Рис. 757. Сертификат на систему обеспечения качества (образец)

8.5.4. Сертификация

Все чаще заказчики требуют подтверждения состояния полученных поставок на основе хорошо структурированной и надежно функционирующей системы обеспечения качества.

Если крупные предприятия, закупающие основные средства производства и материалы (например производители автомобилей), посредством аудита сами проверяют и оценивают качество и эффективность действующей у поставщика системы управления качеством, то прочим поставщикам приходится проверять и сертифицировать свои системы обеспечения качества в нейтральных инстанциях.

В ФРГ подобный внешний аудит осуществляется разными организациями (например DQS, DEKRA,TUV — Союз работников технического надзора и др.). Если система управления качеством по своим основополагающим пунктам отвечает требованиям, сформулированным в стандартах ДИН ИСО 9000-9004, то указанные инстанции вправе выдать соответствующему предприятию сертификат установленного образца. Рис. 756 демонстрирует порядок сертификации систем обеспечения качества, а на рис. 757 показан образец такого сертификата. Требования к сертификационным институтам установлены европейской нормой EN 45 012. Контроль и признание (аккредитация) организаций на право выдачи сертификатов осуществляется в Германии через TGA — главное общество аккредитации.

8.6. Статистический контроль качества

В современном производстве для контроля и регулирования технологических процессов применяются в большинстве случаев статистические методы. В то время как контроль с использованием калибров допускает оценку изделий лишь на уровне «хорошо» или «плохо», статистические методы позволяют сделать выводы о характеристике рассеяния признаков. Опирающееся на эти методы исследование влияющих факторов приводит — с принятием мер по улучшению качества — к уменьшению рассеяния и, следовательно, к совершенствованию технологического процесса. Далее с помощью элементов текущего контроля качества удается постоянно наблюдать за действительным и заданным состояниями процесса, что побуждает при необходимости своевременно вмешаться в ход процесса и внести необходимые коррективы — с большой вероятностью реального успеха и минимальными затратами на контрольные операции. Это позволяет вовремя обнаружить чрезмерные колебания производственного процесса или тенденцию в направлении увеличения выхода брака и срочно принять необходимые меры в целях предотвращения получения бракованной продукции.

Если предполагается, что технологический процесс будет контролироваться с использованием статистических методов, необходимо сначала на основе процедуры «анализа процесса» исследовать характеристику рассеяния значений признаков и проверить, могут ли они быть описаны с помощью математической модели (например нормального гауссова распределения). На основе показателей пригодности можно установить, находится ли рассеяние значений признаков в зоне, приемлемой с точки зрения требуемого допуска. Если рассеяние значений признаков процесса может быть достаточно подробно описано с помощью математической модели, а сам процесс вполне укладывается в границы поля допуска, то он может контролироваться и регулироваться с применением карточек текущего контроля качества.

8.6.1. Анализ процесса

Для получения максимально полного представления о характере рассеяния признаков, в самом начале процесса проводится его анализ с объемом выборки не менее 125 измеряемых параметров. Как правило, эти измеряемые значения получают в установленной периодичности с 25 выборками объемом

Признак:	Длина:			26 + 0,1 мм	
	Максимальное значение	26,00 мм			
	Минимальное значение	26,01 мм			
1	26,04	26,06	26,05	26,06	26,05
2	26,07	26,09	26,05	26,04	26,08
3	26,07	26,05	26,07	26,07	26,06
4	26,05	26,02	26,03	26,08	26,06
5	26,08	26,05	26,08	26,10	26,07
1	26,04	26,06	26,06	26,05	26,03
2	26,06	26,03	26,04	26,07	26,04
3	26,06	26,10	26,07	26,06	26,07
4	26,05	26,06	26,06	26,08	26,05
5	26,08	26,07	26,09	26,08	26,07
1	26,04	26,06	26,05	26,05	26,03
2	26,06	26,08	26,04	26,07	26,09
3	26,06	26,06	26,09	26,06	26,07
4	26,05	26,06	26,05	26,08	26,05
5	26,08	26,07	26,09	26,08	26,07
1	26,04	26,06	26,05	26,06	26,05
2	26,07	26,09	26,05	26,04	26,08
3	26,07	26,01	26,07	26,07	26,06
4	26,05	26,02	26,03	26,08	26,06
5	26,08	26,05	26,08	26,06	26,07
1	26,05	26,06	26,06	26,08	26,05
2	26,06	26,07	26,09	26,08	26,04
3	26,04	26,06	26,05	26,05	26,03
4	26,06	26,07	26,04	26,07	26,07
5	26,08	26,10	26,09	26,06	26,07

Объем выборки n:	125
Максимальное значение $X_{макс.}$:	26,10
Минимальное значение $X_{мин.}$:	26,01
Размах вариации R (широта распределения) = $X_{макс.} - X_{мин.}$:	0,09

Рис. 758. Первичная ведомость

$n = 5$. Интервал между выборками и, следовательно, принятая длительность процесса должны устанавливаться с таким расчетом, чтобы все факторы, влияющие на проявление признаков (человек, машина, метод, материал и окружающая среда), регистрировались через снятие характеристик процесса.

Измеряемые значения, внесенные в первичную ведомость (см. пример на рис. 758), распределяются теперь по классам (рис. 759). В гистограмме (рис. 760) графически отображаются распределения в отдельных классах

Гистограмма на рис. 771 показывает нормальное распределение. Таким образом, рассеяние значений признаков поддается математическому описанию с использованием функции нормального гауссова распределения.

Класс №	Диапазон класса от	до	Штриховая запись	Распределение по классам
1	25,995	26,005		0
2	26,005	26,015	I	1
3	26,015	26,025	II	2
4	26,025	26,035	IIIII	5
5	26,035	26,045	IIIIIIIIIII	12
6	26,045	26,055	IIIIIIIIIIIIIIIIIIII	20
7	26,055	26,065	IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII	32
8	26,065	26,075	IIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIIII	24
9	26,075	26,085	IIIIIIIIIIIIIIIIII	18
10	26,085	26,095	IIIIIIII	8
11	26,095	26,105	III	3
12	26,105	26,115		0

Рис. 759. Классифицированные измеряемые значения со штриховой записью

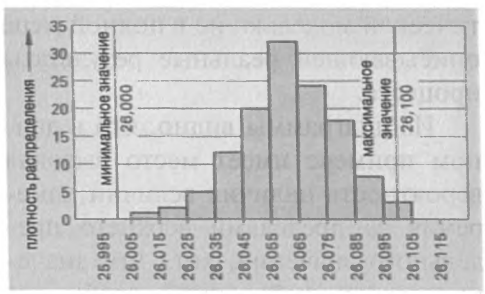


Рис. 760. Гистограмма

Используя нормальное распределение по Гауссу (Карл Фридрих Гаусс, математик и астроном, 1777-1855), удается определить характеристику распределения на основе двух параметров:

1. Среднего значения μ в качестве параметра для позиции распределения. Условное обозначение μ используется, когда указывается среднее значение генеральной совокупности. Если же приводится среднее значение выборки, то применяют знак $\bar{x}$ (*x*-quer);
2. Стандартного отклонения σ в качестве параметра рассеяния процесса. И здесь тоже σ используется только при генеральной совокупности, а в случае выборки применяется *s*.

Оба значения вычисляются по следующим формулам из отдельных величин измерения:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots x_n}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma\ (x_1 - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$x_i = x_1, x_2 \ldots x_n$ (отдельные значения признака).

На основе измеренных величин получаем следующие значения для $\bar{x}$ и *s*:

Среднее значение $\bar{x}$: 26,06192 мм

Стандартное отклонение *s*: 0,01754 мм

Рис. 761 показывает функцию нормального распределения по Гауссу с вычисленными параметрами $\bar{x}$ и s. Эта функция проходит от $-\infty$ до $+\infty$, а интересный для анализа процесса диапазон находится между $\bar{x}-3s$ и $\bar{x}+3s$: в нем располагается 99,73 % измеряемых значений, и в реальности можно предположить, что за пределами этой области едва ли появятся еще какие-то значения. Впрочем, не стоит и забывать о том, что теперь мы имеем дело с математической моделью, не в полной мере описывающей реальные результаты процесса.

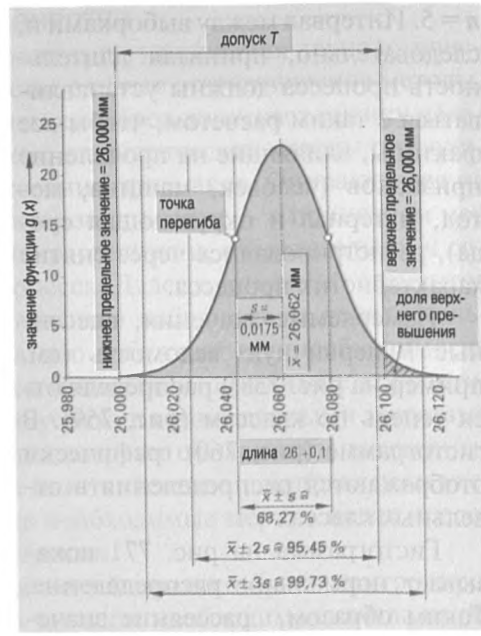


Рис. 761. Нормальное распределение, вычисленное на основе $\bar{x}$ и s

Из диаграммы видно, что в данном примере имеет место высокая вероятность наличия величин измерения за пределами верхнего предельного значения, хотя эти значения взятой выборочной пробы все без исключения располагаются в поле допуска. Следовательно, можно полагать, что в процессе производства проявят себя и параметры, выходящие за пределы поля допуска. Число таких значений называют «долей верхнего превышения». Ее легко определить в процентном выражении. Кроме того, данная диаграмма показывает, что среднее значение не находится в центре поля допуска. Эту ситуацию еще можно скорректировать путем прецизионной наладки станка. В любом случае, при сдвиге кривой распределения вниз следует принять во внимание возрастающую долю нижнего превышения. Понятно, что рассеяние значений признаков слишком велико для получения долей превышения, приближающихся к нулю. Следовательно, данный процесс со всеми его влияющими факторами не пригоден для формирования всех измеряемых параметров в пределах поля допуска.

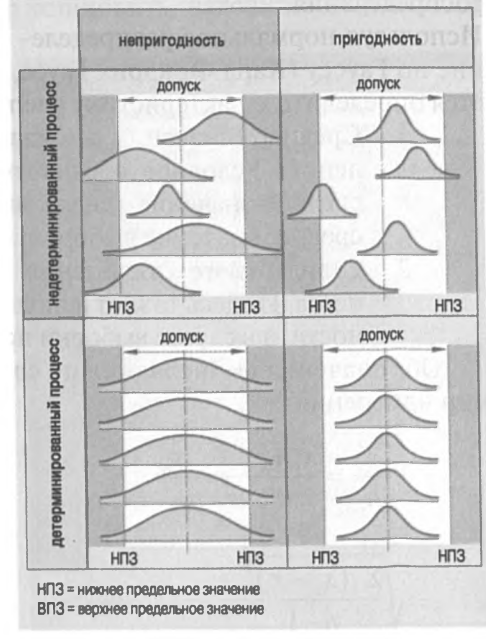


Рис. 762. Функциональная пригодность и детерминация процесса

Далее анализ процесса может показать, что выборки при средних значениях и при стандартных отклонениях сильно колеблются. Следовательно, ни о какой закономерности здесь говорить не приходится. Такие процессы называют недетерминированными (рис. 762).

8.6.2. Карточки текущего контроля качества

С помощью этих карточек осуществляется постоянный контроль параметров для распределения значений признаков. При этом регулярно, через определенные промежутки времени, производятся выборки данных процесса, анализируются и заносятся в карточку текущего контроля качества. На рис. 763 представлена структура такой карточки на примере карточки контроля средних значений.

Наряду со средним значением, с помощью карточки текущего контроля проверяется также показатель рассеяния. Это может быть стандартное отклонение ***s*** либо размах вариации ***R***. При этом размах вариации имеет то преимущество, что его очень легко вычислить через

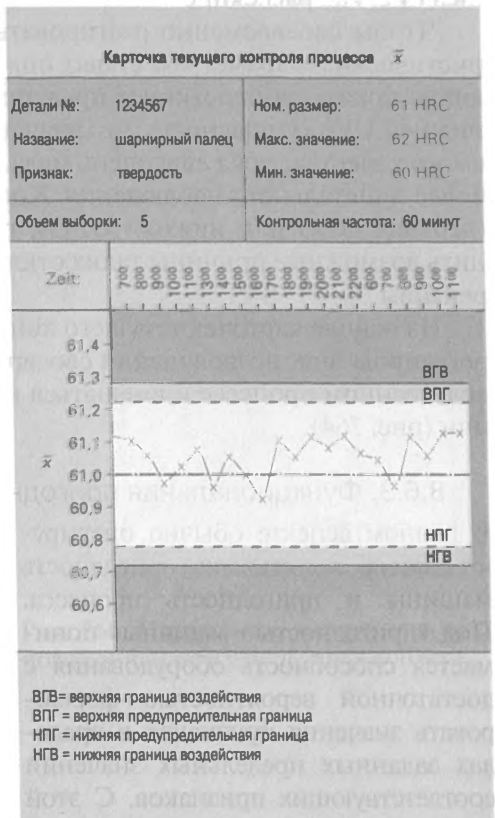


Рис. 763. Карточка текущего контроля средних значений ($\bar{x}$ -карта)

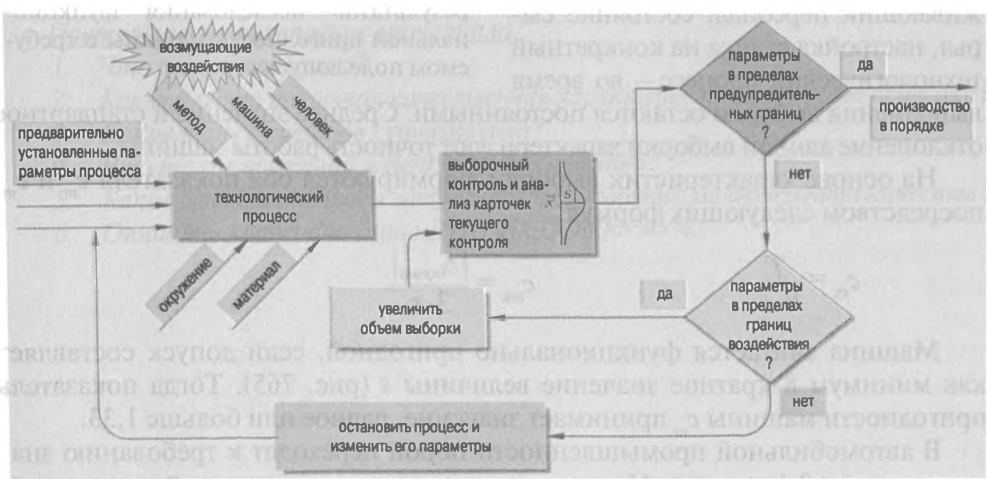


Рис. 764. Контур текущего контроля качества в производственном процессе

разность максимального $x_{макс.}$ и минимального $x_{мин.}$ измеряемых значений. Кроме того, на основе этого параметра вообще проще представить себе такое явление, как рассеяние.

Чтобы своевременно реагировать на изменения процесса, его характеристическим параметрам ставят определенные границы. Если соответствующие показатели достигают предупредительных границ (верхней OWG или нижней UWG), опасность, что значение признака выйдет за пределы ожидаемого качества, пока еще очень мала. Но эта ситуация требует в дальнейшем более пристального наблюдения. Когда же достигается граница воздействия (верхняя OEG или нижняя UEG), процесс необходимо остановить, выяснить возможные причины таких отклонений и внести соответствующие коррективы.

На основе карточек текущего контроля создается, таким образом, контур регулирования, позволяющий своевременно распознать изменения в производственном процессе и вмешаться в него до наступления фатальной ситуации (рис. 764).

8.6.3. Функциональная пригодность машин и процессов

В данном аспекте обычно оперируют двумя понятиями: пригодность машины и пригодность процесса. Под «пригодностью машины» понимается способность оборудования с достаточной вероятностью формировать значения признаков в пределах заданных предельных значений соответствующих признаков. С этой целью производится текущая выборка в объеме $n \geq 50$. Все влияющие факторы, как то: средства контроля, обслуживающий персонал, состояние сырья, настройка станка на конкретный технологический процесс – во время выполнения выборки остаются постоянными. Среднее значение и стандартное отклонение данной выборки характеризуют точность работы машины.

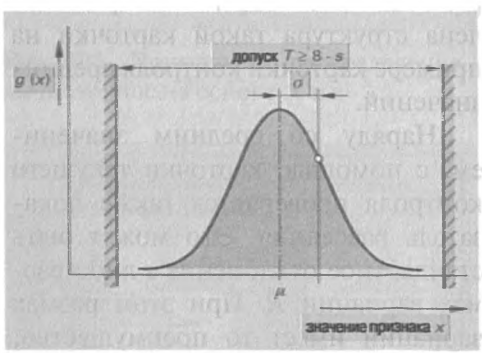


Рис. 765. Нормальное распределение результатов исследования функциональной пригодности машины в требуемом поле допуска

На основе характеристик выборки формируются оба показателя c_m и c_{mk} посредством следующих формул:

$$c_m = \frac{T}{6 \cdot s} \qquad c_{mk} = \frac{|\Delta_{крит}|}{3 \cdot s}$$

Машина считается функционально пригодной, если допуск составляет как минимум 8-кратное значение величины s (рис. 765). Тогда показатель пригодности машины c_m принимает значение, равное или больше 1,33.

В автомобильной промышленности порой переходят к требованию значения для $s \leq 0{,}1$ допуска. И тогда машина считается пригодной, если значение c_m равно или больше 1,67.

Поскольку значение c_m ничего не говорит о положении распределения в пределах допуска, то на основе приведенной выше формулы создают (с минимальным расстоянием среднего значения относительно границы допуска) значение c_{mk}. Если этот показатель ≥ 1,33, значит, данную машину можно считать функционально пригодной (рис. 766).

Что же касается «пригодности процесса», то здесь идентичным образом изучается производство со всеми воздействующими на него параметрами: это может быть обслуживающий персонал, используемое сырье, окружающая среда и проч. Основу для определения параметров распределения составляют при этом минимум 25 регулярно производимых выборок с объемом не менее 5 (см. здесь также пример из п.7.4.1).

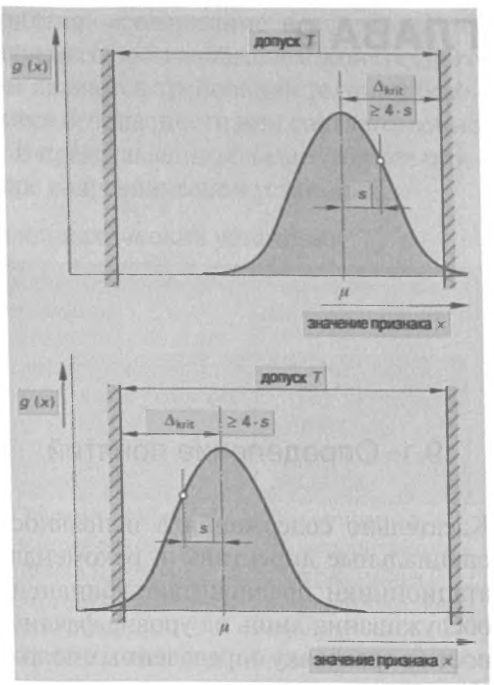


Рис. 766. Нормальное распределение с положением не в центре поля допуска

На основе оценочных параметров стандартного отклонения и полученного среднего значения формируются показатели пригодности процесса c_p и c_{pk}:

$$c_p = \frac{T}{6 \cdot s} \qquad c_{pk} = \frac{|\Delta_{крит}|}{3 \cdot s}$$

Повторение и закрепление материала

1. *Что такое качество?*
2. *Как выглядит типичная качественная характеристика значения признака?*
3. *Какие виды дефектов существуют?*
4. *Что такое всеобщий менеджмент качества?*
5. *Какие основные вопросы затрагивает справочник менеджмента качества?*
6. *Опишите классификацию ДИН ИСО 9000-9004.*

ГЛАВА 9

СОДЕРЖАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ИСПРАВНОСТИ

9.1. Определение понятий

Касательно содержания в исправности машин и оборудования существуют специальные директивы и рекомендации, но, как показывает опыт, эксплуатационники предпочитают финансировать эту важную сферу технического обслуживания лишь на уровне фактической необходимости. Для внесения ясности в трактовку определенных положений и аспектов в стандарте ДИН 31 051 «Уход и содержание в исправности — понятия и меры» были точно описаны некоторые термины, часто не имеющие ясных и однозначных определений в словоупотреблении. Утверждается при этом, что предпосылкой «содержания в исправности» должна стать не только осуществляемая вручную деятельность, но и заведомо высокая функциональная способность системы. В ДИН 31 051 понятие «содержания в исправности» определено следующим образом:

«Содержание в исправности — это меры по сохранению и восстановлению заданного состояния, а также контроль и оценка действительного состояния технических средств системы».

Указанные меры включают в себя, в частности, техническое обслуживание и уход, профилактику и приведение в исправное состояние. Они предусматривают также согласование целей содержания в исправности с общими задачами предприятия и выработку соответствующей стратегии в отношении поддержания оборудования в исправном состоянии (рис. 767).

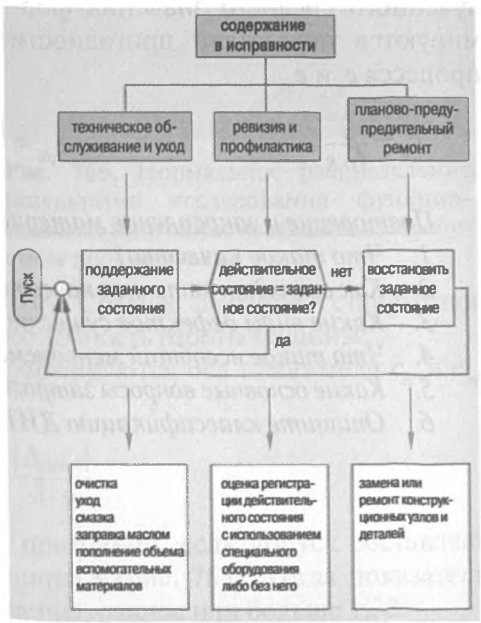


Рис. 767. Задачи и последовательность операций по содержанию оборудования в исправности

В зависимости от структуры предприятия, «содержание в исправности» реализуется с учетом данных, предоставляемых производителем конкретного изделия. Важнейшим критерием при этом являются требования техники безопасности (например UVV — правила техники безопасности или соответственно TüV — предписания органов технадзора). В представленной далее таблице приведение в исправность показано на примере гидравлической установки.

Таблица 73. Содержание в исправности гидравлических установок

Род предприятия	**Крупные предприятия, например:** • автозаводы • электростанции • большие химкомбинаты	**Средние предприятия, например:** • машиностроительные заводы • мебельные фабрики	**Малые предприятия, например:** • строительные организации • транспортные предприятия • складское хозяйство
Формы организации сферы содержания оборудования в исправности на данном предприятии	• За содержание оборудования в исправности лично отвечает назначенный инженер или специальное отделение • Действуют собственные предписания по содержанию в исправности, разработанные на самом предприятии	• Обычно ограничиваются рекомендациями изготовителя системы, установки или элемента • Организацией контроля занимается, как правило, руководство предприятия	Предписаний по регулярному содержанию в исправности, как правило, не существует. Соответствующие меры принимаются в случае сбоев в работе или выхода из строя оборудования.
Содержание в исправности собственными силами предприятия	Все работы, связанные с содержанием оборудования в исправности, выполняются, как правило, специалистами самого предприятия. Возможные исключения: • в гарантийный период • при проведении капитального ремонта. Персонал регулярно обучается на курсах повышения квалификации.	• Выполняются определенные основные работы (например замена фильтров и смена масла) согласно установленному графику • Устранение неисправностей, по возможности, осуществляется собственными силами	• Рекомендации изготовителя учитываются лишь условно, в большинстве случаев только при обнаружении неполадок • Общий технический персонал выполняет работы собственными силами
Содержание в исправности с привлечением специалистов фирмы-производителя установки или системы	Это практикуется обычно только в гарантийный срок.	• В гарантийный срок • При невозможности приведения в исправное состояние собственными силами	• В гарантийный срок • При невозможности проведения ремонтных работ своими силами

Цели профилактики оборудования

Как и любая рабочая система, меры по уходу и техническому обслуживанию (содержанию в исправности) имеет как экономические, так гуманитарные, «общечеловеческие» цели (см. табл. 74). Так, экономическая цель состоит в обеспечении работоспособности технической установки и соответственно в возможности ее полноценного использования.

Таблица 74.

Цели профилактики оборудования

- **Экономические цели**
  - высокая готовность к эксплуатации
  - исключение сбоев в работе
  - предотвращение простоев
  - продление срока службы
  - раннее распознавание мелких неполадок во избежание возможного последующего ущерба
  - обнаружение и устранение слабых мест
- **Гуманитарные и экологические цели**
  - предотвращение несчастных случаев на производстве
  - повышение надежности работы
  - экологическая безопасность
  - соблюдение действующих предписаний и регламентаций

Задачей менеджмента в данном случае является выяснение следующих 7 вопросов, особенно важных с точки зрения содержания оборудования в исправности:

1. Формулирование целей,
2. Четкое ограничение круга задач (с соблюдением норм и законов),
3. Внедрение системы содержания в исправности в структуру предприятия,
4. Расчет обоснованных затрат,
5. Выбор варианта - текущий ремонт собственными силами или размещение заказов на стороне,
6. Рациональная организация сферы содержания в исправности,
7. Определение требуемого числа сотрудников.

Достижение поставленных целей является предпосылкой экономичной работы, поддержания качества продукции на высоком уровне и ее своевременных поставок.

Стратегия содержания оборудования в исправности

С ростом потребности в услугах ремонтно-восстановительной службы все больше расширялась сеть ремонтных мастерских, укомплектованных квалифицированными специалистами. Но подобная система требует для своего четкого функционирования достаточно высоких затрат на организацию и согласования разного рода. Наряду с такой централизованной организационной

структурой возникли и децентрализованные структуры для проведения текущего ремонта с максимальным приближением к производству. Часто сфера содержания оборудования в исправности напрямую встраивается в производственный процесс (рис. 768). Тогда специально организованная ремонтная бригада берет на себя все работы, необходимые для поддержания оборудования в исправном состоянии.

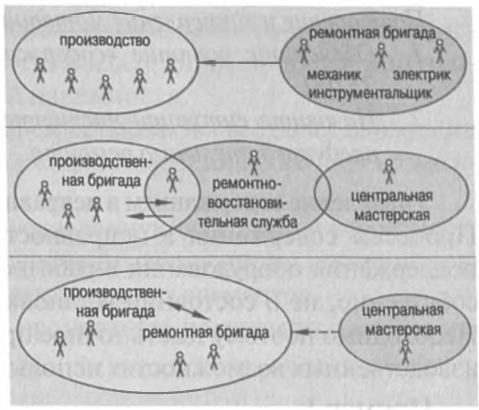


Рис. 768. Организация ремонтно-восстановительной службы на предприятии

На вопрос о том, в какой момент и с какой периодичностью должны проводиться мероприятия по профилактике оборудования, могут быть даны разные ответы. Если раньше выполнялся в основном планово-предупредительный ремонт, то сегодня это случается гораздо реже. Предприятия предпочитают приступать к ремонтно-восстановительным работам только в случае внезапных сбоев в работе или серьезных неполадок, то есть действовать, так сказать, «в пожарном порядке», рискуя не только благополучием предприятия, но иногда и здоровьем обслуживающего персонала. А это, безусловно, влечет за собой неоправданные расходы. Таблица 73 приводит сравнительную характеристику разных стратегий содержания в исправности.

Таблица 75. Стратегические варианты содержания оборудования в исправности

Стратегия	Преимущества	Недостатки
Профилактический ремонт основных средств (плановопредупредительный)	– высокая надежность оборудования, – замедление износа, – плановое использование запчастей, – регулярность проводимых мероприятий	– вероятность неполной выработки ресурса узлов и деталей, – высокие затраты на ремонт и содержание в исправности, – высокие затраты на планирование
Предупредительный ремонт в зависимости от состояния оборудования	– высокая готовность точно в срок, –использованиеконструкционных деталей на протяжении всего их жизненного цикла, – плановость проводимых мероприятий	– потребность в дополнительных контролерах, – повышенные затраты на планирование
Ремонт, вызванный отказом оборудования	– полный срок службы конструкционных деталей, равный их жизненному циклу, – минимальное планирование, – минимум обслуживающего персонала	– высокий риск отказа оборудования, – иногда высокие аварийные расходы и большие затраты на возмещение ущерба, – отсутствие плановости

Повторение и закрепление материала

1. *Объясните понятие «содержания в исправности» согласно норме ДИН 31 051.*
2. *Назовите ситуации настоятельной необходимости проведения планово-предупредительного ремонта.*

Управление содержанием в исправности

Процессы содержания в исправности предназначены преимущественно для поддержания оборудования в работоспособном состоянии. То есть речь идет, собственно, не о состоянии установки как таковом, а именно о ее функциях. Необходимо поэтому иметь точное представление о принципе действия и производственных возможностях используемого оборудования.

Пример 1

Допустим, насос обладает номинальной производительностью 400 л/мин (рис. 769). Он качает воду в бак, из которого забирается не более 300 л/мин. В этом случае первичной функцией насоса является подача воды в бак в объеме не менее 300 л/мин.

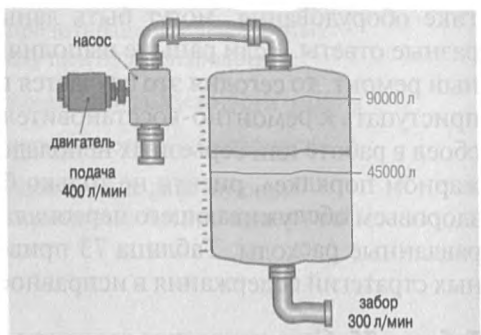


Рис. 769. Заправочная система

Таким образом, программа содержания в исправности должна заботиться о том, чтобы производительность насоса не падала ниже указанной величины. То есть совсем не обязательно, чтобы насос подавал именно 400 л/мин. Если насос, возможно, будет работать с другим баком, то придется изменить относящуюся к нему программу содержания в исправности.

Если потребуется, например замена подшипников качения, продолжающаяся около 4 часов, можно, прежде чем приступить к этой операции, заполнить бак до такого уровня, чтобы воды хватило на указанный период времени. В качестве профилактической меры вполне достаточно контроля за спокойным ходом работы насоса путем измерения возможной вибрации специальным прибором. Анализ имеющих место сбоев в работе и неисправностей должен стать основанием для изменения стратегии содержания оборудования в исправности.

Пример 2

Выход из строя насоса А может стать причиной остановки всего производства, так что здесь необходимы меры профилактического характера (см. табл. 76). При неисправности насоса В

Таблица 76.

Автономный рабочий насос	Рабочий насос	Резервный насос
Неисправность способна привести к остановке всего производства	При выходе из строя переключиться на насос С	Все в порядке, пока работает насос В
Неисправность следует предвидеть или предупредить	Работает до наступления неисправности	Постоянный контроль работоспособности

можно немедленно переключиться на насос С и использовать его, пока неисправность не будет устранена. Понятно, что насос С должен постоянно проверяться на предмет его функциональной надежности.

Технические устройства в настоящее время становятся все более сложными во всех отношениях. Это послужило поводом для изменения образцов возможных неисправностей оборудования.

Кривые на рис. 770 демонстрируют обусловленную состоянием вероятность неисправности, указанную относительно времени эксплуатации применительно к широкому спектру механических и электрических элементов.

Особый интерес представляют здесь процентные показатсли частоты наступления того или иного сбоя:

A:	Здесь представлена известная «кривая в виде ванны»: отмечается много сбоев в начале и в конце. Но такое поведение имеет место лишь в 4 % случаев.
B:	Классический вариант: рост числа неисправностей по мере старения.
C:	Почти постоянная, но постепенно нарастающая характеристика сбоев.
D:	В начале — высокая надежность, а затем устойчивый рост частоты поломок.
E:	Постоянная надежность.
F:	Частота поломок с течением времени сокращается (68 % всех случаев).

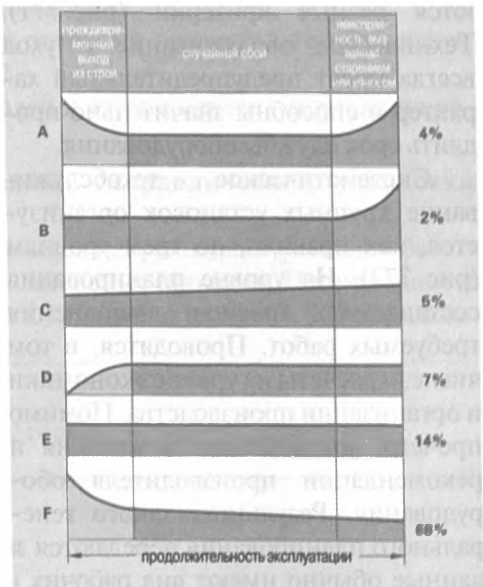


Рис. 770. Примеры характеристик выхода оборудования из строя в результате повреждения или поломки

9.2. Уход и техническое обслуживание

Под «техническим обслуживанием» понимается весь комплекс мер, направленных на поддержание заданного состояния на протяжении всего срока эксплуатации системы. Правильно выполняемое техническое обслуживание и своевременный уход являются залогом безотказной работы с неизменно хорошим производственным результатом.

Сфера обслуживания технической установки включает в себя следующее:

– составление графика межремонтного обслуживания с учетом специальных нужд предприятия и потребностей в уходе применительно к конкретной установке,

– подготовка необходимых мероприятий по техобслуживанию,
– проведение этих мероприятий и
– подтверждение исполнения запланированных работ.

Техническое обслуживание проводится регулярно либо в зависимости от текущего состояния установки, и при составлении графика техобслуживания во внимание принимаются разные критерии (рис. 771). Техническое обслуживание и уход всегда носят предупредительный характер и способны значительно продлить срок службы оборудования.

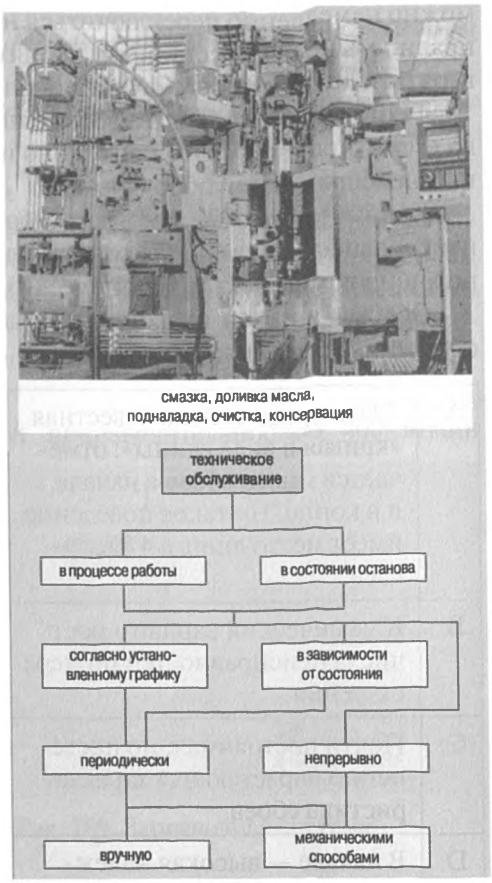


Рис. 771. Техническое обслуживание

Систематическое техобслуживание крупных установок организуется, как правило, по трем уровням (рис. 772). На уровне планирования составляются графики выполнения требуемых работ. Проводятся, в том числе, и расчеты на уровне экономики и организации производства. Помимо прочего, учитываются пожелания и рекомендации производителя оборудования. Результаты такого генерального планирования передаются затем на уровень управления. Переданные данные обычно имеют вид рабочих инструкций и представлены в табличной форме. Отсюда работник или рабочая бригада получают задания на проведение тех или иных операций по уходу и техобслуживанию. После завершения всех необходимых работ на уровне исполнения составляется соответствующий акт,

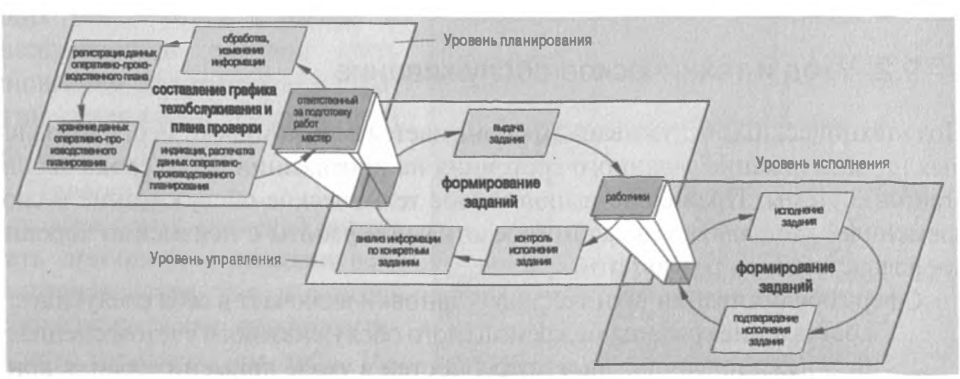


Рис. 772. Уровневая структура сферы технического обслуживания

который имеет особое значение с точки зрения безопасной эксплуатации оборудования.

Для последовательного технического обслуживания чрезвычайно важно с максимальной точностью соблюдать существующие рабочие инструкции. Большую роль здесь играют аспекты времени и связанные с этим следующие вопросы:

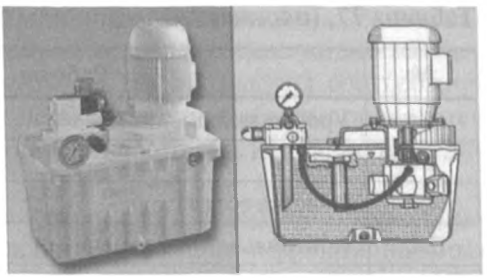


Рис. 773. Гидравлическая установка

- До какого момента можно считать установку или отдельные ее элементы абсолютно работоспособными?
  Когда необходима плановая остановка системы?
  Какую периодичность проведения операций по уходу и техобслуживанию можно считать оптимальной?
  Каковы возможности замены деталей и узлов в случае наступления непредвиденных событий?

Пример 1: техническое обслуживание гидравлической установки по рис. 773.

Регулярное техническое обслуживание является непреложным условием безотказной продолжительной работы без нежелательных простоев. Периодичность выполнения операций по уходу зависит от класса эксплуатации оборудования.

Класс эксплуатации А
(периодическое использование): каждые 2 года

Класс эксплуатации В
(регулярное использование): ежегодно

Класс эксплуатации С
(непрерывное использование): не реже, чем через 5000 рабочих часов

Ведомость техобслуживания гидравлического агрегата (см. табл. 77) представлена в упрощенном виде; к ней еще должен быть приложен акт приемки оборудования после исполнения всех запланированных работ.

Таблица 77. Ведомость технического обслуживания

№	Работы	Результат
1.0	Действительное состояние	
1.1	Внешнее состояние	хорошее
1.2	Шумы	96 дБ(А)
1.3	Давление	130 бар

Таблица 77. (окончание)

№	Работы		Результат
1.4	Уровни заполнения		в порядке
2.0	Работы		
2.1	Очистка всех узлов		выполнено
2.2	Контроль масла / замена		замена
2.3	Контроль состояния масляного фильтра / замена		проверено
2.4	Контроль состояния воздушного фильтра / замена		проверено
3.0	Новый ввод в эксплуатацию		
3.1	Утечка масла		незначительная
3.2	Давление по контрольному манометру		130 бар
Машина № 4711/03		Дата 1.7.2003	Исполнитель: Майер Подпись: *Майер*

Пример 2: техническое обслуживание пневматической распределительной станции.

При генерации сжатого воздуха выделяется конденсационная вода (рис. 774), которую приходится удалять в несколько ступеней. С этой целью за компрессором следует конденсатоотводчик. Из ресивера сжатого воздуха необходимо регулярно спускать конденсат. Трубопроводная сеть проложена с перепадом, и в самом ее низком месте также находится водоспускной клапан. Прежде чем воздух попадет к потребителю, он проводится через пневматический блок, состоящий из фильтра-влагоотделителя. Последний подлежит регулярной очистке. Давление можно регулировать. В конце воздух насыщается маслом с целью смазки последующего оборудования. Здесь надо проверять уровень масла и при необходимости доливать масло подходящего сорта.

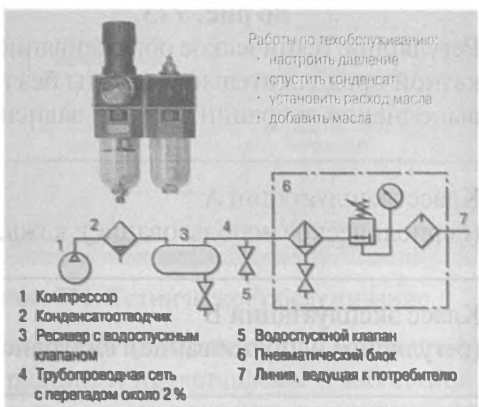


Рис. 774. Техническое обслуживание пневматических установок

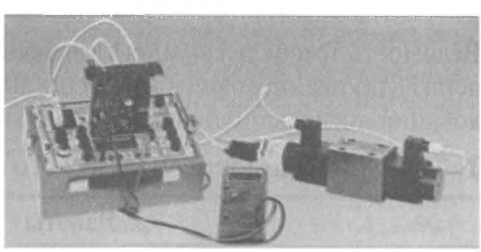


Рис. 775. Устройство для технического обслуживания клапана пропорционального регулирования

Пример 3

Для ухода за клапаном пропорционального регулирования (рис. 775) требуется соответствующее испытательное устройство. Должны быть проверены напряжения и токи и установлены предельные значения.

Пример 4: Уход за металлообрабатывающими станками.
Направляющие, системы охлаждения смазки и гидравлические установки требуют регулярного технического обслуживания. Для проведения соответствующих операций по уходу в руководствах по эксплуатации обычно приводятся специальные графики, для облегчения понимания которых используются единые уловные обозначения (см. табл. 78).

Периодичность указывается в часах и отображается с помощью символа часов. Номера позиций в целях большего удобства приведены в функциональных схемах. Для описания того или иного действия также установлены специальные условные обозначения.

Таблица 78. Признаки качества

Время (часов)	Поз.	Место вмешательства	Выполняемая операция	Условное обозначение
50	(1)	Емкость с охлаждающей смазкой	Проверить уровень наполнения, долить до максимальной отметки	
250	(1)	Емкость с охлаждающей смазкой	При необходимости опорожнить, прочистить, заполнить заново (250 л)	
	(2)	Гидравлический агрегат	Проверить уровень наполнения, долить	
	(3)	Лубрикатор, смазка через масляный зазор	Проверить уровень наполнения, долить в объеме примерно 2,7 л	
500	(5)	Центральная система смазки	Проверить уровень наполнения, долить (1,8 л)	
2000	(6)	Охлаждающая установка (опция)	Опорожнить, прочистить, заполнить заново (около 15 л)	
4000	(2)	Гидравлический агрегат	Опорожнить, прочистить, заполнить заново (около 2,5 л). Промыть сетку	

Дистанционная диагностика и дистанционное обслуживание
Нередко машины и установки эксплуатируются в местах, далеких от места их производства. При такой ситуации в случае неожиданной аварии или т. п. можно воспользоваться сервисными экспресс-услугами. Существует множество

возможностей обслуживания систем ЧПУ с помощью ВМ или систем программного управления от ЗУ (SPS) по принципу дистанционной диагностики. Такие системы управления посредством промышленного модема соединяются с городской телефонной сетью.

Нередко между ними включается еще и линия радиосвязи (рис. 776). Оборудование для дистанционного обслуживания вполне пригодно также для отправки сообщений SMS (Short Message Service). На основе программного обеспечения для целей проектирования ведется управление абонентскими номерами и параметрами соединения (рис. 777). Центр дистанционного обслуживания может далее отправлять SMS провайдеру, который перешлет их дальше по факсу или электронной почте. Программы SPS могут наблюдаться и изменяться. Предлагаются все функции стандартных программ для программирования — так, как если бы существовало прямое соединение с SPS через кабель. Понятно, что сервисное обслуживание позволяет существенно сократить затраты на переезды и оплату работы персонала.

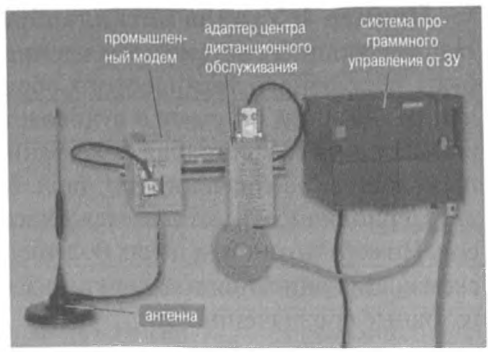


Рис. 776. Техническая реализация дистанционного обслуживания

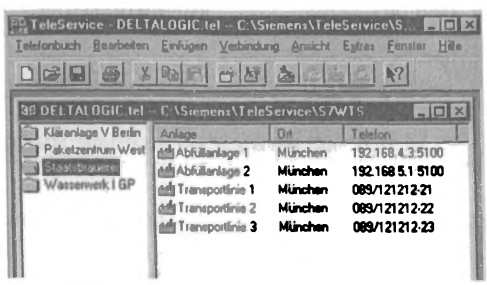


Рис. 777. Отображенное на экране программное обеспечение для проектирования

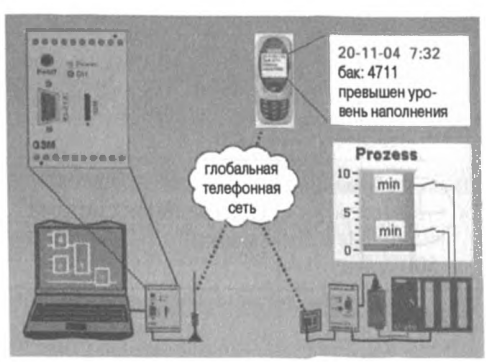


Рис. 778. Структура системы дистанционного обслуживания

Защита от несанкционированного доступа

Определенные меры безопасности могут обеспечить защиту от несанкционированного доступа к производственной установке. Может быть предложена многоступенчатая концепция. В дополнение к защите с помощью пароля как первой ступени возможна функция “Call-Back”: когда установка активирована, она запрашивает определенный номер.

Другие возможности создаются на основе дальней связи:

- с ПК передаются необходимые данные, например параметры, на удаленную установку;
  установка посылает сообщение о состоянии, характеристики процесса на удаленный ПК;

при связи между двумя установками осуществляется сравнение их технологических параметров с последующим согласованием относительно друг друга.

Важнейшим соединительным блоком является промышленный модем, размещенный на стороне системы управления и на стороне ПК (рис. 778). Эти модемы обладают большим диапазоном входного напряжения от 10 до 80 В постоянного тока, а также последовательным соединением. Все устройства управляются на основе расширенного набора команд AT. Встроенная программа контроля постоянно контролирует функцию модема и при необходимости обеспечивается перезапуск устройства. В случае сбоя в работе установки эти устройства автоматически выдают аварийный сигнал и посылают соответствующее сообщение в виде SMS либо через электронную почту. Для этого достаточно соединить цифровой выход системы управления с входом аварийного сигнала модема. С помощью программного обеспечения для проектирования (рис. 779) позиции загрузки снабжаются соответствующим текстом. Промышленные модемы рассчитаны на разные способы соединения, например на аналоговую телефонную сеть или на ISDN (интегральная цифровая сеть связи), или на Ethernet, или на радиосвязь (RF433).

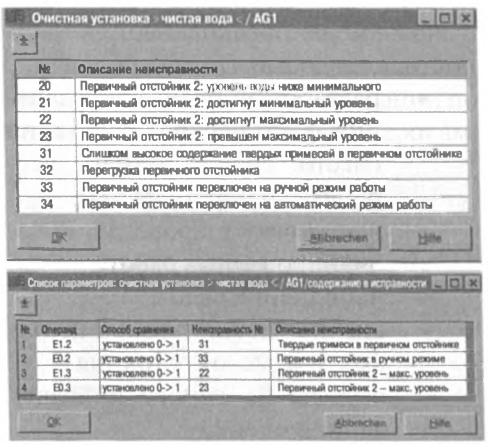


Рис. 779. Программное обеспечение для проектирования

Упражнение:

Два персональных компьютера соединяются с Ethernet и снабжаются адресами IP. С помощью программного обеспечения для программирования LabVIEW генерируются случайные числа. Если число больше 0.5, должна вспыхивать

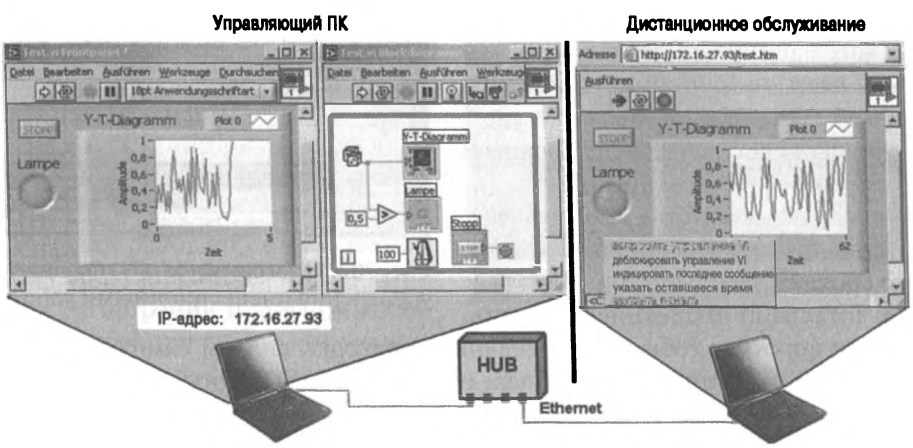


Рис. 780. Пример дистанционного обслуживания через Интернет

лампочка. Тогда формируется файл HTML, и программа деблокируется в виде Веб-сервера. На другом ПК посредством браузера запрашивается файл HTML первого ПК. Появляется операционная среда пользователя программы, и теперь весь контроль можно осуществлять на первом ПК — точно так же, как если бы он находился перед вами.

9.3. Инспекционный контроль

Под «инспекцией» понимаются меры по определению действительного состояния технических средств системы.

Эти меры предполагают, в частности, следующее:

- разработку плана определения фактического состояния (место, сроки, методы, устройства и мероприятия),
  подготовку к проведению запланированных работ,
  исполнение работ,
  анализ результатов оценки фактического состояния,
  выводы на основе произведенной оценки.

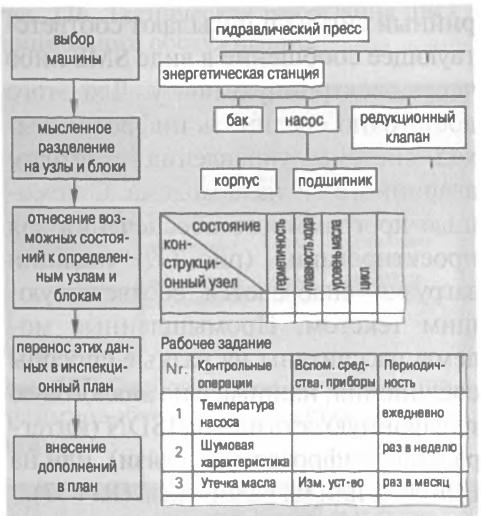


Рис. 781. Составление инспекционного плана

Касательно составления указанных планов разработаны специальные регламентации, помогающие прийти к определенной систематике (рис. 781): наряду с опытом, накопленным на собственном предприятии, для этой цели привлекаются и рекомендации производителей соответствующих машин и оборудования. Для практической реализации и документального обоснования заводятся картотеки либо используется подходящее программное обеспечение (рис. 782). Это позволяет собирать статистические данные о машине на протяжении всего срока ее эксплуатации. Наряду с такой тотальной инспекцией практикуются и короткие (обычно ежедневные) проверки силами самих работников. Их рекомендуется проводить в начале смены и по ходу работы машины в рамках длительного процесса. Инструментарий для такого рода инспекции ограничивается преимущественно органами чувств обслуживающего персонала и осуществляется по принципу: «видеть», «слышать» и «ощущать» (см. табл. 79).

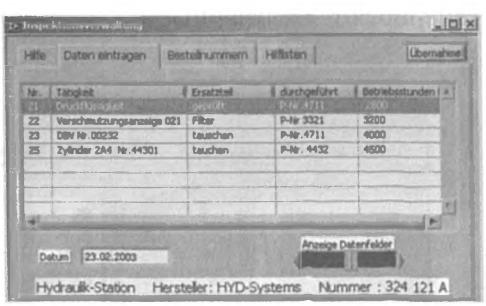


Рис. 782. Программное обеспечение для управления инспекционными работами

Таблица 79. Возможные способы проведения инспекционного контроля

Способ	Вид дефекта
«слышать»	Шумы от работы двигателя, подшипников, шпинделей, от катания зубчатых колес; кавитация у гидравлических установок; необычные звуки колебаний.
«видеть»	Уровни жидкостей, индикации всех видов (давления, температуры), трещины на деталях, состояние ремней, уровень загрязнения, повреждения электропроводки, утечки под машиной, борозды в направляющих.
«чувствовать»	Колебания деталей станков, например при повреждении подшипников; температура, кавитация в гидравлических системах.

Регулярные инспекции, конечно, стоят денег. Затраты связаны не только с собственно инспекционными работами, но и с возможными производственными потерями, которые, впрочем, могут быть минимизированы. Операции по текущему ремонту не стоит жестко привязывать к четко установленным срокам, а лучше действовать динамично — в зависимости от возраста оборудования и степени его загрузки. При этом следует ориентироваться преимущественно на состояние установки («инспекция, ориентированная на состояние»). Характеристические кривые на рис. 783 показывают, что инспекция и соответственно меры по содержанию в исправности, ориентированные на установленные сроки, лишь случайно могут совпасть с истинно оптимальным моментом их проведения.

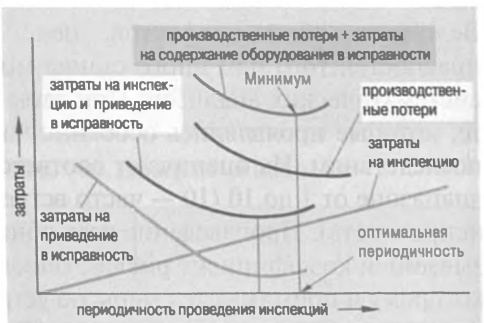


Рис. 783. Затраты на проведение инспекционного контроля

Контроль машин, ориентированный на состояние

Поломка подшипников, например нередко приводит к выходу машины из строя и неожиданной остановке всего производства. Однако возможные неисправности могут быть обнаружены уже на ранней стадии (рис. 784), если взять на вооружение регулярную диагностику оборудования. С этой целью рекомендуется составлять долгосрочные графики работ по уходу и техническому обслуживанию.

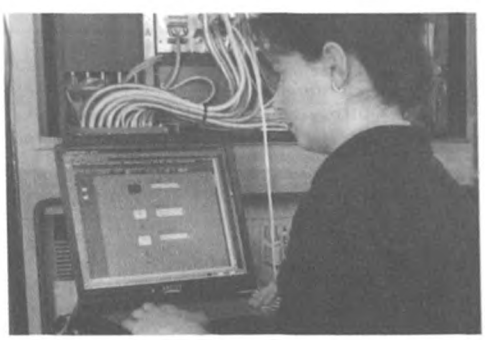


Рис. 784. Диагностика дефектов с помощью ПК

Для регистрации и анализа колебаний и вибрации машин используются специальные сенсоры. Встроенная диагностическая система позволяет по колебательному сигналу распознать типичную картину повреждений и неисправностей. Так, некоторые дефекты подшипника качения (например изменение структуры с отслоением поверхности) формируют на дорожках качения

серию одиночных импульсов, вызывающих определенный резонанс на корпусе машины. В зависимости от места повреждения (наружное кольцо, внутреннее кольцо, тело качения) отмечается разная частота серии импульсов, что обеспечивает точную диагностику на основе анализа имеющихся колебаний (рис. 785). При этом записанные колебания и соответственно шумы на корпусе машины раскладываются на частотные составляющие и отображаются графическим способом.

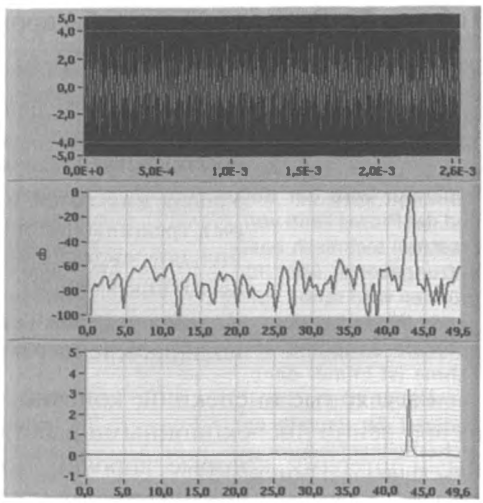


Рис. 785. Анализ сигналов

Анализ возможных дефектов и связанных с ними последствий

Ведомость сбоев, дефектов, неисправностей того или иного станка может послужить основой для проведения систематических анализов. При этом из суммы всех погрешностей выделяют те, которые проявлялись особенно часто и приводили к достаточно тяжелым последствиям. Их оценивают соответствующим характеристическим числом в диапазоне от 1 до 10 (10 — часто встречающаяся или чрезвычайно тяжелая неисправность). Произведение всех обнаруженных дефектов дает в итоге так называемый коэффициент риска с определенным уровнем приоритета, согласно которому и принимаются меры по устранению недостатков и приведению оборудования в исправность (см. табл. 80).

Таблица 80. Ведомость неисправностей машины (пример)

№ машины	Дата	Неисправность	Причина	Индекс неисправности*	Кем устранено	Принятые меры
17	10.1203	Дефектная заготовка	Нет усилия зажима		Кайзер	Заменен гидрорукав
⬇	⬇	⬇	⬇	⬇	⬇	

Анализ неисправностей										
№	Неисправность	Последствие	Причина	Способ устранения	Кто обнаружил	Частота повторения	Значимость	Зафиксировано	Коэффициент риска	Меры
1	Падение давления зажима	Ненадежный зажим заготовки	Низкое качество соединительного рукава	Выбрать рукав более высокого качества	оператор	2	8	9	144	Использовать более высокое качество
2										

9.4. Приведение оборудования в исправность

В задачу приведения в исправность путем ремонтных работ или т. п. входит внедрение и осуществление мероприятий по восстановлению заданного состояния технических средств системы.

Причинами ухудшения систем и установок может быть следующее:

- износ,
- коррозия,
- усталость материалов,
- перегрузка конструкционных элементов.

Здесь следует упомянуть такое понятие как «запас прочности». Диаграмма износа (рис. 786) показывает возможное состояние конструкционных элементов или узлов в ходе их эксплуатации. Допустим, новая машина обладает 100%-ным запасом прочности. В моменты T1 и T2 в результате инспекции устанавливаются ее действительные состояния. Если машина продолжает эксплуатироваться, она израсходует весь свой запас прочности и может выйти из строя. За счет ремонта удается восстановить ее заданное состояние, и процесс может быть возобновлен. Если используемая запчасть лучше по качеству, то теперь запас прочности будет даже превышать 100%-ный барьер. По соображениям экономии затрат рекомендуется проводить план ово-предупредительный ремонт еще до отказа оборудования (рис. 787). Оптимальным моментом принятия мер по приведению в исправность считается обычно ситуация, когда только отмечаются первые признаки сбоя. Это позволяет оптимально использовать детали или узлы на протяжении всего их жизненного цикла. При повышенных требованиях к безопасности (например в отношении самолетов или ядерных электростанций) замену деталей или ремонт необходимо проводить еще раньше.

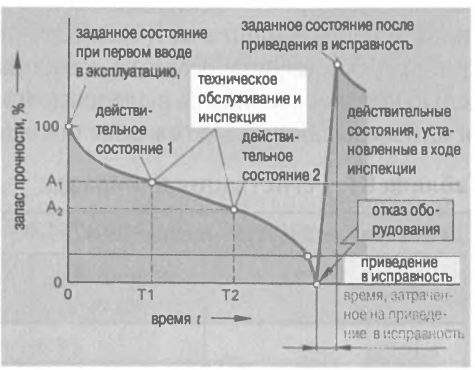


Рис. 786. Диаграмма износа

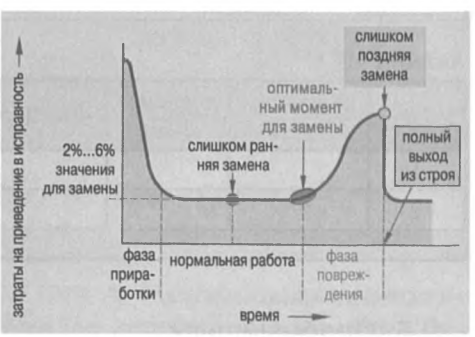


Рис. 787. Затраты на приведение оборудования в исправность

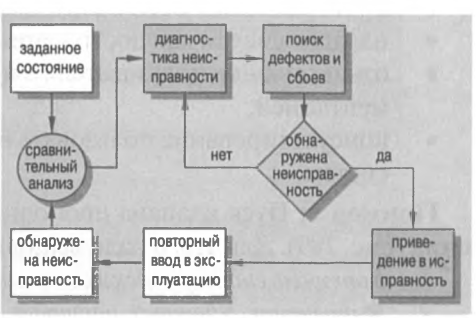


Рис. 788. Системное поддержание оборудования в исправном состоянии

На уровне приведения в исправность следует различать плановый ремонт и ремонт после обнаружения неисправности. На рис. 788 систематический цикл поддержания оборудования в исправном состоянии представлен в виде контура регулирования. При этом основным условием является абсолютно точное знание технической системы: только в этом случае возможны целевые ремонтные работы.

После обнаружения неисправности необходимо ее документально зафиксировать и попытаться понять возможную причину ее появления. По заполненному документу (дефектной ведомости или т. п.) можно сделать заключение об устойчивости работы машины. В долгосрочном варианте настоятельно рекомендуется прибегнуть к анализу FMEA («неисправность — возможности — воздействия»), целью которого является выделение из суммы дефектов тех, что чаще встречаются или вызывают более тяжелые последствия (см. табл. 81).

Таблица 81. Регистрация неполадок

Дефектная ведомость: машина № 4711/03

№	дата	неисправность	причина	устранено посредством	принятые меры
1					
2					
3					

Анализ FMEA

№	неисправность	последствия	причина	устранение	повторяемость	значение	оценка
1							
2							

9.5. Пробный пуск

Основные цели пробного пуска:

- проверка готовности оборудования к эксплуатации,
- наладка систем для достижения требуемых параметров и допусков,
- ознакомление пользователя с принципом действия и прилагаемой документацией,
  консультирование пользователя на предмет технического обслуживания систем.

Пример 1: Пуск клапана пропорционального регулирования в цепи управления (рис. 789). Для этого надо выполнить следующие шаги:

1. *Контроль гидравлических и электрических соединений.*
2. *Выполнение основных настроек на усилителе (линейная функция, включение-выключение).*
3. *Подключение к питающему напряжению.*

4. *Подключение гидравлики.*
5. *Установка минимальных заданных значений.*
6. *Присоединение разрешающего сигнала.*
7. *Установка максимальных заданных значений.*
8. *Выравнивание характеристик (с помощью тестера или т. п.).*
9. *Настройка линейных функций.*
10. *Определение и документальная регистрация характеристик мощности, параметров, схем наладки.*
11. *Передача установки пользователю.*

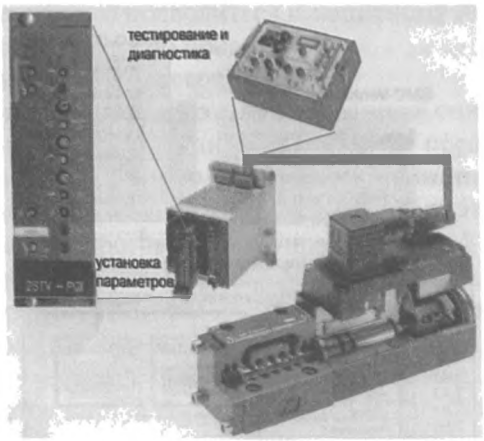


Рис. 789. Ввод в действие клапана пропорционального регулирования

Пример 2: Ввод в эксплуатацию пропорционального клапана. Шина PROFIBUS-DP считается весьма надежной, но эта надежность достижима только при условии проведения контрольных измерений важнейших параметров в процессе эксплуатации. Опыт показывает, что причиной примерно 70% всех сбоев является неквалифицированная подготовка оборудования к вводу в эксплуатацию.

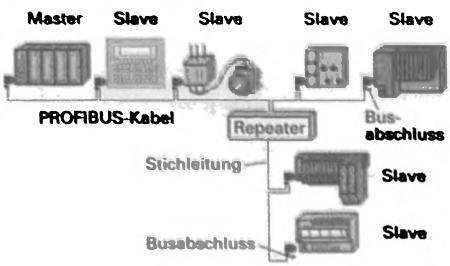


Рис. 790. Шина PROFIBUS

Кабельное соединение

Рекомендуется выбрать кабель PROFIBUS типа А. Максимальная протяженность сети определяется используемой скоростью передачи информации в битах (рис. 790).

Скорость, кбит/с	*Макс. длина сегмента, м*
1187,5	1000
1500	200
3000, 6000, 12000	100

Если сеть состоит из более чем 32 абонентов, то потребуются дополнительные репитеры (усилители сигналов). При монтаже сети следует избегать реактивных согласующих шлейфов, поскольку они приводят к отражениям на кабеле. Каждый сегмент шины PROFIBUS в начале и в конце должен быть снабжен нагрузкой, представляющей собой комбинацию резисторов, активируемых на штекерных разъемах шины. При проведении операций по уходу и техническо-

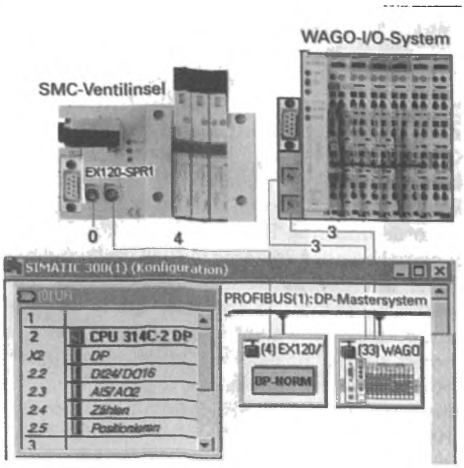


Рис. 791. Ввод в эксплуатацию шины PROFIBUS

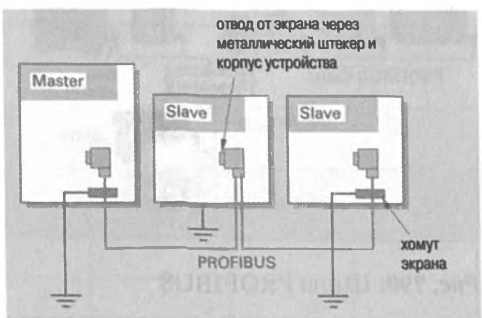


Рис. 792. Заземление и экранирование

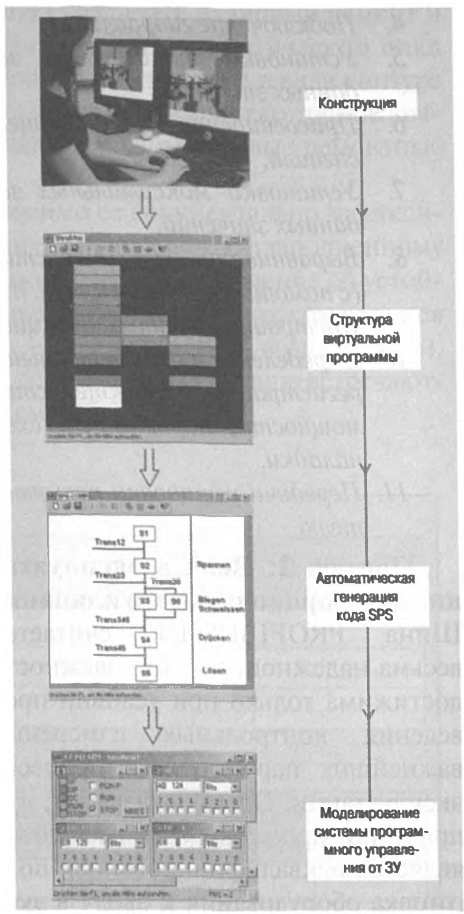


Рис. 793. Разработка программы и испытание виртуальной установки

му обслуживанию часто бывают задействованы не все абоненты. Для каждого не работающего в данный момент абонента необходимо предусмотреть внешнюю оконечную нагрузку.

Адресация

При вводе в эксплуатацию абоненты шины PROFIBUS подлежат адресации (рис. 791). Эти адреса должны совпадать с адресами программ на задающем элементе схемы (Master). Двойная адресация вызывает вывод сообщения об ошибке. Вновь присвоенные адреса принимаются только после выключения и повторного выключения. Незнание этого простого правила может стать причиной многих неприятностей при запуске оборудования.

Экранирование и заземление

Экранирование и заземление приобретают особую значимость, в частности, в случае высоких скоростей передачи данных и при использовании оборудования в промышленных районах (рис. 792). Здесь следует запомнить следующие два правила.

Правило 1: Экранирование всегда выполняется с обеих сторон кабеля.

Правило 2: Каждое место соединения должно подводиться к защитному заземлению через обладающее хорошей проводимостью провод.

Ввод в эксплуатацию с помощью виртуальных установок

Понятно, что все стремятся к сокращению сроков запуска оборудования и снижению затрат на связанные с этим процессом операции. С этой целью предлагаются, например способы виртуального проектирования, моделирования и оптимизации процессов и технологических блоков в трехмерном формате на экране ПК. Так, при встроенной системе программного управления от ЗУ (рис. 793) можно посредством виртуальной системы управления (PLCSIM) успешно управлять всей установкой. Подобный принцип работы позволяет значительно сократить сроки ввода оборудования в эксплуатацию.

Пример моделирования системы

На персональном компьютере запускается виртуальная установка (например ProMod-Pro ф.DELTALOGIC), спроектированная, например на платформе SIMIT. Все компоненты могут быть при этом снабжены параметрами, полностью соответствующими характеристикам реальных конструкционных элементов. Виртуальные установки ведут себя точно так же, как и реальные установки. На том же ПК разрабатывается система программного управления от ЗУ (SPS), после чего запускается виртуальная SPS (например PLC-SIM) и передается программа. Эти виртуальные SPS связаны теперь с виртуальной установкой. Вся система при этом ведет себя абсолютно идентично реальной установке (рис. 794).

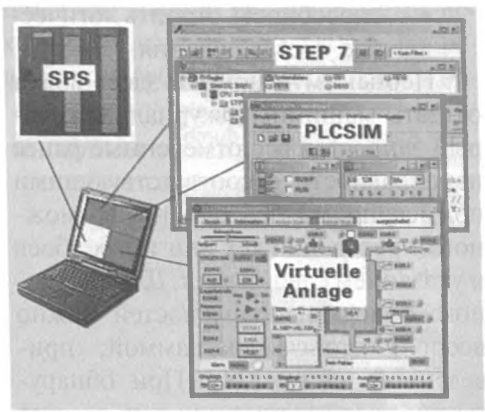


Рис. 794. Испытание виртуальной установки

Устраняются программные ошибки, предварительно устанавливаются параметры контура регулирования, достигается продолжительность цикла = 20 мс.

В качестве альтернативного варианта предлагается способ передачи программы SPS на реальную систему программного управления от ЗУ. Тогда виртуальная установка будет связана с SPS, например через интерфейс MPI либо через шину PROFIBUS.

Повторение и закрепление материала

1. *Каковы основные правила экранирования и заземления?*
2. *Почему необходимо документировать весь процесс ввода в эксплуатацию и используемые при этом установочные параметры?*
3. *В чем смысл ввода оборудования в эксплуатацию с применением виртуальных установок?*

9.6. Поиск ошибок, сбоев и неисправностей

Универсальных рецептов поиска причин неисправностей и быстрого обнаружения дефектов просто не существует. В принципе для этого требуется — как минимум — определенный уровень знаний и опыта, в том числе:

- доскональное знание конструкции и принципа действия установки,
  умение читать электросхемы и при необходимости корректировать их,
  способность строить логические умозаключения.

Рис. 795. Системный поиск неисправностей

Неоценимую помощь здесь может оказать машинный журнал, в который заносятся все отмеченные ранее неисправности с соответствующими примечаниями касательно возможного повторения тех или иных сбоев и указанием слабых мест. Для системного поиска неисправностей можно воспользоваться диаграммой, приведенной на рис. 795. При обнаружении повреждения или т. п. следует определиться, как действовать дальше (рис. 796). В случае идентификации «слабых мест» можно попытаться их устранить тем или иным образом. Необходимо также проверить, насколько здесь возможен ремонт и не лучше ли выполнить комплектную замену целого узла.

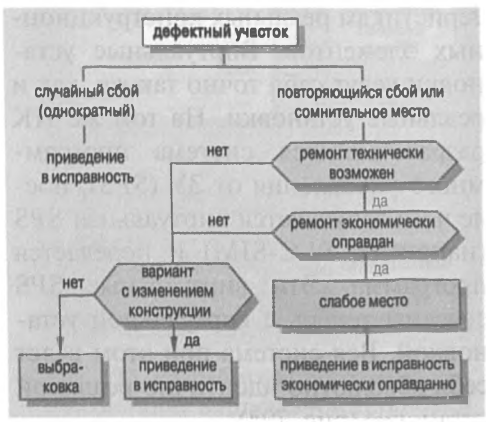


Рис. 796. Анализ отказов оборудования

9.7. Ремонтные работы

Нередко случается так, что в каком-нибудь узле дефект имеют только определенные детали, и тогда узел подлежит ремонту. Решение о ремонте детали либо замене ее на новую принимается с учетом множества факторов (рис. 797):

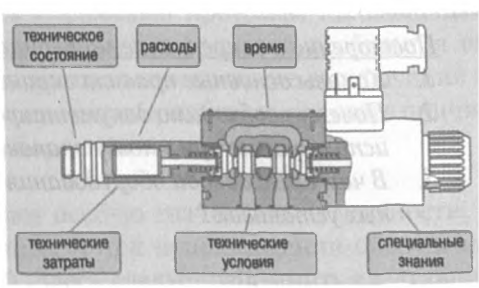


Рис. 797. Граничные условия при ремонтных работах

Затраты. Сравнивается стоимость ремонта и цена новой детали. Следует,

однако, иметь в виду, что при выполнении ремонта возможны дополнительные расходы, которые вначале не поддаются учету.

Время. Если какое-либо поврежденное устройство становится причиной выхода из строя всей установки, тогда, естественно, наиболее благоприятным будет самое быстрое решение.

Техническое состояние. Если комплектный узел уже практически выработал свой срок службы, то вряд ли стоит его ремонтировать, лучше уж сразу заменить новым.

Квалификация и опыт. Для выполнения ремонтных работ технически грамотно, качественно и в кратчайшие сроки занятые этим работники должны, безусловно, обладать необходимой квалификацией и определенным практическим опытом. Немаловажное значение имеет также чистота на месте проведения ремонта.

Технические условия. Понятно, что для демонтажа и монтажа требуется набор специальных инструментов и, разумеется, хорошо оборудованный испытательный стенд. При отсутствии подходящих технических условий для ремонтных работ лучше отказаться от их проведения собственными силами и обратиться в стороннюю организацию.

Пример: ремонт 4-линейного 3-позиционного распределителя. Изготовитель поставляет для этой цели чертежи всех деталей в разобранном виде (рис. 798). В дополнение к этому имеется еще перечень запчастей с номерами заказов (см. табл. 82). Стандартизованные детали (например кольца круглого сечения) обычно просто приобретают на рынке в качестве принадлежности. Детали без указания номеров запчастей не могут приобретаться отдельно. Если дефект будет обнаружен именно здесь, придется заменять весь клапан. Уплотнения и прокладки чаще всего поставляются целыми комплектами (см. табл. 83). В дополнение к перечням запчастей иногда предлагаются указания по ремонту, где приводятся, например моменты затяжки и прочие важные сведения. Необходимо в точности соблюдать все находящиеся там рекомендации.

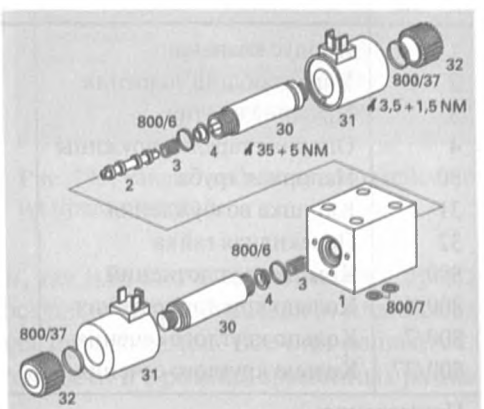


Рис. 798. Чертеж в разобранном виде с указанными номерами запчастей

Таблица 82. Перечень запчастей

Изделие: 0 810 091 203 распределитель				
Позиция	**Номер заказа**	**Штук**	**Наименование**	**Примечания**
1		1	Корпус клапана	
2		1	Управляющий золотник	
3	1 814 617 075	2	Пружина сжатия	

Таблица 82. (окончание)

Изделие: 0 810 091 203 распределитель				
Позиция	**Номер заказа**	**Штук**	**Наименование**	**Примечания**
4		2	Опорная тарелка пружины	
30		2	Напорная труба	
31	1 837 001 227	2	Катушка возбуждения	
32	1 833 343 009	2	Перекидная гайка	
800	1 817 010 310	1	Комплект уплотнений	
800/6		2	Кольцо круглого сечения	16,56 x 1,78
800/7		4	Кольцо круглого сечения	9,25 x 1,78
800/37		2	Кольцо круглого сечения	22 x 2

Таблица 83

Идентификация отдельных деталей

Поз.	**Наименование**	**Технологическая деталь**	**Стандартизованная деталь**	**Специальная деталь**	**Номера деталей Поставка**	
					да	**нет**
1	Корпус клапана	x			x	x
2	Управляющий золотник	x				
3	Пружина сжатия			x	x	
4	Опорная тарелка пружины	x				
30	Напорная труба	x				
31	Катушка возбуждения			x	x	
32	Перекидная гайка			x	x	
800	Комплект уплотнений		x		x	
800/6	Кольцо круглого сечения		x		*	
800/7	Кольцо круглого сечения		x		*	
800/37	Кольцо круглого сечения		x		*	

Примечание:
*) кольцо круглого сечения 16,56 x 1,78 }
*) кольцо круглого сечения 9,25 x 1,78 } поставка только через специализированную торговлю
*) кольцо круглого сечения 22 x 2 }

Повторение и закрепление материала

1. *Опишите систему подготовки и оформления задания на выполнение ремонта.*
2. *Какова роль машинного журнала?*
3. *Назовите проблемы, возможные при выполнении ремонтных работ.*

ГЛАВА 10

БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ

10.1. Задачи менеджмента

Задача менеджмента заключается в определении целей предприятия и выработке мер по успешной реализации поставленных задач. В качестве высшей цели часто провозглашается следующий лозунг: «Наше предприятия должно стать доминирующим на рынке».

Все устремления предприятия направлены на достижение этой цели. Между тем управленческая деятельность всегда связана с риском, поскольку запланированный успех обуславливается множеством внешних и при этом постоянно меняющихся факторов (рис. 799).

Рис. 799. Внешние факторы воздействия на предприятие

В принципе, менеджмент обязан заниматься абсолютно всеми процессами, так или иначе связанными с производительностью предприятия. Сюда относятся, в частности, задачи планирования, организации, реализации и контроля производства. Все они решаются с разной долей успеха, с разным уровнем точности и в разных временных рамках (см. табл. 84).

Таблица 84. Уровни менеджмента

Уровень менеджмента	**Топ-менеджмент** *Руководство предприятия*	**Менеджмент среднего звена** *Руководители отделов*	**Менеджмент низшего звена** *Руководители групп*
Целевое планирование	стратегическое	тактическое	оперативное
Степень риска	высокая	средняя	низкая
Степень детализации	низкая	средняя	высокая
Временные рамки	долгосрочные	среднесрочные	краткосрочные

Постоянное изменение влияющих факторов требует динамичной реакции предприятия на внешние условия окружающего мира. Стратегический (топ)-менеджмент должен непрерывно заботиться о том, чтобы эти влияния быстро распознавались, и на основе соответствующего планирования обеспечивалась конкурентоспособность предприятия. Исходя из этих высших целей, составляются инвестиционные планы, производственные планы, а также торгово-заготовительные планы и планы сбыта. Разработанную документацию следует затем как можно быстрее перевести на оперативный (исполнительный) уровень. Темп здесь имеет огромное значение, ибо известен закон: не большие теснят на рынке маленьких, а быстрые — медленных.

Рис. 800. Стоимостьошибок(правилодесяти)

Допустив промах, можно получить резкий рост затрат, способный свести к нулю достигнутые было успехи. Рис. 800 демонстрирует так называемое «правило десяти» применительно к стоимости допущенных ошибок.

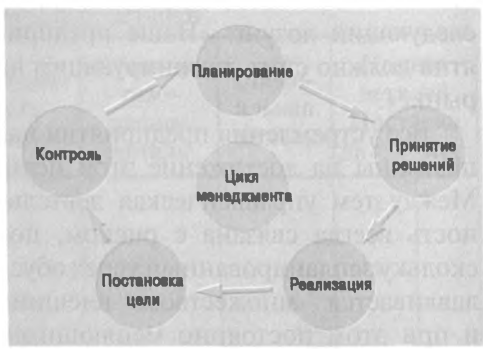


Рис. 801. Круговой цикл менеджмента

При обнаружении изменений на рынке необходимо как можно быстрее принять действенные меры, направленные на минимизацию возможных негативных последствий.

Деятельность предприятия на уровне управленческих задач протекает в непрерывном цикле (рис. 801) , включающем в себя следующие задачи менеджмента:

планирование,
реализация,
контроль,
постановка цели,
принятие решений.

10.2. Управление процессом

Формирование производительности предприятия проходит по цепочке от создания факторов производства до сбыта готовой продукции (рис. 802), а звеньями такой цепи могут стать частные задачи, или как их еще называют — подзадачи. Подобный способ применим для предприятия любого рода.

На основе требуемых видов деятельности, соединенных — в полном объеме и в правильной последовательности — в единую цепь, получают последователь-

ности процессов или соответственно процессы, ориентированные на последовательное создание стоимости на данном предприятии. На рис. 803 на примере продажи компьютеров показаны отдельные этапы процесса исполнения заказов.

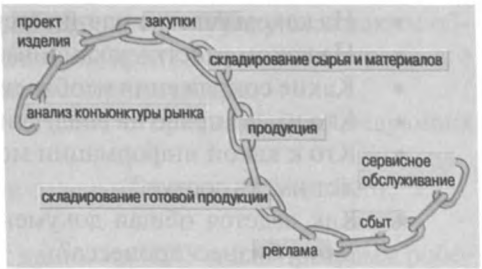


Рис. 802. Цепочки производственной деятельности предприятия

Совокупность всех операций по реализации стратегических целей предприятия называют также бизнес-процессом (англ. Business-Process). Понятие «реорганизация бизнес-процесса» BPR (англ. Business-Process-Reengineering) означает преобразование деловой активности предприятия, то есть можно сказать, что фактор BPR создает основу для организационной структуры предприятия.

Идея ориентации на процесс исходит из того, что организационно связанные между собой подзадачи объединяются в единый процесс. Обработка процесса при этом осуществляется с переходом от отдела к отделу. Процесс выдвигает на передний план способ цельного рассмотрения последовательно выполняемых операций. За успешную реализацию процесса несет ответственность специально назначенный сотрудник или целая команда компетентных специалистов. Все эти предпосылки обеспечивают создание экономичного и гибкого предприятия.

Рис. 803. Последовательность отдельных этапов процесса

Связные производственные шаги составляют последовательность выполнения отдельных операций процесса.

Информационно-технические структуры

При традиционных структурах программного обеспечения предпочтение нередко отдается программным решениям, ориентированным на специализированные отделы. Однако такой способ, несмотря на сетевую структуру, сильно затрудняет полное сохранение информации.

Переход к организации, ориентированной на процесс, требует создания новых информационно-технических структур. На рис. 804 наглядно представлен процесс поставки и монтажа компьютерной системы. Для ориентации на процесс нужен точный анализ всего бизнес-процесса.

При этом должны быть поставлены, прежде всего, следующие вопросы:

На каком участке начинается процесс?
На каком участке заканчивается процесс?
Какие сопряжения необходимы?
Кто имеет право на ввод/считывание данных?
Кто к какой информации может иметь доступ?
Как ведется общая документация бизнес-процесса?
Как осуществляется долгосрочное архивирование?
Каким способом производится обновление данных?

Рис. 804. Описание процесса и структура программного обеспечения

10.3. Управление информацией о продукции

Отдельные фазы производства изделия — от идеи до утилизации (или рециклинга) — должны продумываться и регулироваться самым тщательным образом. Неоценимую помощь при этом, безусловно, может оказать компьютер.

Путем виртуализации посредством ВМ удается иногда предвосхитить реальные, то есть действительные события. Благодаря этому обеспечивается контроль продукции на всех этапах ее «жизненного цикла» — от изготовления до использования и утилизации с последующим возможным рециклингом. И все это достижимо еще до того, как начнется фактический процесс производства. Понятно, что здесь требуется соответствующая информационно-техническая подготовка, обеспечивающая возможность управления информацией, касающейся выпускаемой продукции: речь идет, в частности, о модели PDM (англ. Product-Daten-Management) — системе, сопровождающей продукцию на протяжении всего ее жизненного цикла (рис. 805).

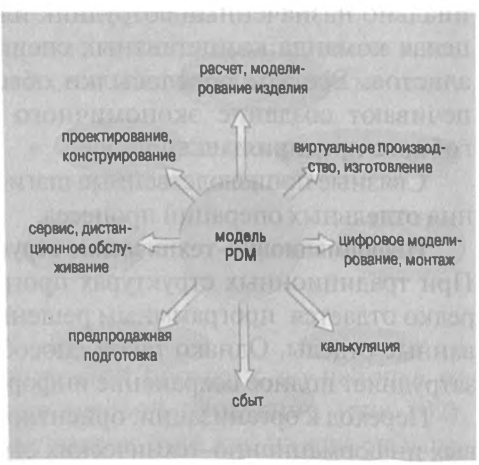


Рис. 805. Управление информацией о продукции (PDM — Product-Daten-management)

Задачи управления информацией о продукции структурируются таким образом, чтобы весь жизненный цикл изделия на протяжении всего срока его службы имел определенное информационное сопровождение.

Информационная модель описывает изделие с применением следующих файлов:

- для общей геометрии и геометрии отдельных деталей (рис. 806),
- для спецификаций,
- для технологических процессов с данными ЧПУ и для программ робототехники,
  для материалов и программ проведения испытаний,
  для монтажных операций,
  для способов презентации продукции с целью привлечения покупателей,
- для предварительных смет расходов,
- для процессов сбыта и маркетинга,
- для технического и сервисного обслуживания,
- для возможного рециклинга.

Такая система сбора и обработки информации о выпускаемой продукции позволяет получить цельное представление обо всех свойствах, имеющих отношение к производимым изделиям.

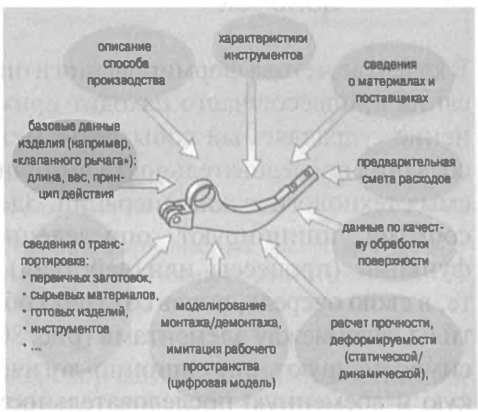


Рис. 806. Информационная модель производимого изделия

Техника связи, в частности, через Интернет, обеспечивает всем заинтересованным лицам (имеющим на то соответствующее разрешение) доступ к производственной информации, в том числе, и к описанию модели изделия. Эти данные ни в коем случае не должны храниться в одном-единственном месте. Разбросанные по всему миру производственные участки, оснащенные соответствующими компьютерными системами, благодаря сети Интернет могут быть представлены как единое предприятие, то есть можно говорить о глобализации как предприятий, так и рынков. Автоматизация играет при этом чрезвычайно важную роль.

Итак, информационные системы и техника связи должны сопровождать продукцию на протяжении всего ее жизненного цикла. Это дает следующие преимущества:

- На основе автоматизированных способов проектирования и техники ускоренного моделирования изделие максимально быстро доводится до стадии производства.
  На основе автоматизированных процессов производства первичные заготовки или сырьевые материалы превращаются в готовые изделия и продукты.

На основе автоматизированного контроля качества достигается практически безотказное экономичное производство.

На основе техники дистанционного сервиса продукция автоматически или полуавтоматически обслуживается и курируется по всему миру (рис. 807).

Телеконференции и Интернет-форумы помогают успешному развитию бизнес-процессов по всему миру (рис. 808).

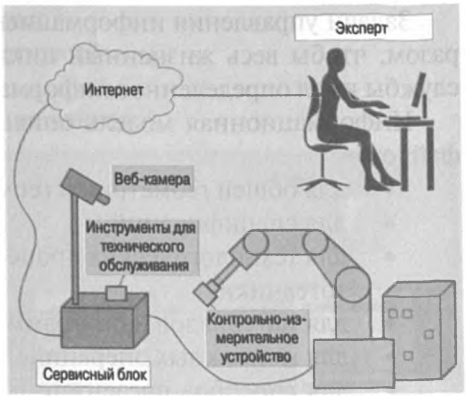


Рис. 807. Дистанционная сервисная служба

10.4. Методы создания технологических цепочек

В качестве метода формирования и описания процессов часто находит применение управляемый событиями метод создания последовательности выполняемых технологических операций. Здесь события инициируют определенные функции (процессы или действия), а те, в свою очередь, вновь создают события. Связи между элементами (рис. 809) символизируют ситуационно-логическую и временную последовательности. Управляемые событиями последовательности процессов всегда начинаются и заканчиваются событиями. В качестве примера можно привести показанную на рис. 810 последовательность операций при исполнении заказа.

Эта модель может быть также расширена за счет определенной соотносимости организационных единиц и информационных объектов, что позволит ей стать расширенной, управляемой событиями технологической цепочкой.

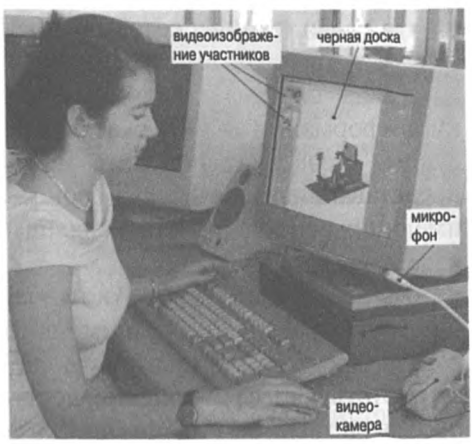


Рис. 808. Интернет-форум

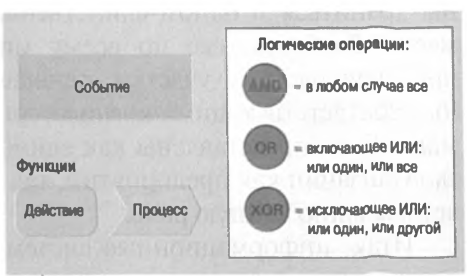


Рис. 809. Элементы управляемой событиями технологической цепочки

Контроль бизнес-процессов

Контроль бизнес-процессов служит целям постоянного улучшения и оптимизации всех сфер производства для обеспечения общего коммерческого успе-

ха предприятия. Здесь следует различать:

- Контроль хода процесса

– соответствие событий процесса заданным показателям (сравнение заданных и действительных величин),

– анализ рабочих шагов идентичного содержания на разных этапах процесса,

– поиск возможных узких мест и тест на коэффициент использования.

- Контроль результата

– качество изделий и услуг,

– стоимость изделий и услуг,

– соблюдение сроков поставки,

– надежность и качество сервиса,

– дополнительные выплаты по социальному страхованию.

Для выполнения запланированных операций по контролю и оценке результатов должны быть разработаны соответствующие способы и выбраны подходящие цифровые показатели. Имеется в виду, в частности, следующее:

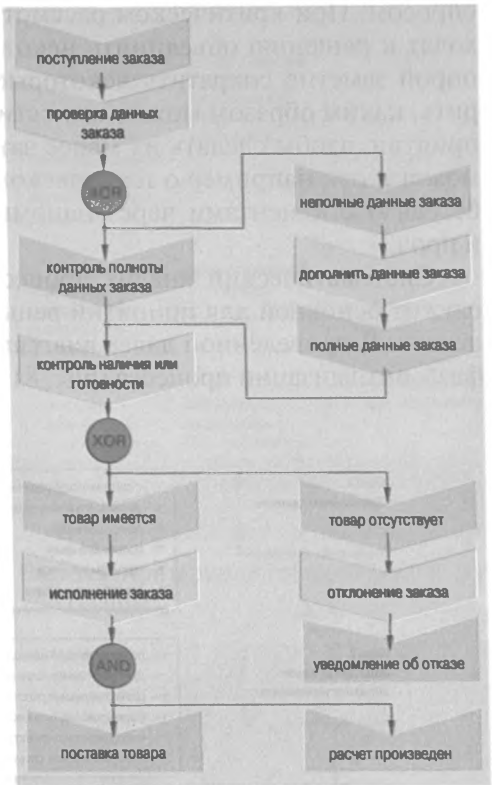


Рис. 810. Исполнение заказа по управляемой событиями технологической цепочке

выявление удовлетворенности покупателей через опросные листы, телефонные опросы, сбор данных о приверженности к определенной торговой марке и т. п.,

анализ показателей отдачи,

определение процента брака и количества дефектных изделий в партии товара,

регистрация сбоев в работе, вызванных, например ошибками в планировании или отказами оборудования,

анализ отклонений от требуемого стандарта качества, учет времени прохождения заказов клиентов,

регистрация технологических затрат, работа с производственными показателями,

бенчмаркинг (оценка результатов сравнимых процессов в рамках одного предприятия либо на уровне сравнимых предприятий).

Оптимизация и постоянное усовершенствование бизнес-процесса немыслимы без серьезной аналитической работы и тщательных расчетов. Так, например необходимо внимательно изучить вопрос о том, не стоит ли вообще отказаться от процессов, не вносящих практически никакого вклада в создание стоимости, поскольку их результаты почти или совсем не пользуются

спросом. При критическом рассмотрении подобных вопросов иногда приходят к решению объединить некоторые частные процессы, что позволяет порой заметно сократить некоторые затраты. Далее рекомендуется проверить, каким образом можно вынести некоторые процессы за пределы предприятия, чтобы сделать их менее затратными и более эффективными. Речь может идти, например о техническом обслуживании по телефону или службе связи с клиентами через напоминания, уведомления, предупреждения и проч.

Систематический анализ процессов дает также информацию, которая служит основной для принятий решений относительно автоматизации процессов. В приведенной далее диаграмме содержатся важнейшие операции и фазы оптимизации процесса (рис. 811).

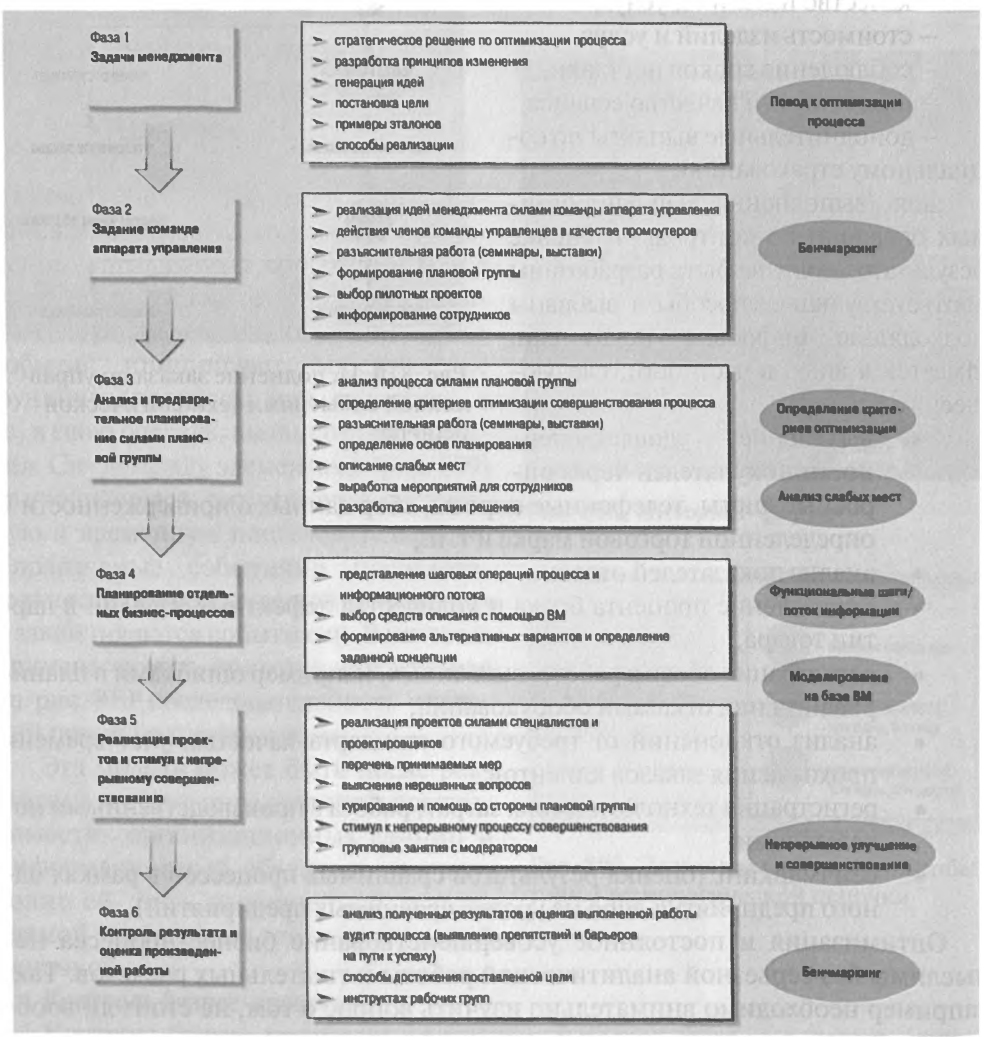


Рис. 811. Обзорная диаграмма оптимизации процесса

10.5. Проектный менеджмент

Для направления деятельности предприятия, реализации намерений и замыслов, которые в настоящее время отличаются новизной, комплексностью и многослойностью, широко используется проектный менеджмент, на основе которого могут решаться, например следующие задачи:

- размещение новой продукции на рынках сбыта,
  разработка новой линии сбытовых изделий,
  внедрение систем управления качеством согласно нормам ДИН ИСО 9000,
  переход на полностью автоматический режим работы.

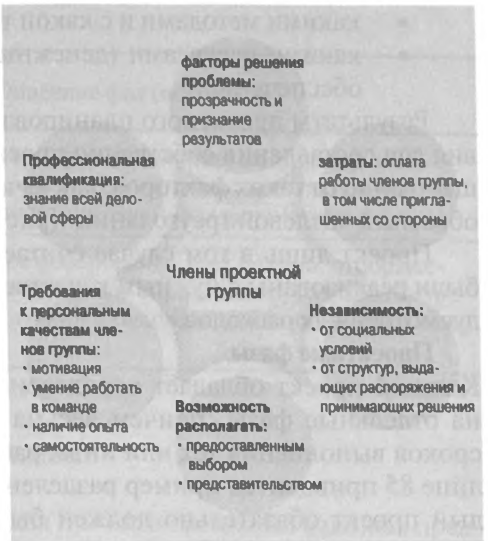


Рис. 812. Критерии формирования проектной группы

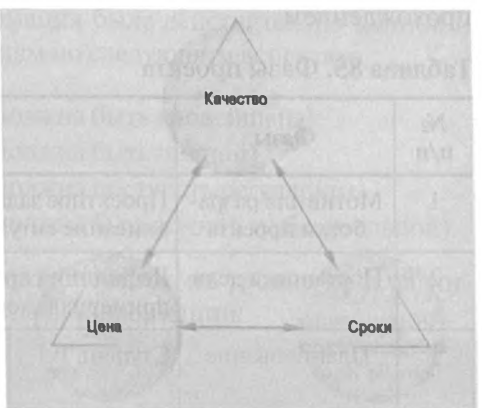


Рис. 813. Целевой треугольник

Если говорить коротко, проектный менеджмент есть способ управления предприятием. Он всегда ориентирован на процесс и с методической точки зрения представляет собой стратегию решения возникающих проблем. Проектные группы, как правило, получают от руководства предприятия задание на проектирование, выполняемое самостоятельно с ориентацией на конкретную цель. В это время команда проектировщиков является как бы предприятием в предприятии. В такой команде должна быть представлена каждая производственная сфера, и плюс к этому привлекаются специалисты из требуемых научных областей. При необходимости могут быть приглашены даже независимые эксперты. Для создания работоспособной команды необходимо обязательно учитывать соответствующие критерии выбора (рис. 812).

Проектное планирование

Проектное планирование есть, в сущности, предвидение и прогнозирование будущих действий в проекте. Оно ориентируется на производственные цели, а также на установленные сроки и выделенные материальные средства. С учетом этого в основе проектного планирования стоят следующие основные вопросы:

- кто выполняет,
- какие задачи,
- в какие сроки,

какими методами и с какой техникой,
какими ресурсами (денежные, материальные средства, программное обеспечение)?

Результаты проектного планирования представляют собой рамочные условия для составления собственно проекта. Реализация проекта зависит преимущественно от таких факторов, как качество, сроки и затраты, образующие своеобразный «целевой треугольник» (рис. 813).

Проект лишь в том случае считается успешным, если поставленные цели были реализованы с нужным качеством, в установленный срок и в рамках предусмотренных расходов.

Проектные фазы

Каждый проект обладает определенной структурой и может быть разделен на отдельные фазы, причем весьма важным представляется планирование сроков выполнения тех или иных работ (календарное планирование). В таблице 85 приводится пример разделения проекта на такие фазы, хотя не каждый проект обязательно должен быть доведен до конца. Иногда разумнее прекратить его разработку на уровне накопления определенного объема необходимых знаний. Проект постоянно сопровождается соответствующими контрольными функциями, облегчающими последующее управление его прохождением.

Таблица 85. Фазы проекта

№ п/п	Фазы	Описание фаз (пояснения)	
1	Мотив для разработки проекта	Проектное задание, описание ситуации, требующей изменения.	
2	Постановка цели	Дефиниция проекта, подробное описание проблемы, примерная схема структуры.	
3	Планирование	Ступень 1:	Предварительное исследование в форме анализа действительного состояния, описание текущего состояния, определение цели, по возможности — выбор критериев.
		Ступень 2:	Анализ заявки с учетом предполагаемых сроков и затрат.
		Ступень 3:	Структура проекта (частные задачи, ключевые моменты), ситуационно-логическое оперативное планирование, планирование ресурсов (персонал, финансы).
		Ступень 4:	Формирование проектной группы.
4	Решение	Принятие руководством предприятия решения о том, можно ли запустить проект или требуется внести изменения в планирование.	
5	Исполнение	Детальное планирование, журнал с подробным описанием обязанностей, распределение задач среди членов команды с календарным графиком, реализация планов, объявление результатов, презентация.	

Таблица 85. (окончание)

№ п/п	Фазы	Описание фаз (пояснения)
6	Контроль	Контроль результатов проектирования на жизнеспособность, надежность, отсутствие ошибок, контроль качества с точки зрения соответствия заданным параметрам.
7	Документация	Документированное обоснование всех планов, отображение рабочих фаз, составление справочника, разработка требуемых рабочих указаний и рекомендаций по техническому обслуживанию.

10.6. Информационный менеджмент

Информация является важнейшей базой для принятия решений в рамках предприятия. Правильные решения возможны только при условии владения всей полнотой информации, и наличие такого фактора производства как «информация» в значительной мере определяет конкурентоспособность и гарантию существования предприятия. Чтобы информация была действительно ценной и насущной, она должна отвечать требованиям по следующим аспектам:

актуальность (информация должна быть «новейшей»)
полнота (информация должна быть полной)
своевременность (информация должна поступать регулярно)
достоверность (информация должна быть точной и убедительной).

Все производственные процессы характеризуются на уровне приема информации, обработки информации и передачи информации.

Обработка информации играет все большую роль в деле повышения производительности предприятия, поэтому она должна стать важной составной частью любого технологического процесса (рис. 814).

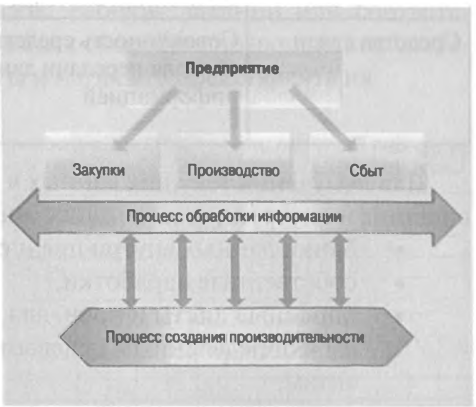


Рис. 814. Обработка информации на предприятии

Главной задачей информационного менеджмента является планирование и эффективная структура информационной системы.

В зависимости от активности осуществляемой деятельности, требуются квалифицированные специалисты для обслуживания системы. Независимо от этого, все пользователи (субъекты действий и носители решений) являются информационными менеджерами на своем предприятии.

Так, специалисты в области информатики создают центральный банк данных на предприятии. Делопроизводители со своими программами (например для составления статистических таблиц) обращаются к этому банку данных и активно привлекают содержащуюся там информацию. Вся информационная система состоит из 5 компонентов (см. табл. 86).

Таблица 86. Структура информационной системы

Компоненты	Пояснения	Примеры
Информационное обеспечение	Единая система классификации и кодирования информации, унифицированных систем документации, схем информационных потоков, методология построения баз данных	Обслуживание компьютерных систем, операции настройки, поиск и устранение неисправностей
Техническое обеспечение	Комплекс технических средств, предназначенных для работы информационной системы, и соответствующая документация на эти средства и технологические процессы	ПК, устройства сбора, накопления, обработки, передачи и вывода информации (монитор, принтер, линии связи, память сверхбольшой емкости)
Математическое и программное обеспечение	Совокупность математических методов, моделей, алгоритмов и программ для реализации целей и задач информационной системы, а также нормального функционирования комплекса технических средств	Window, C++-компьютер, программы для обработки текстов, программы для составления расчетных таблиц, программное обеспечение банка данных
Организационное обеспечение	Совокупность методов и средств, регламентирующих взаимодействие работников с техническими средствами и между собой в процессе разработки и эксплуатации информационной системы	Регулирование процессов сохранения и защиты информации
Средства связи	Совокупность средств, необходимых для передачи данных и обмена информацией	Интернет, телеконференции, e-mail, факс, конференц-залы

Для получения текущих данных в полном объеме необходимо использовать внешние и внутренние источники информации, например:

- банки данных внутри предприятия,
- собственные наработки,
- опросные листы и проч. для получения ответов на конкретные вопросы к определенным целевым группам, например к поставщикам, клиентам,
  специализированные журналы, научную литературу, библиотечные фонды,
  выставки и ярмарки,
  информационный поиск в базе данных в режиме on-line,
  поиск в Интернете с помощью информационно-поисковых систем.

Рис. 815. Поисковая система

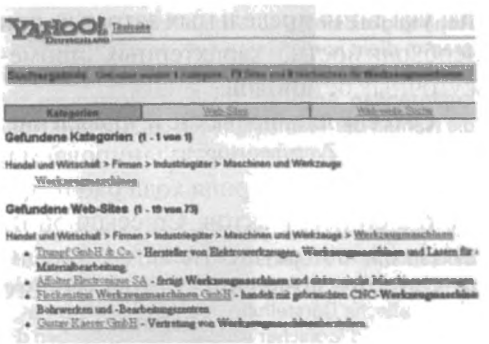


Рис. 816. Результат поиска на слово «станки»

Допустим, нам нужна информация, относящаяся к понятию «станки». Вызвав поисковую систему, например http://www.yahoo.com, вводим там термин «станки» (рис. 815). В ответ можем получить в общей сложности до 100 адресов и ссылок, касающихся введенного слова (рис. 816).

Повторение и закрепление материала

1. *Перечислите основные задачи менеджмента.*
2. *Какое отношение имеет «правило десяти» к неоправданным расходам?*
3. *Составьте технологическую цепочку выполнения задания.*
4. *Какие файлы нужны для создания модели параметров продукции?*
5. *Какие факторы образуют «целевой треугольник» проектного планирования?*

10.7. Инструменты планирования

Для эффективной обработки наряд-заказов, рабочих заданий или соответственно проектов существует множество разных способов, позволяющих систематически выполнять необходимые работы и наглядно представлять их.

Диаграмма в виде полос

Рис. 817 показывает, как отдельные процессы могут быть представлены в виде полос в одном логическом временном растре: сроки, продолжительность процессов, а также их зависимость друг от друга видны здесь с первого взгляда. Таким образом, диаграмма в виде полос служит в качестве основного средства обзора с полным охватом материала. По мере необходимости колонки могут быть расширены за счет ввода дополнительных данных, например списка имен членов коман-

№	Работы	Срок	Начало	Конец	Работы, предшествующие данной
1	Обсуждение проекта	1 день	1.2.01	1.2.01	-
2	Оформление заявки	2 дня	2.2.01	5.2.01	1
3	Анализ последовательности операций	4 дня	6.2.01	12.2.01	2
4	Сбор данных	2 дня	8.2.01	9.2.01	3
5	Принятие решения	1 день	13.2.01	13.2.01	4
...	...	...	...	...	...

Рис. 817. Перечень работ и диаграмма в виде полос (график Ганта)

ды, указания предельных затрат и, при необходимости, характерных промежуточных остановов.

Сетевое планирование и управление

Речь идет о способе планирования, управления и контроля хода работ при выполнении проектов. Со ссылкой на ДИН 69 900 осуществляется графическое представление структурного порядка выполнения операций во временной и логической последовательности (рис. 818). Наряду со структурным анализом, в рамках временного анализа могут определяться также критические процессы, задержка которых мгновенно влечет за собой сдвиг конечных сроков. На рис. 819 жирно выделены узлы событий, а на рис. 819 стрелками отмечены отношения между ними. Процессы, не лежащие на этом пути, определяют имеющиеся резервы времени. Они показывают тот период времени, на который процесс может быть продлен без изменения установленного конечного срока. Для контроля за ходом выполнения проекта устанавливаются так называемые «вехи» — метки в виде небольших прямоугольников с соответствующим текстом. Они являются важным промежуточным шагом или соответственно важным промежуточным результатом определенной фазы проекта и служат для того, чтобы проверять в установленные сроки достигнутые результаты.

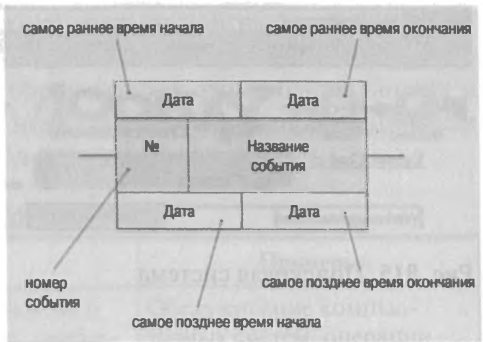


Рис. 818. Подробная структура узла событий в сетевом графике

Расчет времени

При расчете времени требуется определить не только длительность прохождения отдельных событий и всего процесса, но и их самое раннее и самое позднее временное положение, а также резервы времени, которые возможны при выполнении некоторых работ. Это удается сделать благодаря операциям отсчета времени от исходного события сети и отсчета времени от завершающего события сети (рис. 820).

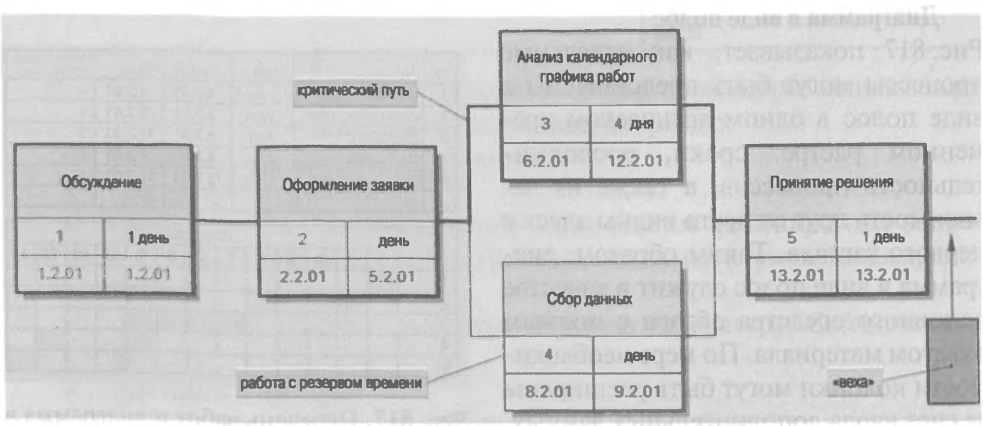


Рис. 819. Топология сетевого графика

Отсчет времени от исходного события сети

Исходя из заданного (самого раннего) срока начала проекта, путем прибавления длительности работы вычисляется самый ранний срок завершения проекта. В случае события, на котором сходится несколько путей, дальнейший расчет осуществляется с максимальным значением.

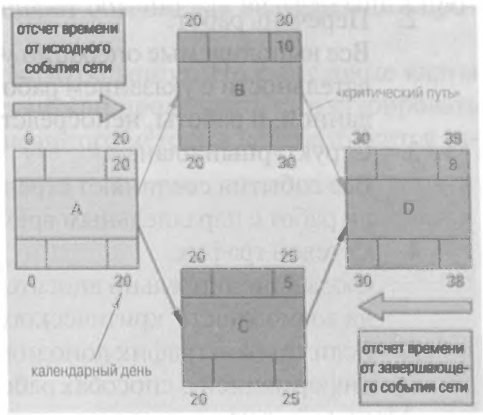


Рис. 820. Расчет времени

Отсчет времени от завершающего события сети

Исходя из заданного срока завершения проекта, путем вычитания длительности работы вычисляется самый поздний допустимый момент начала проекта. Если на одном событии сходится сразу несколько стрелок, то дальнейший расчет осуществляется с минимальным значением.

Резерв времени

Разница между самым поздним значением при отсчете времени от завершающего события сети и самым ранним значением при отсчете времени от исходного события сети дает — в пересчете на отдельное событие — имеющийся резерв времени: он показывает максимальное время, на которое может быть отодвинуто начало отдельного события.

Характеристики сетевого планирования и управления

Система сетевого планирования становится основополагающей идеей проекта и его выполнения.

На основе тщательного анализа проекта и связанного с этим разделения его на отдельные события может быть достигнуто однозначное разграничение разных кругов полномочий всех участвующих в проекте инстанций и должностей с одновременным облегчением контроля за их деятельностью. Последовательность выполнения отдельных операций без резерва времени называют «критическим путем». Каждая задержка на таком пути увеличивает суммарную продолжительность работ.

Благодаря указанию критического пути удается своевременно распознать последствия сбоев и опозданий и моментально вмешаться во избежание нарушения общего графика работ.

Узкие места, связанные со сроками, событиями или персоналиями, сразу же обнаруживаются и, учитывая существующую прозрачность, могут быть быстро ликвидированы.

Повторяющиеся, сравнимые проекты можно заново планировать в короткие сроки, используя уже однажды найденные решения.

Систематика сетевого планирования и управления

1. Описание проекта.

   Здесь приводится полный перечень подлежащих решению частных задач.

2. Перечень работ.
   Все выполняемые операции устанавливаются во временной последовательности с указанием работы, непосредственно предшествующей данной, и работы, непосредственно следующей за данной работой.
3. Структурный план.
   Все события соединяют стрелками, после чего проверяют, не оказалось ли работ с параллельным временем.
4. Сетевой график.
   Сюда дополнительно вносятся значения времени обработки и ссылки на возможность критического пути (рис. 817).
5. Если сетевой график дополняется данными от участвующей группы и информацией о способах работы, возникает проектный план.

«Мозговой штурм»

Целью «мозгового штурма» (англ. Brainstorming) является генерация максимального количества идей за минимально короткий срок (от 20 до 40 минут). Здесь имеется виду совместное обдумывание заданной проблемы в составе группы, руководство которой берет на себя так называемый «модератор». Идеи поочередно «вбрасываются» всеми членами группы и фиксируются на листовой доске (англ. Flip-Chart). При этом всем участникам должны быть известны следующие правила:

1. Идеи формулируются спонтанно. Содержание не анализируется с точки зрения логики или приемлемости. Записываются все мысли, внезапно пришедшие в голову. Участники дают полную свободу своей фантазии.
2. Любая критика или оценка высказанных идей отодвигается на следующий этап работы.
3. Каждый имеет право развить («раскрутить») идею, высказанную другим участником.
4. За короткое время необходимо сформулировать как можно больше идей.

Затем, на этапе анализа, обнародованные идеи изучаются, сортируются и оцениваются. На этапе принятия решений устанавливается, какая идея из рассмотренных может быть взята на вооружение.

«Запись мыслей» (англ. Brainwriting)

Здесь также речь идет о методе поиска новых идей. После объявления поставленной цели каждый участник получает пустой лист, где записывает все пришедшие ему на ум мысли касательно достижения указанной цели. Затем лист кладут на середину стола, после чего каждый берет лист своего коллеги и снабжает его собственными замечаниями.

Это повторяется неоднократно. Как специальный вариант предлагается метод «6-3-5», при котором 6 участников записывают каждый по три своих предложения. Через 5 минут эти предложения передаются другим лицам, и так до тех пор, пока каждое предложение не будет дополнено 5 раз. В итоге за 30 минут предлагается 108 решений.

«Смысловая» карта (англ. Mind-Mapping)

При таком методе используются ассоциативные структуры нашей мысли для визуального отображения комплексности информации со всеми возможными

связями (рис. 821). Данный способ применяют обычно для визуализации проекта.

В принципе, на все это потребуется около 30 минут. Но смысловые карты никогда не бывают полностью готовы, их можно продолжать структурировать дальше и дальше. При использовании описанного метода в центре ставится за-

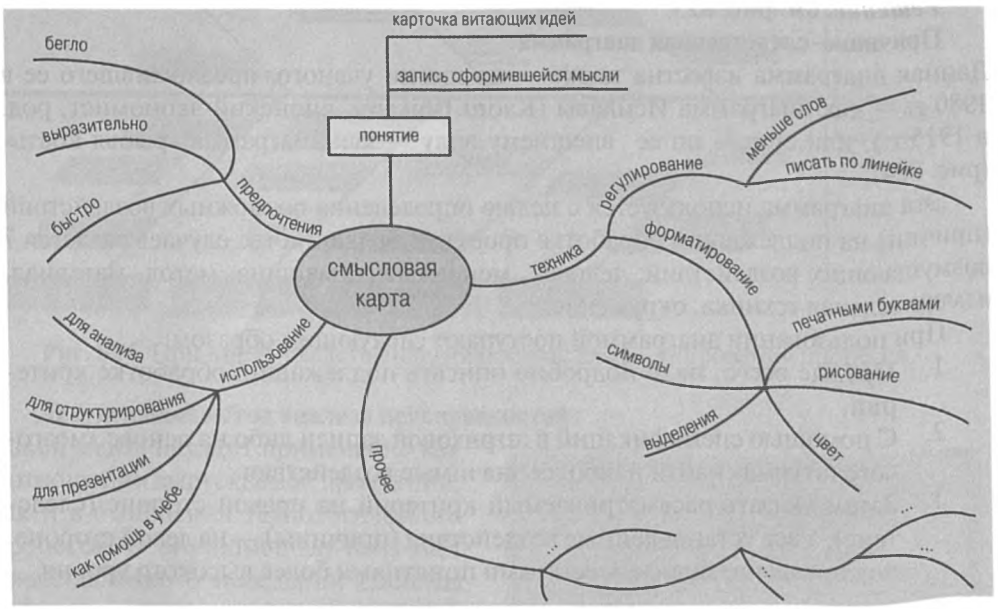


Рис. 821. Структура смысловой карты

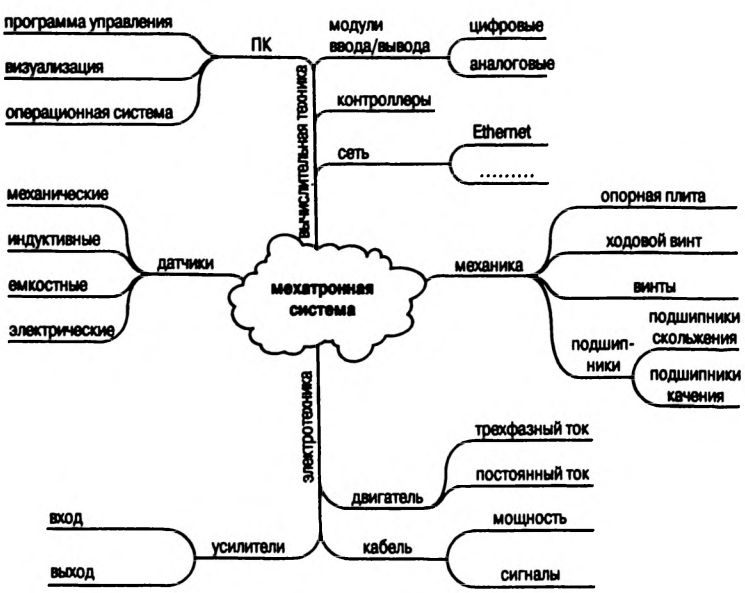


Рис. 822. Мехатроника устройства автоматизации

данная проблема. От нее отходят основные ветви, которые, в свою очередь, разветвляются на ответвления и побочные отводы. Каждая ветвь и ответвления от нее отмечены кодовым словом. Здесь разрешены и символы.

Задание: Составить смысловую карту применительно к устройству автоматизации (рис. 822).

Решение: см. рис. 823.

Причинно-следственная диаграмма

Данная диаграмма известна также — по имени ученого, предложившего ее в 1980 г. — как диаграмма Исикавы (Kaoru Ishikawa, японский экономист, род. в 1915 г.), или еще — по ее внешнему виду — как диаграмма «рыбья кость» (рис. 824).

Эта диаграмма используется с целью определения возможных воздействий (причин) на подлежащий обработке проект. В большинстве случаев задается 7 возмущающих воздействий: человек, менеджмент, машина, метод, материал, измерительная техника, окружение.

При пользовании диаграммой поступают следующим образом:

1. Прежде всего, надо подробно описать подлежащий обработке критерий.
2. С помощью спецификаций в штриховой записи либо на основе «мозгового штурма» найти наиболее значимые воздействия.
3. Затем указать рассматриваемый критерий на правой стороне (следствие), а все установленные воздействия (причины) — на левой стороне, под предварительно внесенными понятиями более высокого уровня.

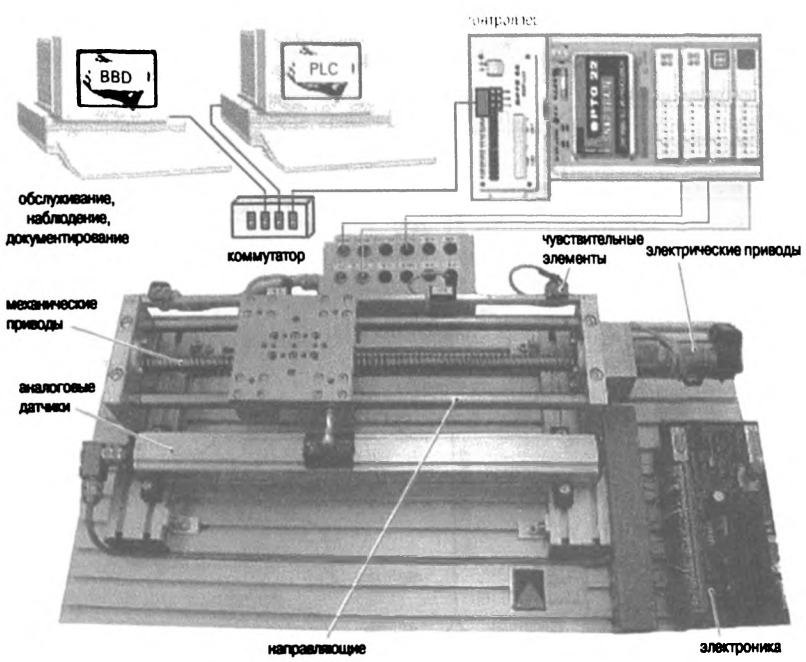


Рис. 823. Решение для устройства автоматизации

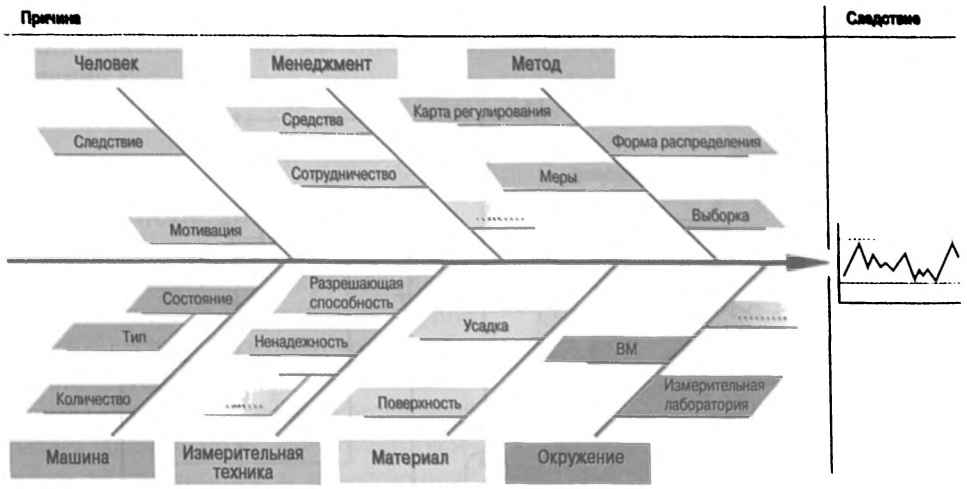


Рис. 824. Причинно-следственная диаграмма для регулирования процесса

Дедуктивный метод анализа неисправностей

Такой метод находит применение как в отношении выпускаемой продукции, так и в отношении технологического процесса. С его помощью получают представление о поведении системы с точки зрения возможных ошибок и сбоев. «Ядром» данного метода является построение древовидной схемы на основе системного анализа. Сюда заносятся все возможные варианты сбоев, неисправностей, неполадок, отказов и ошибок. Эти комбинации связываются на основе булевой логики, причем здесь используются те же символы, что и в функциональных схемах (рис. 825).

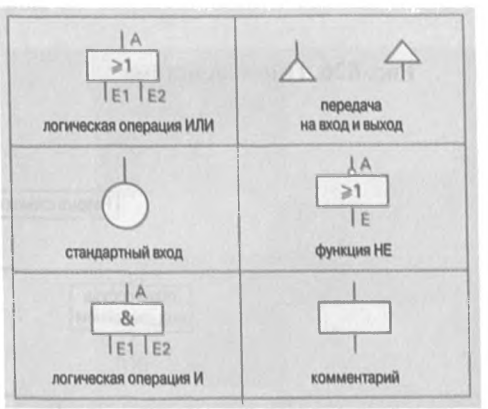


Рис. 825. Условные обозначения для дедуктивного метода анализа неисправностей (выборка)

При этом должно быть выполнено следующее:

- подсчет всех комбинаций, способных привести к отказу оборудования,
- оценка частоты встречаемости нежелательных событий,
- определение всех возможных комбинаций отказов.

Задание: Генерация сжатого воздуха.

В отношении системы генерации сжатого воздуха требуется составить древовидную схему отказов для дедуктивного метода анализа неисправностей (рис. 826). Необходимо исследовать критерий: «разрыв стенок сосуда под давлением». Функция: клавишным переключателем S2 осуществляется включе-

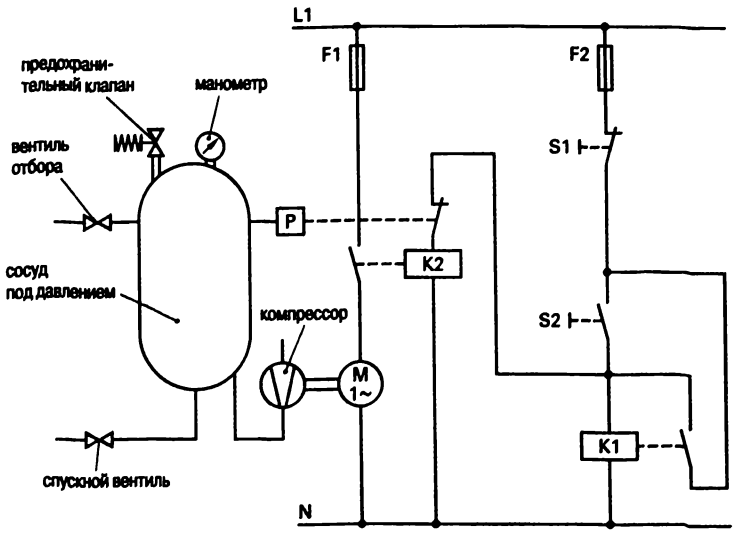


Рис. 826. Пневмосистема

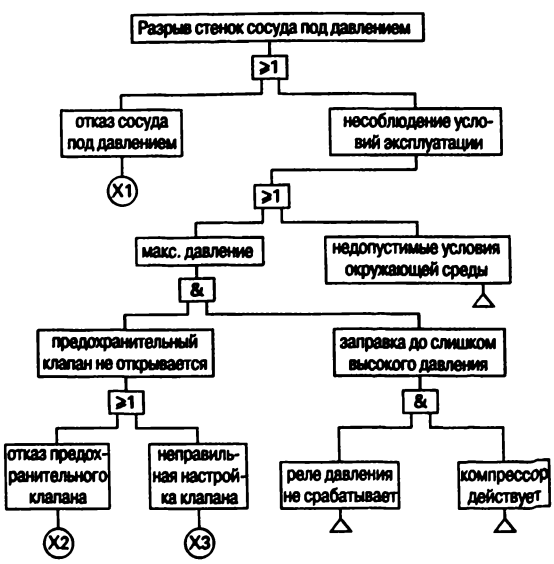


Рис. 827. Древовидная схема неисправностей

ние установки. Самоблокирование вызывает длительный сигнал. При достижении максимального давления происходит отключение системы через реле давления Р.

Решение: см. рис. 827.

10.8. Модерация

Основной задачей модератора является координация занятий в группе (рис. 828). Он заботится о том, чтобы группа не теряла темпа работы и действовала слаженно и активно; модератор выдает задания, но не несет ответственности за содержание и качественный уровень идей, предложений и оценок, высказанных членами группы.

Рис. 828. Группа на занятиях с модератором

Здесь ответственность лежит на каждом участнике. Модератор лишь направляет, так сказать, «работу мысли» всех присутствующих путем точно сформулированных или выраженных в наглядной форме вопросов. Он постоянно ориентирует группу на общую поставленную цель, но при этом не комментирует и не оценивает выступления участников. Его усилия направлены, в основном, на создание такой обстановки в группе, чтобы:

- каждое мнение было услышано и рассмотрено,
  было предоставлено слово каждому желающему,
  все процессы и результаты имели визуальный ряд,
- готовность к компромиссу считалась нормой,
- работа велась на принципах взаимопомощи.

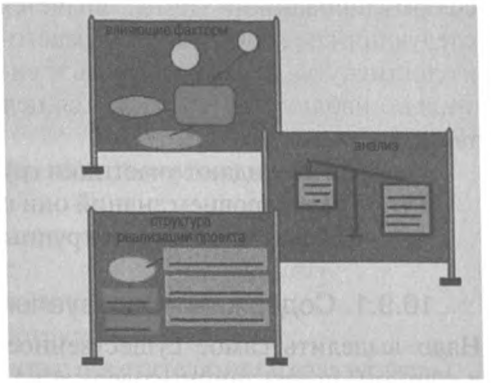


Рис. 829. Модерационные доски

Важнейшим вспомогательным средством при организации работы в группе являются специальные координационные доски для представления результатов (рис. 829).

Фазы модерации:

1. Вводно-ориентирующая фаза: вступление, наводящие вопросы, рабочие задания.

2. Рабочая фаза: выполнение заданий — индивидуально, с партнером или в составе группы.

3. Завершающая фаза: документирование, презентация результата.

10.9. Презентация

Продукцию, результаты работы, проекты, идеи надо еще суметь представить в самом выгодном свете и убедить других в достоинствах предлагаемого товара или услуги. При этом требуется прежде всего завладеть вниманием слушателя, понятно и ярко подать заготовленные тезисы. В принципе, весь процесс презентации можно отобразить в четырех пунктах:

1. Определение цели и состава целевой группы.
2. Содержание и визуальное представление (рис. 830).
3. План проведения.
4. Организация.

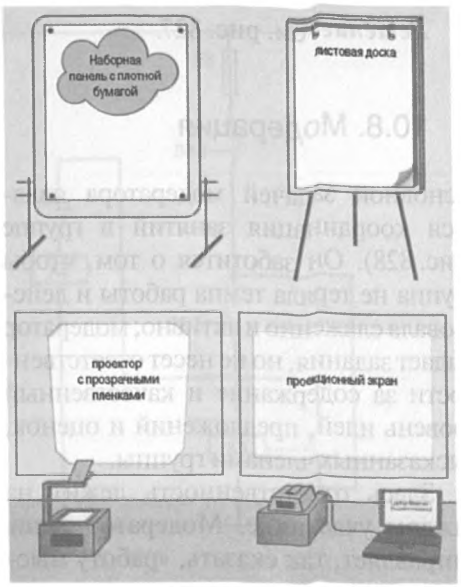


Рис. 830. Средства визуализации

Цели и темы могут постоянно меняться. Признаком правильно сформулированной темы является следующий постулат: то, что предстоит достигнуть, можно измерить и визуально наблюдать. Что касается целевой группы, то здесь следует выяснить такие вопросы:

- Чего ожидают участники группы?
- Каким уровнем знаний они обладают?
- Каковая численность группы?

10.9.1. Содержание и визуальное представление

Надо выделить самое существенное в данной презентации содержание. Оно должно быть представлено в высшей степени выразительно, но одновременно должно быть ограничено наиболее важными моментами. В зависимости от вида информации, имеются разные способы визуального представления.

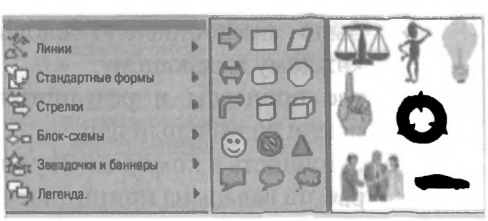


Рис. 831. Графические элементы и символы

1. Текстовое представление

- печать с использованием строчных и прописных букв,
- выбор шрифта с расчетом на легкость прочтения всеми участниками,
- меткие и отчетливые надписи, короткие и четкие предложения.

2. Графические элементы и символы

Эти средства оформления служат для выделения и структурирования информации. При этом различают графические элементы и символы (рис. 831).

3. Диаграммы

Диаграммы служат для наглядного представления последовательности операций по проектированию, для отображения соотношений параметров или технических связей. Для визуализации временных последовательностей особенно удобно пользоваться ***y-t***-диаграммой, где время (***t***) представлено на горизонтальной оси (абсциссе), а зависимая от нее величина (***y***) — на вертикальной оси (ординате) (рис. 832).

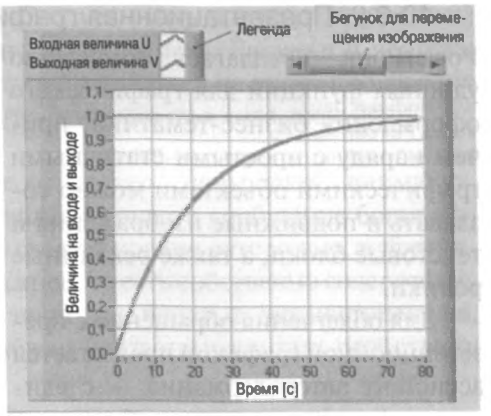


Рис. 832. Y-t-диаграмма

Диаграммы в виде полос рекомендуются, прежде всего, для визуального представления сравнительных цифровых данных из таблиц (рис. 833). Но — во избежание потери наглядности — такая диаграмма не должна содержать слишком много полос. Улучшению читаемости, несомненно, будет способствовать использование разных цветов. Иногда целесообразно применение круговых или «тортовых» диаграмм. Для их составления можно воспользоваться специальными программами, например Excel.

Рис. 833. Диаграмма в виде полос

Что нужно для проведения презентации:

- яркое и выразительное оформление помещения,
- привлекательный внешний вид сотрудников,
- установление зрительного контакта с посетителями («глаза в глаза»),
- краткая и четкая речь,
- поддержка своей речи мимикой и жестами,
- при использовании графических средств — выделить время на их изучение,
- в завершении беседы сделать короткое резюме,
- по окончании беседы поблагодарить слушателей за внимание.

Как действовать в случае нарушения хода презентации:

- Опоздавших достаточно приветствовать кивком головы.
- Ошибившись, быстро поправиться без долгих извинений.
- Забыв какой-то специальный термин, описать понятие своими словами.

  При технических неполадках: отказаться от вспомогательных средств или сделать небольшой перерыв на устранение сбоя. При необходимости подготовить копии графической продукции и раздать участникам.

10.9.2. Презентационная графика с использованием PowerPoint

PowerPoint предлагает множество удобных функций для графического оформления бизнес-тематики, причем наряду с простыми статичными графическими объектами можно создавать и подвижные изображения и текстовые блоки, а также рекламные ролики.

Для облегчения обращения с презентационной графикой предлагается ассистент автосодержания — с единым диалогом для всех необходимых задач. Он составляет основной каркас, на котором создается структура, подобная показанной на рис. 834. После ввода необходимых данных запрашивается дальнейшее переключение. Для получения отдельных пленок существуют уже готовые образцы (рис. 835).

При составлении модели презентации необходимо придерживаться следующих правил:

- всегда использовать одинаковое изображение заднего плана,
  всегда выбирать одинаковую структуру пленок,
  фирменные логотипы всегда размещать в одном месте,
  увеличения всегда выполнять слева вниз, вправо вверх,
  вид шрифта и размер текста должны быть удобочитаемы, и их лучше не изменять,
  самые важные аспекты выделять с помощью графических элементов.

Пример: Пленка с информацией о структуре механической системы.

На рис. 836 показан стандартная пленка с фоном, имеющим определенную динамику. Текста здесь мало, используемые цвета гармоничны и

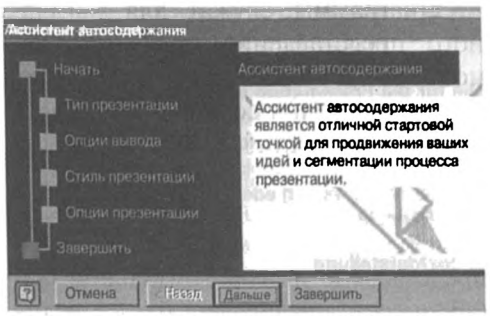


Рис. 834. Ассистент создания страницы

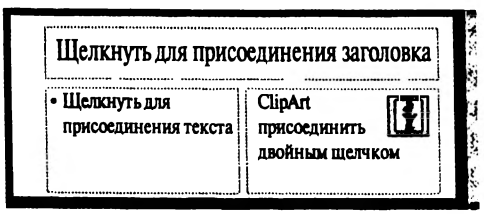


Рис. 835. Базовая структура страницы

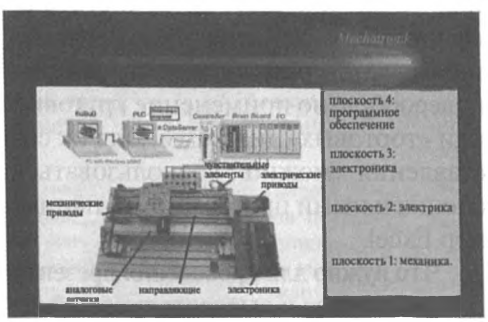


Рис. 836. Образец структуры страницы

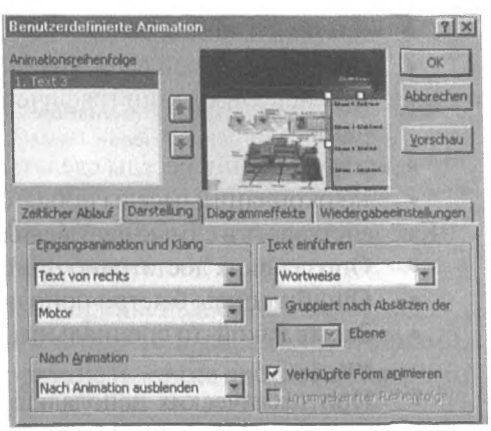


Рис. 837. Анимация текстового блока

несут определенный технический смысл. Следует иметь в виду, что слишком пестрое изображение может восприниматься как помеха. Рисунки и чертежи должны быть «говорящими», текстовые строки выводятся на экран поочередно и снабжены номерами. Это позволит быстро отыскать их в ходе дискуссии.

Презентация на экране

Отмечено, что анимированные объекты резко повышают внимание. Анимированные баннеры, например позволяют донести сообщение более эффективно. Тем не менее, использовать их следует крайне осторожно, в противном случае от зрителя ускользнет самое важное, то есть собственно содержание. Представляется целесообразным вводить текстовые блоки на экран ступенями, для чего каждый объект может быть снабжен соответствующими свойствами (рис. 837).

ГЛАВА 11

ОРГАНИЗАЦИЯ И ОХРАНА ТРУДА

11.1. Человек как главная ценность

В деле организации труда во главу угла ставится человек, то есть именно человек со всеми его способностями и возможностями является определяющим фактором при выборе характера и способа работы. Эта работа должна быть:

- исполнима,
- переносима,

а также должна

- нравиться и
- приносить удовлетворение.

Довольный сотрудник — это всегда мотивированный сотрудник, который, в отличие от его немотивированного коллеги, добьется гораздо большего на уровне своей компетенции.

Организация труда касается, прежде всего, состояния рабочих мест с точки зрения эргономики, а также выбора оптимальных форм и способов выполнения порученной работы.

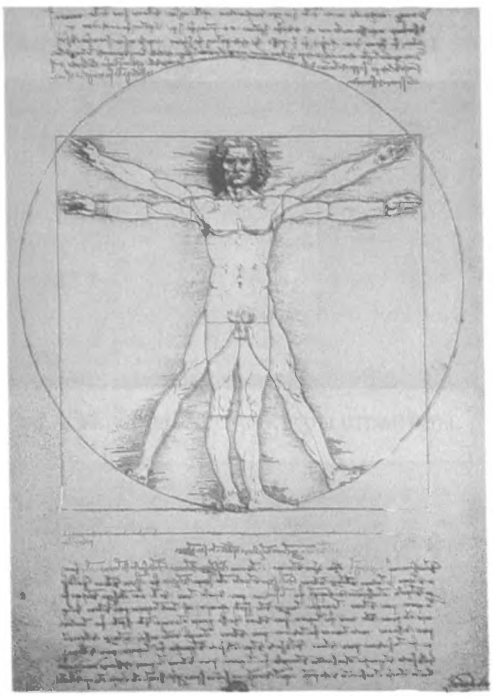


Рис. 838. Рисунок Леонардо да Винчи (итальянский художник, скульптор, техник, естествоиспытатель, 1452-1519 гг.)

Эргономика

Под «эргономикой» понимается наилучшее приспособление средств труда и всей рабочей среды к работающим людям. Человек воспринимается как главная ценность, мерило всего, и для него должны быть созданы оптимальные условия, позволяющие ему трудиться не только с пользой, но и с удовольствием. С этой целью параметры рабочего места должны подбираться к физическим параметрам конкретного человека, но никак не наоборот. Изучением физической организации человека, то есть, по сути, измерением его физических

параметров, занимается такая наука как антропометрия (рис. 838).

Конструирование машин, оборудования и формирование подходящего окружения для рабочих мест должны осуществляться с таким расчетом, чтобы они во всех отношениях максимально соответствовали потребностям и возможностям человека, то есть были эргономичны. Важнейшие критерии организации рабочего места на принципах эргономики состоят в следующем:

- не стоит предъявлять к человеку ни завышенных, ни заниженных требований, средства труда должны быть безопасны как по своему исполнению, так и по способу обращения с ними, работу желательно выполнять в естественном положении тела, то есть с нормальной осанкой (рис. 839), окружение рабочего места (в смысле вентиляции, шума, жары, холода, освещения) не должно угнетать человека.

При соблюдении перечисленных критериев сохраняются здоровье и работоспособность человека, что чрезвычайно благоприятно не только для самого работника, но и для работодателя и общества в целом.

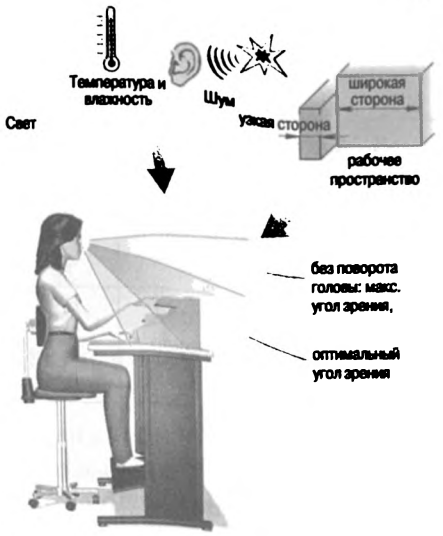


Рис. 839. Окружающая среда рабочего места и осанка работника

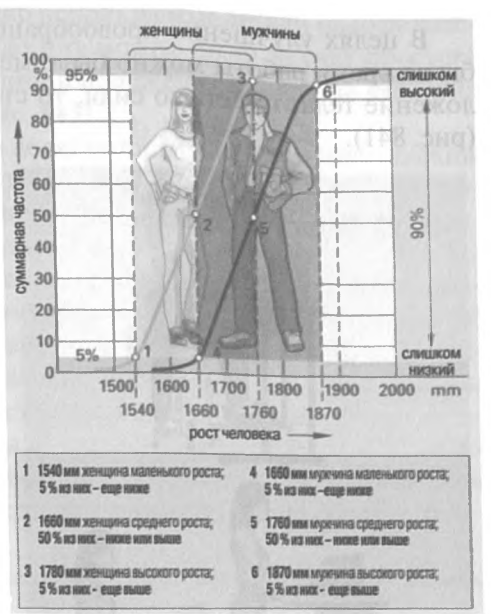


Рис. 840. Суммарная частота в % в зависимости от роста человека

11.2. Организация рабочего места

Рабочее место должно быть всегда организовано таким образом, чтобы оно в достаточной мере соответствовало индивидуальным параметрам человека. При этом не стоит забывать, что женщины в среднем несколько меньше мужчин (рис. 840), и, следовательно, нуждаются в иной рабочей площади, иной высоте сидений и иной зоне досягаемости, в пространстве которой они могут дотянуться до любого предмета, необходимого для работы (так называемое «пространство захвата») (см. табл. 87).

Таблица 87. Размерные параметры рабочего места

Высота рабочей поверхности		
Работа только сидя	*Работа только стоя*	*Работа и сидя, и стоя*
Мужчина: около 72 см Женщина: около 69 см	Мужчина: около 105 см Женщина: около 95 см	Распределение веса: 60 % на площадь сидения и 40 % на ноги
Высота подставки под ноги при высоком оборудовании	*Высота офисного стула (ДИН 4552)*	*Размер пространства захвата*
высота около 30 см площадь примерно 40x40 см угол: 20°	высота сиденья: 420-500 мм глубина сиденья: 380-440 мм ширина сиденья: 400-480 мм	Особого внимания требует организация захватного пространства для лиц невысокого роста

В целях улучшения кровообращения следует позаботиться о том, чтобы во время работы можно было менять осанку или работать, изменяя положение тела, то есть то сидя, то стоя, или, возможно, даже прохаживаясь (рис. 841).

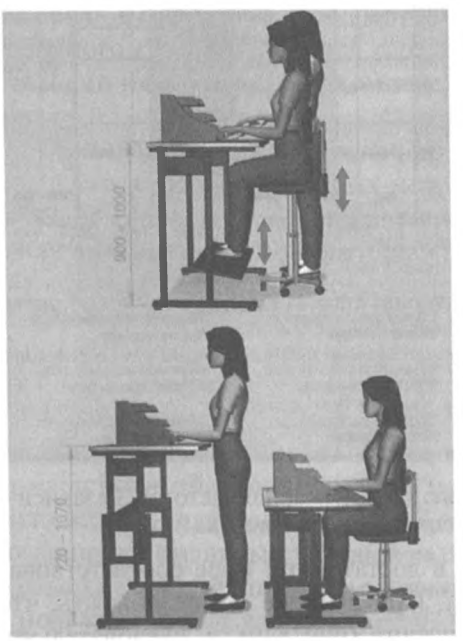


Рис. 841. Концепция работы в положении сидя/стоя для индивидуальной смены нагрузок

При так называемом «динамичном сидении» достигается снижение нагрузки на мускулатуру спины и опорно-двигательный аппарат. Это заметно повышает работоспособность человека, он может максимально концентрировать свое внимание и успешно трудиться без излишнего перенапряжения. Кроме того, при таком способе работы удается избежать или

Рис. 842. Пространства захвата

хотя бы свести к минимуму такие явления как утомляемость и головные боли.

Итак, резюмируя вышесказанное, приходим к однозначному выводу: не стоит допускать снижения производительности сотрудников из-за плохо подобранных средств труда, а нужно стремиться к максимально полному использованию их трудоспособности на протяжении всего рабочего дня.

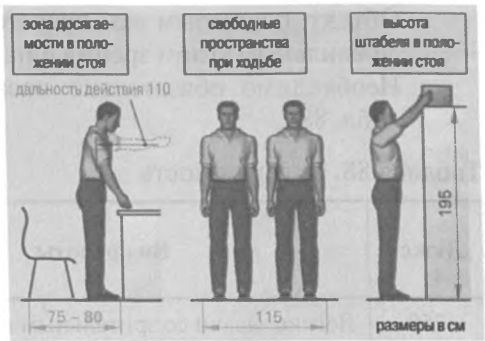


Рис. 843. Двигательные пространства человека

Параметры зон действия или пространства захвата задаются через длину и подвижность руки; но не все зоны в данном пространстве позволяют гармонично выполнять требуемые движения. Благоприятные или менее благоприятные положения суставов ограничивают двигательное пространство человека (рис. 842).

При организации рабочего места все исполнительные элементы, инструменты и заготовки должны располагаться внутри максимального пространства захвата. Если это невозможно, то редко используемые детали надо разместить таким образом, чтобы дотянуться до них можно было за счет простого наклона корпуса. Понятно, что при работе в положении стоя зона действия работника значительно расширяется (рис. 843).

Захватные пространства, как и зоны досягаемости для рук и ног, должны быть проверены с точки зрения правил техники безопасности. Следует строго соблюдать существующие предписания касательно безопасных расстояний по ДИН ЕН 294 и точно регулировать эти расстояния.

Удаленность защитных приспособлений (решеток, ограждений) от подлежащих защите конструкций (например прессов, вращающихся валов) представлены в табличной форме. При этом — в зависимости от уровня риска — могут выбираться небольшие расстояния или меньше тех, что указаны в таблице. При выборе безопасного расстояния необходимо учитывать вероятность наступления несчастного случая и предполагаемую тяжесть возможного ущерба. Так, риск от трения или износа деталей несравненно ниже, чем риск, связанный с процессами такого рода, как намотка, навивка или т. п.

Запомните основные правила:

- Рабочее положение кистей рук не должно быть выше уровня вашего сердца.
- Длительной статичной работы (например долгого удержания любого предмета) желательно избегать.
- Работа с поднятыми над головой руками условно допустима — не часто и лишь на короткое время.
- Работа не должна быть монотонной, полезно менять иногда ее темп и характер.
- Физически тяжелую работу лучше выполнять с помощью механических средств (кранов, подъемников и проч.).

- Объект, с которым вам предстоит работать, должен располагаться под правильным углом зрения и на нужном расстоянии от глаз.
- Необходимо обязательно позаботиться о хорошем освещении (см. табл. 88).

Таблица 88. Освещенность

Люкс[1]	Вид работы	Пример типичной профессии
250	Легкие задачи со зрительным восприятием, простейшие монтажные работы	Булочники, мясники, переплетчики книг
500	Лабораторные исследования, монтаж, работа у монитора	Столяры, модельщики
750	Контрольные операции с проверкой цвета, прецизионный монтаж	Слесари-инструментальщики
1000	Выполнение чертежей, тонкая механическая работа	Проектировщики, конструкторы
1500	Монтаж точных электронных деталей, очень кропотливые операции в области точной механики и оптики	Электронщики, оптики, мехатронщики
2000	Тончайшая работа	Часовые мастера, ювелиры

[1] Единица измерения света (лк) — световой поток в лм (люмен)/площадь в м^2.

Рабочее место пользователя ПК

Связь между пользователем компьютера и самим компьютером называют взаимодействием человека и машины, важнейшей частью которого является рабочее место пользователя ПК. Оно должно отвечать всем известным требованиям эргономики, то есть должно «подходить» пользователю, а именно таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечивалось эффективное использование компьютера и, с другой стороны, пользователь не подвергался чрезмерно высоким нагрузкам. Здесь различают эргономику программного обеспечения, к которому относится операционная среда пользователя, и эргономику аппаратного обеспечения.

К эргономике аппаратного обеспечения принадлежит физическая форма рабочей среды, например клавиатура и монитор, а также расположение этих средств на рабочем месте и положение самого рабочего места в рабочем помещении (рис. 844). Мониторы должны располагаться в направлении поперек окна, чтобы глаза пользователя могли настраи-

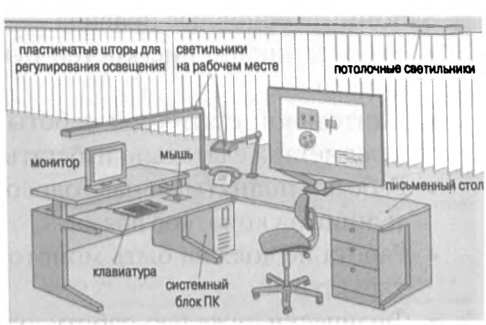


Рис. 844. Рабочее место пользователя ПК

ваться на яркость экрана, и светлый фон окна не мешал ему. Окна должны быть снабжены пластинчатыми шторами или жалюзи, чтобы исключить проникновение прямых солнечных лучей и соответствующим образом регулировать сочетание дневного и искусственного света. Именно с учетом этого обстоятельства компьютерные столы при планировании помещения устанавливают обычно на северной стороне. Потолочные светильники рекомендуется оснастить противоослепляющей защитой и установить таким образом, чтобы исключались световые блики на экране монитора. Специальные светильники для компьютерных залов позволяют — благодаря своим пластинам параболической формы и параболическим же отражателям — получить правильное освещение рабочего пространства (рис. 845).

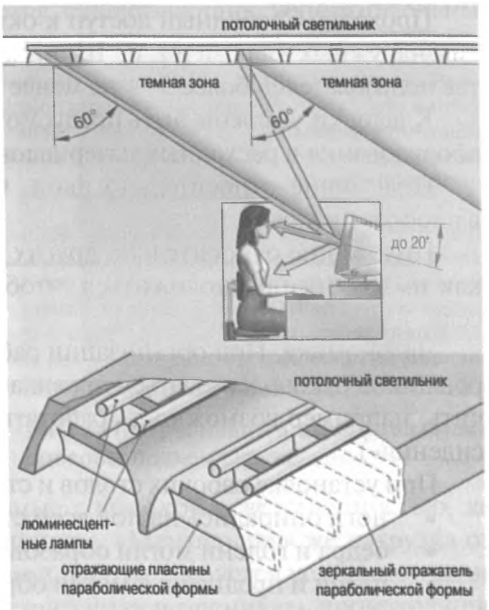


Рис. 845. Специальное освещение компьютерного зала

Монитор должен регулироваться по высоте, так чтобы — в соответствии с ростом пользователя — верхняя кромка экрана находилась на уровне его глаз, а при нажатии клавиш локоть был согнут под углом 90° (рис. 846). Перед клавиатурой следует оставить еще небольшое пространство для рук — шириной около 5 см до закругленного края стола. Стул надо отрегулировать таким образом, чтобы под столом хватило места для удобного положения ног, а спинка стула обеспечивала правильную осанку.

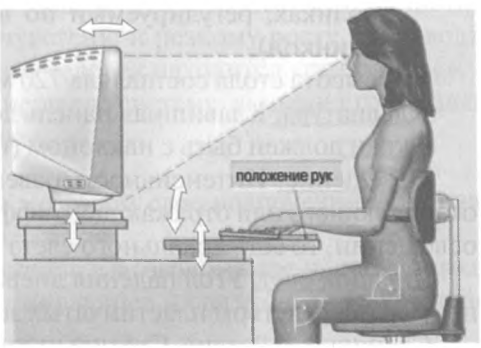


Рис. 846. Работа за монитором

Итак, при организации рабочего места пользователя ПК надо обратить особое внимание на качество освещения и установку монитора, лучше всего под прямым углом к фронтону окна.

Организация рабочего места пользователя ПК

Рабочие расстояния. Минимальная ширина 1600 мм, минимальная высота 800 мм, лучше 900/11000 мм. Расстояние экрана относительно глаз оператора 450-800 мм.

Пространство для перемещения. Свободная площадь пространства для перемещения не менее 1,5 м², позади рабочего стола оставить не менее 1 метра.

Проходы. Свободный доступ к окнам, термостатам радиатора, выключателям наружных жалюзи и т. п. Ширина проходов не менее 800 мм, при количестве пользователей более 5 — не менее 1000 мм.

Кладовки. Должны быть предусмотрены помещения для хранения рабочего оборудования и расходных материалов.

Положение относительно окон. Фронтоны окон не должны отражаться в плоскости экрана.

Положение относительно других рабочих мест. Работники сами решают, как им удобнее расположиться, чтобы видеть (или не видеть) экран ПК соседа.

Эргономика. При организации рабочих мест пользователей ПК и проектировщиков руководствоваться правилами и требованиями эргономики (обеспечить, например возможность работать стоя или по принципу «динамического сидения»).

При установке рабочих столов и стульев следует позаботиться о том, чтобы:

- ноги опирались на пол всей ступней,
- бедра и голени могли образовать угол около 90°,
- плечи и предплечья могли образовать угол около 90°,
- самая верхняя строка экрана находилась не выше уровня глаз,
- высота под рабочим столом составляла не менее 650 мм, ширина — 580-600 мм,
  для сиденья был выбран офисный стул (на 5 точках опоры, лучше на роликах, регулируемый по высоте, с подлокотниками и изогнутой спинкой),
- высота стола составляла 720 мм.

Клавиатура. Клавишная панель должна быть отделена от дисплея.

Экран должен быть с наклоном (на 5° вперед, на 20° назад).

Освещение. Интенсивность освещения должна составлять 500 люкс, без ослепляющего или отражающего эффекта. Обязательно предусмотреть общее освещении, то есть локального света только на рабочем месте недостаточно.

Дневной свет. Угол падения дневного света должен регулироваться — например посредством пластинчатых занавесей, наружных жалюзи.

Слепящее действие. Светильники и просто светлые поверхности не должны отражаться от стен, потолков или мебели.

Акустика. При работе за монитором уровень шума должен быть ниже 40 дБ(А), допустимый максимум составляет около 55 дБ(А).

Климатические условия. Минимальный объем воздуха на каждого работника: 15 м^3, температура 21-22°С (не выше 26°С), влажность воздуха от 40 до 65 %, скорость движения воздуха ниже 0,15 м/с на рабочем месте.

11.3. Рабочие нагрузки

11.3.1. Нагрузки в зависимости от вида деятельности

Как известно, рабочая нагрузка может быть физической и психической. Понятно, что при физической нагрузке напрягаются прежде всего мускулы

и костный скелет. Благодаря множеству существующих вспомогательных рабочих средств удается избежать возможных перегрузок при физической работе. Ведь подъем тяжестей и транспортировка грузов без применения вспомогательных технических средств способны причинить серьезный вред здоровью даже самого сильного человека (рис. 847).

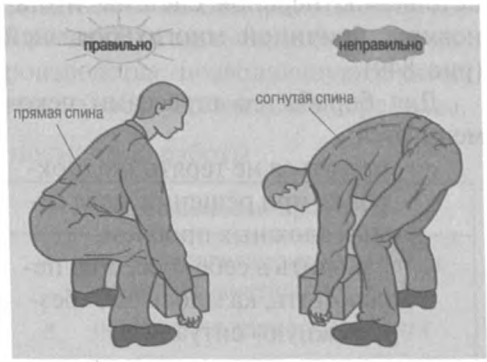


Рис. 847. Правильный и неправильный способы подъема груза

Психические нагрузки, в свою очередь, классифицируются как эмоциональные (на уровне органов чувств) и ментальные (на уровне образа мыслей и склада ума). Так, чрезвычайно сильное эмоциональное напряжение вызывают работы, связанные с высокой ответственностью, дефицитом времени или душевным волнением. «Ментальная» же нагрузка означает, что для выполнения той или иной работы требуется усиленно «шевелить» мозгами, чтобы правильно регистрировать и оценивать происходящие процессы. При этом любые завышенные требования к работнику вызывают у него сильный стресс и могут стать причиной многочисленных заболеваний — вплоть до получения инфаркта. С другой стороны, состояние, так сказать, на уровне среднего стресса (без чрезмерно завышенных требований), напротив, способно привести к отличному самочувствию и резкому росту производительности. При этом обычно говорят, что человек находится «на подъеме».

Стресс, действуя через вегетативную нервную систему, вызывает гормональный выброс адреналина и норадреналина.

Примечание:

Адреналин — гормон, образующийся в мозговом слое надпочечников; повышает частоту пульса и кровяное давление.

Норадреналин — гормон, образующийся в мозговом слое надпочечников и в нервной ткани; оказывает сосудосуживающее и спазмолитическое действие.

Причиной этого может быть сильное эмоциональное возбуждение или особая психическая нагрузка. Гормоны вызывают нервное беспокойство, повышенное кровяное давление и усиленную частоту пульса. Отмечается сильное сердцебиение и учащенное дыхание (рис. 848). Мускулы напряжены. Человек находится в состоянии повышенной работоспособности и действует чрезвычайно активно — но лишь до тех пор, пока не наступает перегрузка. Перегрузки на основе длительных или часто повторяющихся стрессов либо чрезмерных психологических напряжений (например

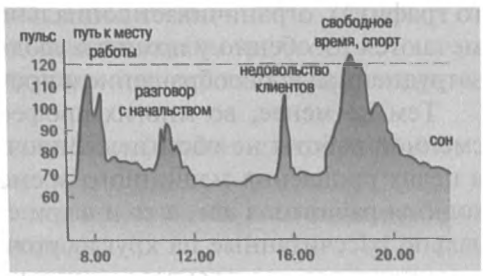


Рис. 848. Пульсовой удар в течение дня

во время острого спора) приводят к истощению нервной системы и становятся причиной многих болезней (рис. 849).

Для борьбы со стрессами рекомендуется:

- стараться не терять хладнокровия при решении даже самых сложных проблем, находить в себе мужество переломить, казалось бы, «безнадежную» ситуацию, научиться выделять из всего важного — наиважнейшее.

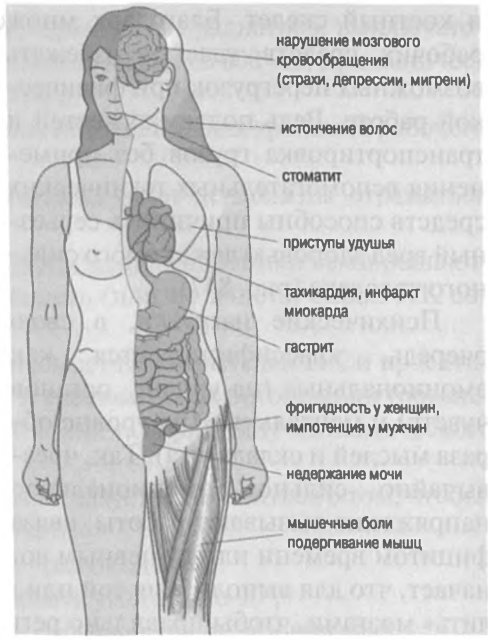


Рис. 849. Последствия стресса

11.3.2. Нагрузки в зависимости от организации труда

Особенно утомительной считается посменная работа, так как при этом приходится работать вопреки своему физиологическому состоянию (рис. 850). Дневной сон после ночной смены не обеспечивает полноценного отдыха, человек недосыпает и не успевает восстановить свои силы. Это, в свою очередь, приводит к потере концентрации внимания, снижению работоспособности и повышению опасности несчастных случаев на производстве.

Но и физические функции человека имеют суточный цикл и регулируются на основе смены светлого и темного времени суток, то есть смены дня и ночи.

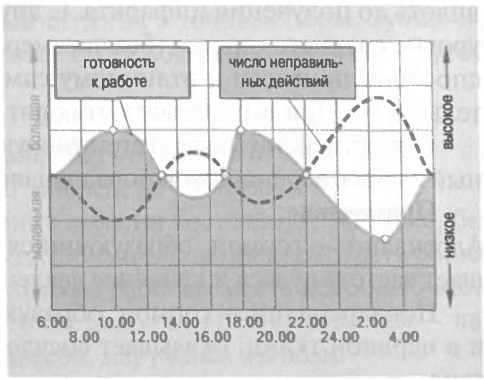


Рис.850. Трудоспособность и число сбоев в работе в течение суток

Далее, сменная работа в той или иной степени (в зависимости от сменного графика) ограничивает социальные контакты человека. В частности, отмечаются (особенно у пожилых людей) такие явления как потеря аппетита, затрудненное кровообращение и прочие недуги.

Тем не менее, во многих профессиях (в сфере услуг, в больницах) без сменной работы не обойтись. Впрочем, и на промышленных предприятиях в целях продления машинного времени станков и оборудования тоже приходится работать в две, а то и в три смены. Существуют производства, изначально рассчитанные на круглосуточную работу: например доменные печи, цементные заводы, электростанции не отключаются «на ночь», и при них постоянно должен находиться обслуживающий персонал. Негативные реакции

человека на вынужденную сменную работу весьма разнообразны (см. табл. 89). Рекомендуется по возможности отказываться от ночной работы либо сокращать число лиц, работающих в третью смену. В этом смысле большие надежды возлагаются на автоматизацию производства, позволяющую технике работать без постоянного присмотра со стороны обслуживающего персонала.

Таблица 89. Отрицательные последствия посменной работы

Проблемы со здоровьем	Психосоциальные проблемы
• нарушение сна потеря аппетита боли в области желудка затрудненное кровообращение снижение работоспособности • ослабление внимания	• отсутствие возможности для регулярных занятий спортом ослабление дружеских связей проблемы с половым партнером снижение частоты посещений культурных мероприятий

Предприятия с раскинувшимися по всему миру представительствами способны, используя современные средства связи, организовать работу таким образом, чтобы офисные сотрудники строили свой рабочий график согласно вращению земного шара. Например в Берлине рабочий день уже заканчивается, а в американском Сан-Франциско только начинается и продолжается как третий день в японском Токио. Благодаря этому работа идет круглые сутки, но сотрудники находятся на своих рабочих местах исключительно в дневные часы (рис. 851).

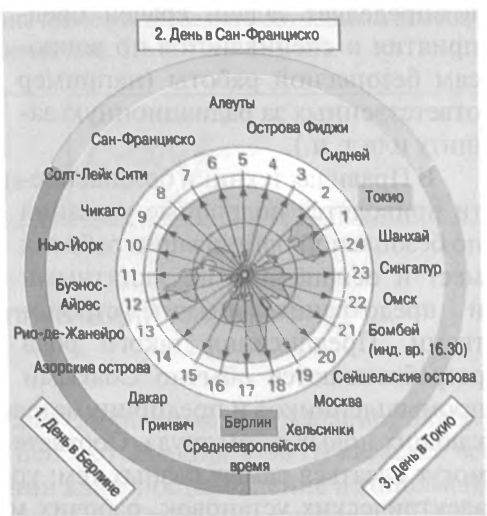


Рис. 851. Дневная работа круглые сутки

Берлин, Гринвич, Дакар, Азорские острова, Рио-де-Жанейро, Буэнос-Айрес, Нью-Йорк, Чикаго, Сан-Франциско, Алеуты, Острова Фиджи, Сидней, Токио, Шанхай, Сингапур, Омск, Бомбей (индийское время 16.30), Сейшельские острова, Москва, Хельсинки.

Законодательные акты касательно организации и охраны труда

Организация и охрана труда регламентируются преимущественно следующими законодательными актами:

- Предписание касательно принципов классификации предприятий по сферам, секторам и отраслям.
  Закон о правах и обязанностях предпринимателя и коллектива рабочих и служащих данного предприятия.
  Закон о безопасности труда.
  Правила техники безопасности.

В Предписании касательно принципов классификации предприятий, кроме прочего, устанавливаются требования в отношении организации конкретных рабочих мест, в том числе рассматриваются следующие вопросы: оборудование комнат отдыха, туалетов, оснащение вентиляцией, уровень освещения, оптимальная температура помещения и проч.(рис. 852).

В Законе о правах и обязанностях предпринимателя и коллектива рабочих и служащих конкретного предприятия рассматриваются, в частности, вопросы своевременного информирования работников в случае возможных изменений мест работы, устанавливаются права и обязанности совета представителей рабочих и служащих предприятия.

Закон о безопасности труда регулирует организацию рабочих процессов с точки зрения охраны труда и определяет задачи врачей предприятия и специалистов по вопросам безопасной работы (например ответственных за радиационную защиту или т. п.).

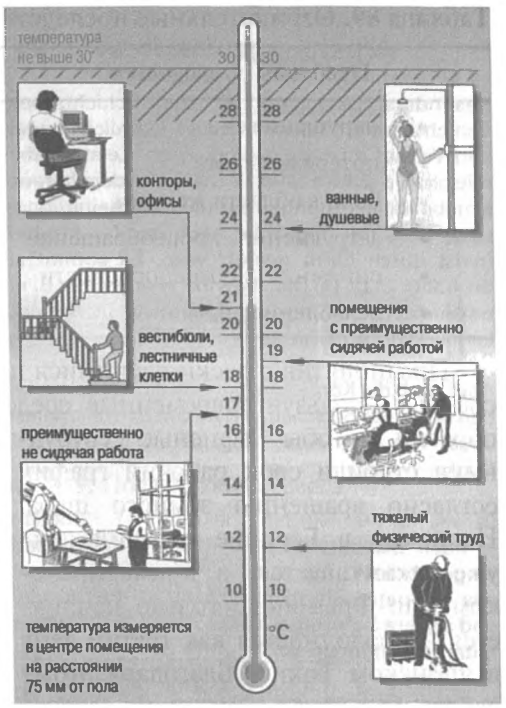


Рис. 852. Температура в рабочих помещениях

В Правилах техники безопасности приводятся подробные указания по безопасной организации рабочих мест и оснащению их защитными и предохранительными устройствами. Предписания такого рода разрабатываются обычно Союзами промышленников и предпринимателей с учетом текущего прогресса и возникающих новых форм труда. Соответствующие правила техники безопасности могут касаться самых разных тем: уровня шума (см. табл. 90), характеристик электрических установок, рабочих машин, прессов и штампов, напольного внутризаводского транспорта и проч.

Повторение и закрепление материала

1. *Назовите важнейшие критерии организации рабочих мест по принципу эргономики.*
2. *Что такое «динамичное сидение» и как достигается индивидуальное изменение нагрузки?*
3. *Для чего компьютерные залы оснащают специальными светильниками и в чем особенность такого освещения?*
4. *Как экран монитора должен соотноситься с уровнем глаз?*
5. *Перечислите негативные последствия сменной работы.*
6. *Каковы важнейшие законы и регламентации касательно организации и охраны труда?*

Таблица 90. Уровни звукового давления

Род шума	*Уровень звукового давления, дБ(А)*		
Порог слышимости	0		
Шелест листьев	20		безопасно
Шепот, уровень шума в спокойных квартирах	30		
Нормальный спокойный разговор	40		
Громкость на уровне комнаты	50	55	
Шум от офисной работы	60		
Средний уровень шума, издаваемого транспортом	70		обременительно
Грохот заводского цеха	80	85	
Большой симфонический оркестр	100		
Пневматический молот	125		тяжело
Клепальный пресс	135	130	
Реактивный двигатель	140		болезненно
Звуковое давление p есть действительное значение вызываемого звуковыми колебаниями переменного давления. Единица измерения: Па (1 Па = 1 Н/м²).			
L_p уровень звукового давления, дБ p звуковое давление p_o исходное звуковое давление p_o = 20 мкПа	$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$		

11.4. Европейские нормы эксплуатации машин и оборудования

Директива Европейского Экономического Сообщества по безопасной эксплуатации машин и оборудования (98/37/ЕЭС, от 22 июня 1998 г.) касается всех стран-членов ЕЭС и известна в Германии как 9 постановление в дополнение к закону о безопасности машин и оборудования. Оно относится ко всем машинам и машинным установкам, причем следует подчеркнуть, что «машинами» в данном случае считаются также предохранительные/защитные устройства, а также любое сменное оснащение.

Под термином «машина» понимается совокупность связанных между собой деталей или устройств, из которых хотя бы одна (одно) является подвижным.

Названная Директива включает в себя 4 главы с 16 статьями и имеет 7 приложений (см. табл. 91). Все положения Директивы подлежат исполнению как изготовителями, так и эксплуатационниками (пользователями) машин и оборудования. В приложении 1 к данной Директиве сформулированы основополагающие требования в отношении безопасности и охраны труда на производстве. Итак, требуется:

принять меры по устранению или минимизации опасности на рабочем месте,
при невозможности устранения опасности — принять меры по обеспечению надежной защиты на рабочем месте,
информировать работников о возможной опасности при эксплуатации той или иной машины.

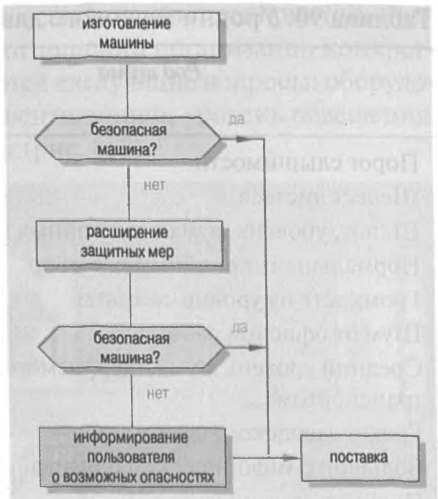


Рис. 853. Минимизация опасности

Итак, необходимо создавать максимально безопасные машины, а при отсутствии полной безопасности — принять меры по надежной защите пользователя, но если и это не гарантирует абсолютной безопасности — дать исчерпывающую информацию об этом в сопровождении необходимых советов и рекомендаций (рис. 853).

Таблица 91. Структура Директивы ЕЭС по безопасности машин и оборудования

Директива 98/37/ЕЭС, от 22 июня 1998 г.		
Глава 1:	Область применения, ввод в обращение Статьи 1 — 7	
Глава II:	Принятие и утверждение соглашений Статьи 8 и 9	
Глава III:	Знак СЕ — европейский контроль качества Статья 10	
Глава IV:	Заключительные положения Статьи 11 — 16	
Приложение I:	Основные требования безопасности и охраны здоровья при проектировании и конструировании машин и защитных устройств. *(Подробное описание со ссылкой на точное выполнение.)*	
Приложение II:	A. B. C.	Содержание Декларации о соответствии ЕС (для машин) Содержание Декларации производителя машин и оборудования Содержание Декларации о соответствии ЕС (для защитного оборудования)
Приложение III:	Знак европейского контроля качества СЕ	
Приложение IV:	Типы машин и защитного оборудования, в отношении которых применяется способ согласно ст. 8	

Таблица 91. (окончание)

Директива 98/37/ЕЭС, от 22 июня 1998 г.	
Приложение V:	Декларация о соответствии ЕС
Приложение VI:	Испытание образцов по нормам ЕС
Приложение VII:	Минимальные критерии выбора контрольных инстанций
Приложение VIII:	Отмененные предписания и место для таблиц

11.4.1. Меры безопасности и охрана здоровья на производстве

Материалы. Используемые при создании машин материалы должны быть безопасны для здоровья пользователей, то есть, например они не могут быть ядовитыми или хрупкими на уровне причинения вреда здоровью. Следовательно, при выборе материала необходимо учитывать все его характеристики: усталость, коррозию, старение и износ — и обязательно предусмотреть соответствующие меры по уходу и техническому обслуживанию.

Освещение. Помимо обычного освещения помещения, должны быть предусмотрены и дополнительные источники света.

Безопасность. Машина должна быть безопасна при транспортировке, установке и т.д., поэтому рекомендуется снабжать ее соответствующими вспомогательными элементами, например проушинами для фиксации при подъеме и перемещении и др. (рис. 854).

Рис. 854. Проушины для подъема или перемещения робототехники

Управляющие и командные устройства. Эти устройства должны функционировать надежно и безотказно. Возможный сбой в работе управляющей логики не должен приводить к опасным ситуациям.

Исполнительные органы. При использовании рычажных переключателей, маховиков, клавиатуры и иных исполнительных органов оператор должен однозначно распознавать их управляющее воздействие — например с помощью индикации либо на основе зависимости между установочным движением и следствием. Подобная когеренция имеет место, когда, скажем, при левом повороте маховика происходит и перестановка влево того устройства, на которое направлено данное действие. В принципе, все исполнительные органы лучше размещать за пределами зоны опасности.

Ввод в эксплуатацию. Пуск машины следует осуществлять только путем приведения в действие предназначенных для этой цели исполнительных элементов, то есть, например путем включения выбранного режима работы.

После остановки машина ни в коем случае не должна запускаться автоматически.

Останов. Для безопасного останова каждая машина должна быть оснащена специальным командным устройством, например аварийной кнопкой. Команда на аварийное выключение должна сохраняться до тех пор, пока она не будет осознанно отменена (например путем деблокирования кнопочного переключателя). Однако такое деблокирование не может запустить машину — оно лишь делает эту операцию возможной (рис. 855).

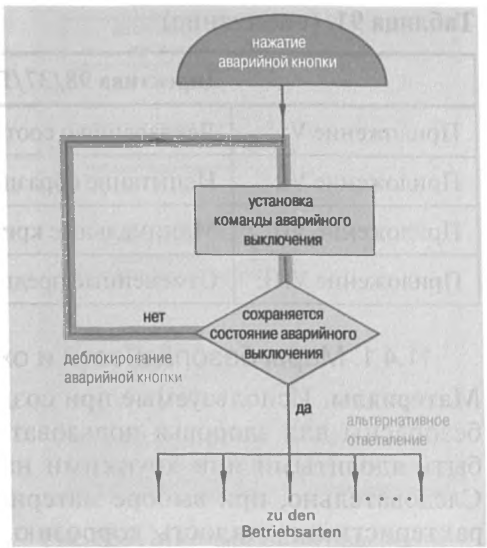


Рис. 855. Останов машины путем аварийного отключения

Выбор рабочего режима. Выбор рабочего режима является — по сравнению с прочими управляющими операциями — функцией более высокого уровня. Исключение составляет только срабатывание аварийной команды и соответственно полное отключение машины.

Каждое положение переключателя рода работ может быть отнесено только к одному режиму, например автоматическому режиму или режиму наладки оборудования (рис. 856).

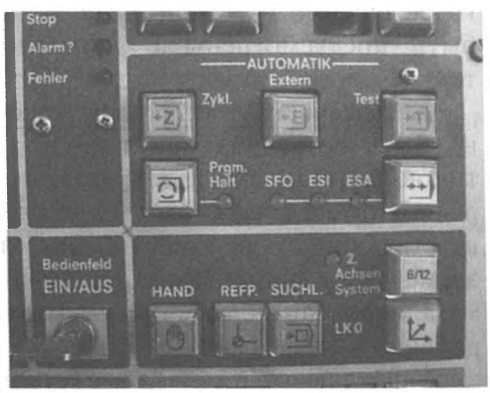


Рис. 856. Выбор режима работы

В режимах подналадки или техобслуживания можно при необходимости ограничить отдельные защитные функции (например отключить блокировку двери). В автоматическом режиме должны быть активированы все без исключения функции защиты.

Сбой в системе подачи энергии. Прерывание подачи энергии (электрической, гидравлической, пневматической, механической), равно как и восстановление такой подачи, не может становиться причиной создания опасных ситуаций. Необходимо принять соответствующие меры, чтобы, например при исчезновении давления в случае гидравлического зажимного приспособления не произошло опасного вылета заготовки из фиксатора. Иногда в таких случаях приходится устанавливать надежную блокирующую решетку.

Устойчивость. Машины должны обладать достаточной устойчивостью, исключающей при определенном уровне износа их разрушение, опрокидывание или т.п, что способно создать опасную ситуацию.

Меры защиты от прочих опасностей

К числу «прочих» причисляются следующие возможные опасности:

- опасность от электрического напряжения,

опасность от электрического заряда,
опасность от неэлектрических видов энергии (например при разрыве стенок сосуда под давлением),
опасность в результате ошибок при монтаже (например из-за отсутствия стопорных колец),
опасность из-за чрезмерных температур (например высокой поверхностной температуры двигателя),

- опасность возгорания (например из-за утечки жидкости),
- опасность взрыва (например при плохой очистке от пыли),
- опасность от сильного шума,
- опасность от сильной запыленности,
- опасность от излучения,
- опасность от лазерного луча или иных источников света,
- опасность затаскивания в машину, заклинивания или защемления,
- опасность ушибов при падении (например на скользком полу).

Для защиты от всех перечисленных опасностей должны быть приняты адекватные меры.

11.4.2. Маркировка и руководство по эксплуатации

Каждая машина должна быть снабжена четко читаемой табличкой, содержащей, как минимум, следующую информацию:

- имя и адрес изготовителя,
- знак CE (от франц. Controle Europeen — европейский контроль) (рис. 857),
  обозначение серии или типа машины,
- год выпуска (рис. 858).

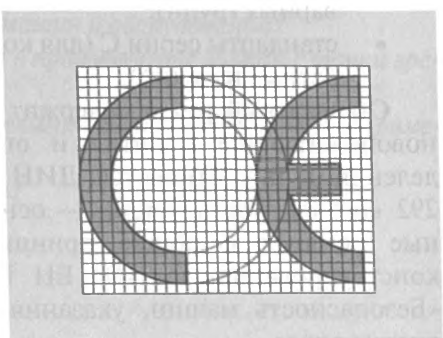


Рис. 857. Символ европейского контроля качества

Помимо этого, должны быть указаны некоторые сведения, важные с точки зрения безопасности (например максимальный вес и проч.).

К каждой машине должно прилагаться руководство по эксплуатации примерно следующего содержания:

- назначение машины,
- указания по вводу в эксплуатацию и техническому обслуживанию, рекомендации по монтажу и устранению неполадок, перечень подходящих инструментов или материалов.

Рис. 858. Фирменная табличка станка (пример)

В руководство по эксплуатации включается также документация по ре-

монту и уходу, иногда с приведением соответствующих предписаний по безопасной эксплуатации оборудования.

Техническая характеристика машины, кроме прочего, должна включать в себя следующие данные:

- уровень длительного звукового давления в дБ(А), если таковой превышает 70 дБ(А),
  максимальное значение звукового давления, если таковое превышает 63 Па,
  уровень звуковой мощности, если таковой превышает 85 дБ(А) на рабочем месте.

11.5. Европейские нормы безопасности

Европейские нормы безопасности классифицируются следующим образом:

- стандарты серии А (основные),
  стандарты серии В (для товарных групп),
  стандарты серии С (для конкретных изделий).

Стандартный ряд А содержит основополагающие понятия и определения. К ним относятся: ДИН ЕН 292 «Безопасность машин — основные понятия и общие принципы конструирования» и ДИН ЕН 1050 «Безопасность машин, указания по оценке риска».

Стандартный ряд В вытекает из стандартов серии А с ориентацией на разные группы изделий. К ним относится, например ДИН ЕН 60204-1 «Электрическое оборудование для машин и установок».

Стандартный ряд С содержит указания по безопасности применительно к конкретным машинам и оборудованию, например металлообрабатывающим станкам и робототехническим системам. Эти нормы продолжают активно дорабатываться, так что производители, поставщики и пользователи машин вынуждены порой обеспечи-

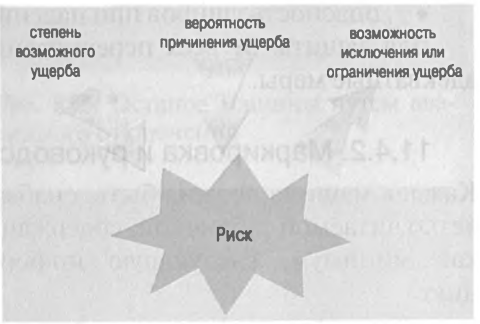


Рис. 859. Риск

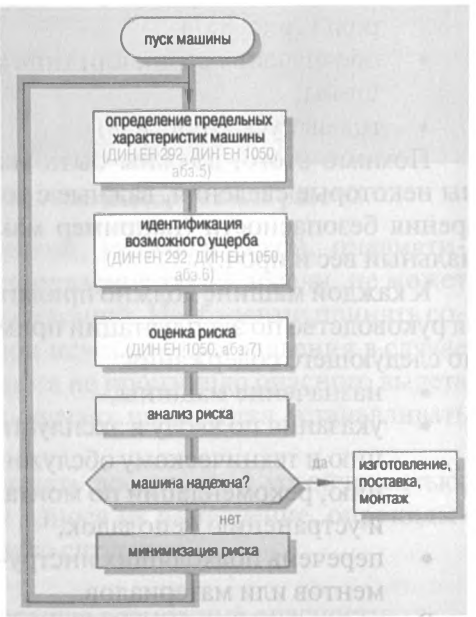


Рис. 860. Анализ риска

вать производственную безопасность, основываясь лишь на стандартах А и В. В отношении машин и оборудования уже существует или предусмотрено почти 650 норм серии С.

Анализ риска. Машины содержат определенные риски, определяемые конструктивным исполнением этих машин или выполняемыми ими задачами (рис. 859). Директива ЕС по безопасности машин и оборудования требует поэтому проведения специального анализа риска, причем помощь здесь могут оказать основные стандарты серии А. В нормах ДИН ЕН 292 дается описание рассматриваемых рисков и приводятся рекомендации по их минимизации. ДИН ЕН 1050 рассматривает способы оценки и снижения рисков до достижения безопасного состояния. Здесь речь идет о так называемом итеративном методе (от лат. iteratio — повторение, пошаговое приближение к идеальному решению) (рис. 857).

Анализ риска включает в себя следующее:

1. Определение предельных характеристик машины.
2. Идентификацию возможного ущерба.
3. Проведение оценки риска (рис. 860).

Повторение и закрепление материала

1. *Что входит в понятие «машина»?*
2. *Как классифицируется Директива ЕС по безопасности машин и оборудования?*
3. *Каковы основные принципы создания машин и оборудования?*
4. *Что является важнейшим фактором в производстве машин с точки зрения безопасности и охраны здоровья?*
5. *Безопасные способы обращения с тяжелыми машинами. Приведите примеры.*
6. *Для чего нужен пробный пуск машины?*

ГЛАВА 12

ИНФОРМАТИКА И ТЕХНИКА СВЯЗИ

12.1. Компьютерная техника

12.1.1. Конструктивное исполнение ПК

В составе персонального компьютера можно выделить несколько основных компонентов (рис. 861):

- Системный блок, который организует работу, обрабатывает информацию, производит расчеты, обеспечивает связь человека и ЭВМ. Системный блок ПК состоит из системной платы, динамика, вентилятора, источника питания, двух дисководов.
  Системная (материнская) плата, представляющая собой несколько десятков интегральных схем разного назначения, главной из которых является микропроцессор.
  Память ПК — внутренняя и внешняя.
  Аудиоплата — для воспроизведения и записи звука.

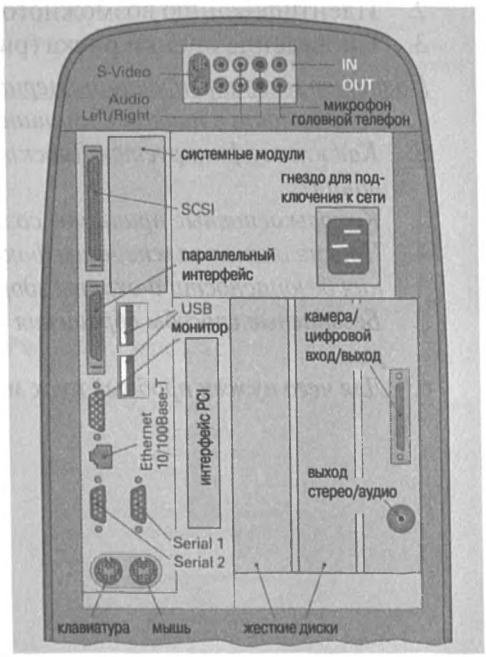


Рис. 861. Интерфейсы ПК

- Видеоплата — для воспроизведения и записи видеосигнала.
- Внешние устройства ввода информации: клавиатура, мышь, сканер.
- Внешние устройства вывода информации: монитор, принтер.

Интерфейсы

Для использования в целях измерения, управления или регулирования персональный компьютер нуждается в соответствующих устройствах сопряжения (интерфейсах) (рис. 858).

Последовательный интерфейс

В стандартном варианте каждый персональный компьютер располагает, как минимум, двумя последовательными интерфейсами, обозначаемыми как V.24

или RS-232C. Они выполняются в виде 9- или 25-полюсных разъемов, и для связи с программным обеспечением принимаются обозначения COM1, COM2, где COM означает «связь».

Последовательные интерфейсы подлежат предварительной установке, а именно с принятием во внимание следующих параметров:

номер интерфейса	= 0 = COM, 1 = COM2
скорость передачи информации, Бод	= 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200
число бит данных	= 7 или 8
число стоповых битов	= 1 или 2
контроль по четности	= N = нет, E = четный, O = нечетный

Такая установка производится, как правило, через программное обеспечение.

Параллельный интерфейс

На каждом персональном компьютере имеется параллельный интерфейс, обозначаемый иногда как Centronics, который обладает 36 полюсами и запрашивается в программном обеспечении через LTP1 — LTP4. С его помощью обычно приводятся в действие принтеры, однако он вполне годится и для запуска иных устройств. Рынок предлагает для этой цели соответствующие интерфейсные платы.

Интерфейс USB

В случае интерфейса USB речь идет о последовательной шине, к которой может быть подключено до 128 устройств.

Свободные отсеки

ПК располагает свободными отсеками для присоединения, если потребуется, дополнительных устройств.

В зависимости от исполнения компьютера, здесь предлагаются разные возможности:

- шина ISA — Industrial Standard Architecture,
- шина PCI — Peripheral Component Interface.

Шина PCI

Эта шина со стандартной шириной 64 бита и максимальной частотой 33 МГц разработана фирмой INTEL. На основе метода уплотнения, магистрали шины попеременно используются как каналы передачи данных и как адресные линии. Шина соединяется с процессором через контроллер, благодаря чему достигается то обстоятельство, что шина обменивается данными с периферией, в то время как процессор продолжает работу.

Операционные системы для ПК

В настоящее время стандартом для персональных компьютеров является среда Windows — система, ориентированная на передаваемые блоки информации и способная одновременно обрабатывать сразу несколько программ. На рис. 862 показано, как Windows сохраняет все сообщения в кольцевой памяти, после чего классифицирует их и затем передает дальше прикладным программам. Ведущая (основная) программа, действуя в непрерывном цикле, поддерживает этот процесс.

Одновременная обработка нескольких программ называется «мультизадачным режимом», где задачей (Task) считается каждая отдельная программа. С помощью комбинации клавиш Alt+Strg+Enf можно открыть окно и увидеть активные в данный момент программы (рис. 860). Этим окном иногда заканчивают отдельные задачи — в частности, в тех случаях, когда происходит сбой в прогоне программы. На практике в качестве фоновой задачи часто находит применение программа защиты от вирусов. На рис. 863 она обозначена как «Vshwin32».

Рис. 862. Принцип действия Windows

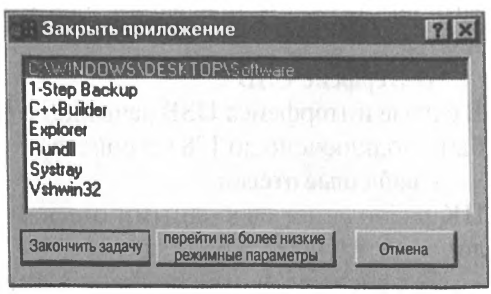


Рис. 863. Текущая задача операционной системы Windows

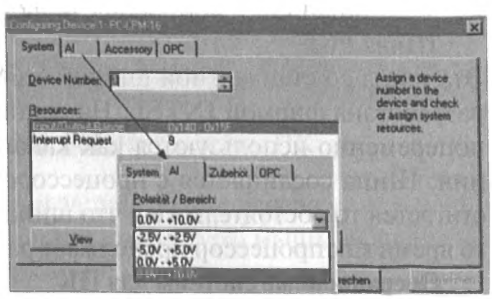


Рис. 864. Конфигурация многофункциональной платы

Монтаж интерфейсных плат для целей измерения, управления и регулирования

Когда в свободные отсеки вставляется дополнительная плата, операционная система немедленно распознает ее присутствие. Если это плата типа «Plug and Play»(«вставляй и пользуйся»), то ее монтаж осуществляется автоматически через системное управление. Тогда здесь автоматически же предоставляются необходимые адреса и номера прерываний. Программы для этих целей поставляются производителями вместе с интерфейсными платами. Система моментально распознает вставленную интерфейсную плату, после чего, как правило, осуществляется ее конфигурация. При этом можно, например установить желаемый диапазон напряжений (рис. 864).

Вместе с интерфейсными платами изготовитель поставляет подпрограммы для разных языков программирования: VISUAL C, DELPHI, VISUAL BASIC или LabVIEW, с помощью которых разрабатываются затем программы пользователя.

Объекты интерфейса пользователя

В Windows встроена поддержка разных объектов: окон, пиктограмм, диалоговых блоков, меню и т.д.

Окна. Каждая программа, устанавливающая связь с пользователем, должна располагать окном, так как только окно принимает вводы от мыши и с клавиатуры или индицирует программные выводы. Все другие объекты поддерживают функцию окна. Таким образом, окно открывает вид на информационный или соответственно программный объект в компьютере. Когда окно открыто, программа (задача) запущена и активирована. С закрытием окна закрывается и данное приложение. Рис. 865 демонстрирует вид и структуру такого окна. Рамка со строкой меню, строкой заготовка, полем символов, линейками скроллинга, бегунками всегда управляется напрямую средой Windows, которая обеспечивает также увеличение или уменьшение формата изображения. Программист определяет всегда только содержимое окна. Таким образом, окно содержит операционную среду и набор функций программы.

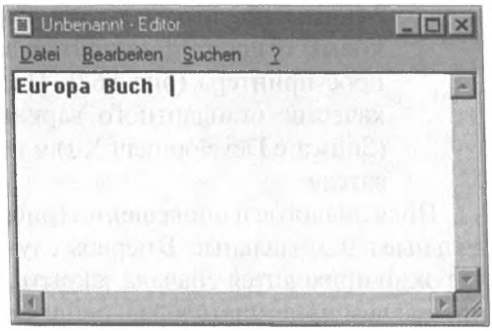


Рис. 865. Структура окна

Пиктограммы. Пиктограмма есть символ, условное обозначение, напоминание, подсказка пользователю. С помощью пиктограммы могут вызываться разные имеющиеся в ПК приложения (рис. 866). Пиктограммы имеют два размера, выбрать которые можно путем соответствующего переключения. Каждое приложение получает относящуюся только к нему пиктограмму, создаваемую редактором изображений.

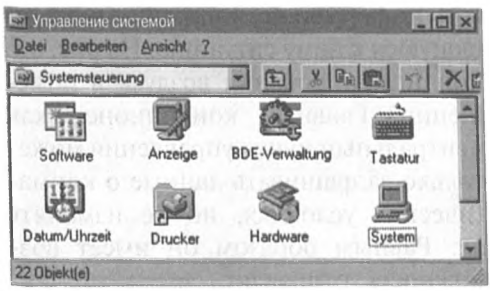


Рис. 866. Пиктограммы в окне «Управление системой»

Диалоговые блоки. Диалоговые блоки предоставляют пользователю стандартизованные возможности приема и ввода информации. На рис. 867 показано несколько таких вариантов. Можно назвать, например кнопки переключения (Button), возможности ввода испытательного сигнала и соответственно вывода текста (memo-поля), возможности выбора (Radio button) или блоки выбора (ComboBox).

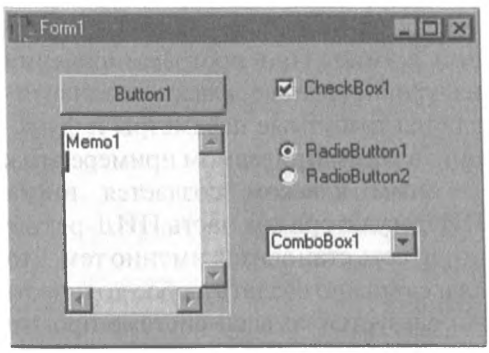


Рис. 867. Примеры диалоговых полей

Многие диалоговые блоки имеют часто повторяющиеся задания. К таковым относится, например загрузка или сохранение файлов либо запрос принтера (рис. 867). Подобные диалоговые блоки являются — в качестве стандартного варианта — составной частью Windows SDK (Software Development Kit) и используются всеми программами пользователя.

Поля диалогов и оповещений (рис. 868) могут быть двух разных видов — модальные и немодальные. В первом случае окно приходится сначала закрыть, прежде чем приступать к дальнейшим вводам, а во втором случае можно продолжать работу, оставив окно оповещений открытым. Все предупредительные сообщения относятся, как правило, к модальному варианту.

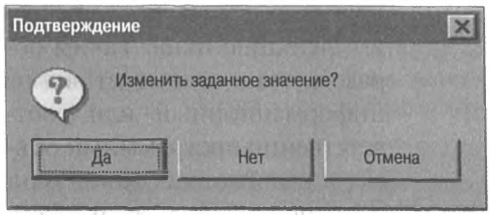


Рис. 868. Поле оповещений

12.1.2. Объектно-ориентированное программное обеспечение

В области обработки информации и в сфере экономики все чаще переходят к объектно-ориентированному структурированию. При этом процесс раскладывают таким образом, что в каждом его структурном блоке, именуемом также «объектом», содержится полный набор необходимых данных и функций. Отдельные объекты сообщаются между собой через сообщения, содержащие определенную информацию. Каждый объект автономен и несет ответственность за относящуюся к нему ситуацию. На рис. 869 представлен в качестве примера процесс кондиционирования воздуха в помещении. Главный кондиционер как центральный пункт управления может только запрашивать данные о климатических условиях, но не изменять их. Равным образом он имеет возможность отправлять заданные значения регулирующему устройству, но не определяет, как именно их следует регулировать. Система регулирования действует на основе своей собственной логики. При программировании на уровне одного класса устанавливаются требуемые параметры и функции: в рассматриваемом примере это класс ПИД-регулятора.

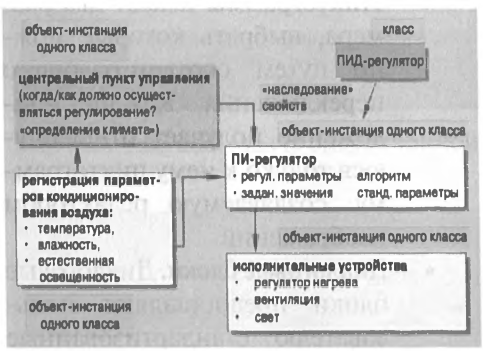


Рис. 869. Принцип объектно-ориентированного структурирования

Этим классом создается инстанция, которая «наследует» признаки ПИ-регулятора как часть ПИД-регулятора и затем уже работает самостоятельно, то есть становится именно тем, что называют «объектом». На основе одного класса можно создать любое количество подобных объектов. Данный принцип используется во всей системе программирования Windows. В среде программирования различают частично графические и полностью графические способы, причем в первом случае операционная среда пользователя создается на

основе того, что из библиотек берутся отдельные объекты и размещаются в окне. Межобъектная связь и необходимый набор функций формируются программой-редактором в текстовой форме. К частично графическим способам относятся, например DELPHI, C-BUILDER, VISUAL C, VISUAL BASIC. В полностью графических системах графическим способом обеспечивается и функциональность — посредством соединительных проводов. Здесь в качестве примера можно назвать пакеты программ LabVIEW и DasyLab.

Разработка программ на основе C-BUILDER

После создания окна отдельные объекты надлежит графически упорядочить и приспособить их свойства к существующим требованиям. В строке меню все объекты могут запрашиваться графическим способом. Для каждого объекта предусмотрен специальный «инспектор», с помощью которого могут устанавливаться свойства и события объекта. На рис. 870 дается обзор среды для разработки программы.

Пример: программа для регистрации измеряемых данных.

Требуется графическими средствами отобразить давление при выдвижении поршня цилиндра одностороннего действия. На рис. 871 приведена схема размещения соответствующего оборудования. Датчик давления выдает линейный сигнал 0...10 В при давлении от 0 до 10 бар. Напряжение преобразуется интерфейсом в 12-битовый сигнал (0...4096). С готовыми функциями изготовителя это 12-битовое число может напрямую считываться как напряжение, непосредственно пересчитанное в количество Вольт. Примеры таких функций считывания наглядно представлены в таблице 92.

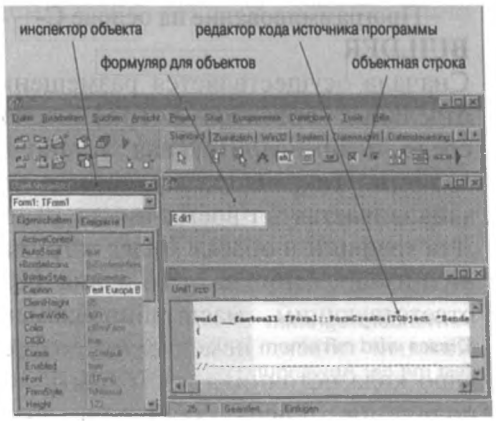


Рис.870. Разработка программы с использованием C-BUILDER

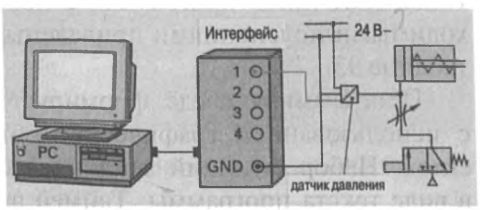


Рис. 871. Схема размещения оборудования

Таблица 92. Функции считывания

Программное обеспечение	Функция
C-BUILDER (простой интерфейс)	Канал № ДАВЛЕНИЕ = ADCWert (1);
LabVIEW (простой интерфейс)	Канал № 1 AD-12Bit K ±10 3,0 Давление DBL
LabVIEW (интерфейс "Plug&Play")	Устройство № 0; Канал № 0; Макс. значение 10,00; AI CHNE PT; Давление DBL

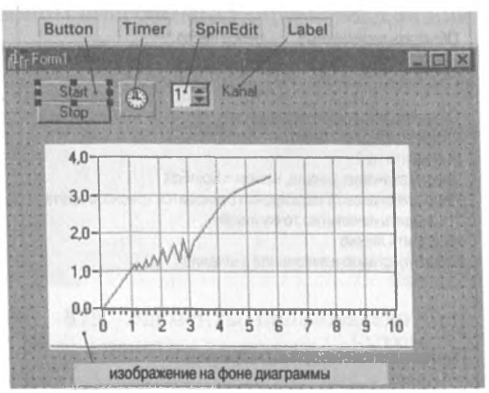


Рис. 872. Графическая программная среда

Программирование на основе C-BUILDER

Сначала осуществляется размещение отдельных объектов в графической среде и предварительная установка свойств. Так, например таймер устанавливается на время цикла 10 мс. Для графики в объект Image загружается изображение заднего плана с соответствующим масштабированием. Каждый объект немедленно создает ядро кода источника программы, дополняемое теперь собственно программными сегментами, и задействуется на основе определенного кода. Коды источника программы с необходимыми пояснениями приведены в таблице 93.

Программная среда формируется с использованием графических объектов. Набор функций записывается в виде текста программы. Таймер работает в установленном тактовом ре-

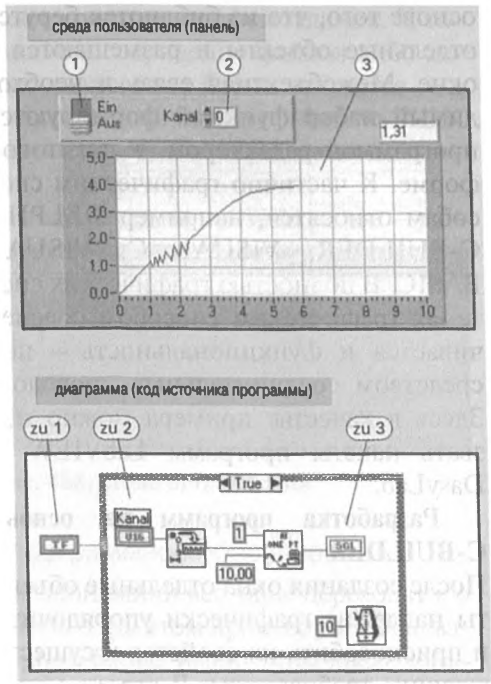


Рис. 873. Разработка программы на основе LabVIEW

Таблица 93. Код источника программы с пояснениями

Пояснение к тем строкам, которые должны быть вставлены программистом	Код источника программы
Загрузка интерфейсных драйверов	#include<vcl.h> #pragma hdrstop #include<Unit1.h> #include<math.h> #include"c:\Treiber\io_port_NT.sin" //----------
	#pragma package(smart_init) #prag link"cspin" #pragma resource "*.dfm" TForm1 *Form1;
Объявить переменные целое число число с плавающей запятой	int Messen=0, Kanal, i=46; float yalt=0;
	//----------

Объявить локальные переменные,
если измерение > 0, затем обработать,
i повысить на 1
Ввести значение канала, номер = SpinEdit
Перо для знаковой маркировки становится красного цвета
Установить начальную точку линии
Начертить линию
Отметить старое измеренное значение
	void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObjekt *Sender)
	{float Wert;
	if (Messen)
	{i++;
	Wert=ADCWert(CSpinEdit1->Value);
	Zeichnen->Canvas->Pen->Color=clRed;
	Zeichnen->Canvas->MoveTo(i,159-yalt*30);
	Zeichnen->Canvas->LineTo(i+1,159-int(Wert*30));
	yalt=Wert;
	}
	}

	//----------
При нажатии кнопки пуска измерение = 1	void __fastcall TForm1::Button1Click(TObjekt *Sender) {Messen=1;}
При нажатии кнопки останова измерение = 0	void __fastcall TForm1::Button2Click(TObjekt *Sender) {Messen=0;}
	//----------

жиме. Процесс обработки управляется командами «старт» и соответственно «стоп».

Программирование с LabVIEW

При запуске среды для разработки программы открывается два окна.

Структура операционной среды пользователя. В операционной среде пользователя, именуемой панелью, размещаются необходимые объекты (рис. 873). Объект 1 есть логическая переменная. При размещении в диаграмме (код источника программы) формируется символ TF. С объектом 2 должен устанавливаться номер канала ввода, поэтому данный объект должен быть цифрового типа. Путем предварительной установки выбирается целочисленный тип. В коде источника программы появляется голубой символ с надписью «U16», что означает: положительное 16-битовое целое число. Третий объект есть объект вывода. Здесь используется диаграмма «Y-время», с помощью которой изменяются некоторые свойства, например цвет, но прежде всего масштабирование. Шкала Y устанавливается макс. на 5. У шкалы X интервал между точками измерения должен настраиваться на время цикла. При времени цикла = 10 мс интервал dx = 0.01. На рис. 874 показано окно для установки этого свойства.

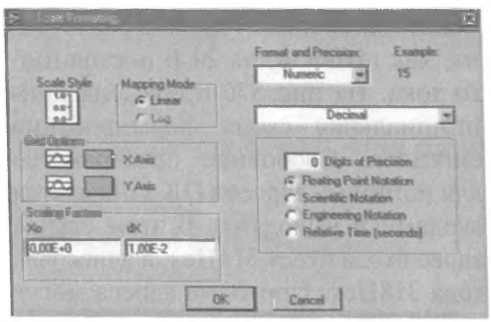


Рис. 874. Установки объекта «диаграмма «Y-время»»

Составление кода источника программы. Все объекты из операционной среды пользователя создают один символ на стороне диаграммы. Объект 1 может принимать два состояния. К этому символу добавляется «case»-структура, а на сторону «True» (истина) заносятся все прочие символы. Из библиотеки функций загружается функция для считывания интерфейса. К этой функции теперь добавляется номер устройства и затем — номер канала. Поскольку функция здесь ожидает строку, а не число, то число придется сначала преобразовать в строку. Далее вносится максимальное из ожидаемых значений (здесь 10). Результат функции ввода соединяется теперь с символом диаграммы Y-времени. Так как программа должна иметь определенное время цикла, то из библиотеки загружается функция для времени цикла и снабжается постоянной 10. Это означает, что программный цикл запускается каждые 10 мс.

Запуск программы:

В строке заголовка LabVIEW находятся кнопки для использования программного обеспечения (рис. 875). Щелкнув на кнопке длительного цикла, активируем программу. Далее выполняются следующие шаги:

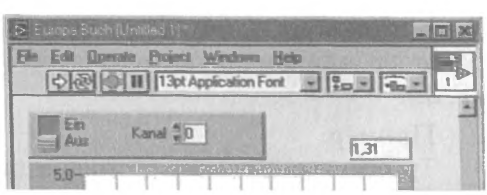


Рис. 875. Элементы пользователя при работе с пакетом программ LabVIEW

1. Запрос кнопки 1 на «True»(истина); если «False»(ложь): возврат к 1.

2. Если «True», ввести канал, преобразовать номер в строку, ввести номер устройства, ввести максимальное значение. Функция получает от периферии аналоговое значение, которое отправляется на диаграмму «Y-время» и там отображается в виде линии. Датчик тактовых импульсов ожидает, пока пройдет 10 секунд с момента запуска.
3. Возврат к 1.

Щелкнув на символе «стоп», заканчиваем программу.

12.1.3. Управление с помощью ПК

Цифровые входы и выходы

Работа цифровых входов рассчитана, как правило, на 24 В постоянного тока. На рис. 876 приведена принципиальная схема формирования сигналов. Свободное пространство для портовых адресов ПК занимается входами и выходами. В этом случае адрес входа будет 314Hex, а адрес выхода 318Hex. Портовые адреса могут устанавливаться с помощью интерфейса. При интерфейсных платах типа Plug&Play эти адреса задаются операционной системой.

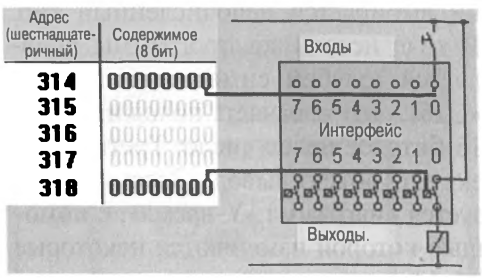


Рис. 876. Адресация входов и выходов

На этих выходах, именуемых PAA (отображение процесса на выходах), также выводится один байт, и здесь группируются биты. Если, например A0=TRUE и A2=TRUE, то PAA = 1*A0+4*A2, значение = 5.

Каждый язык программирования предлагает подходящие функции, чтобы считывать данные с указанных портовых адресов и соответственно писать на эти адреса. При этом всегда считывается весь адрес (8 бит), то есть мы имеем дело со значением от 0 до 255. Это значение называют также отображением процесса на входах (PAE).

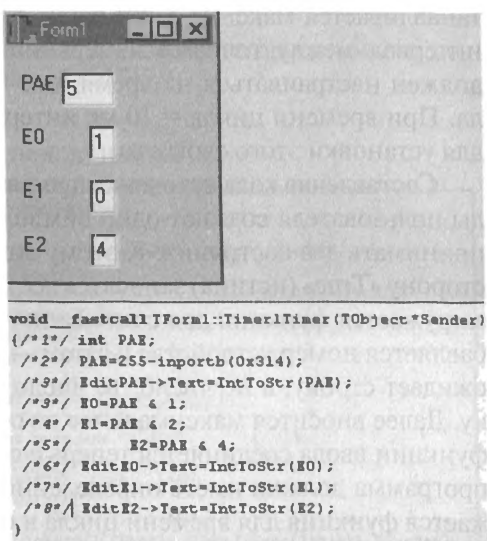


Рис. 877. Ввод и вывод на основе C-BUILDER

Пример:

Требуется определить состояние бита 1.

номер бита = 7654 3210

например PAE = 11, то есть конфигурация бита = 0000 1011

AND = 2, то есть конфигурация бита = 0000 0010

Программирование с C-BUILDER

(при Windows NT дополнительно требуется портовый драйвер)

На рис. 877 приведен пример ввода отображения процесса на входах (строка 2). При инвертировании необходима обусловленная конструкционным элементом отрицательная логика. В строке 3 это значение выводится в Edit PAE. В строках 3-5 демаскируются входы E0, E1 и E2, и в строках 6-8 состояния выводятся на экран. Общий исходный текст находится в объекте Timer, установленном на 10 мс, то есть эти значения обновляются каждые 10 мс.

Но при необходимости получения состояния каждого отдельного ввода придется прибегнуть к методу вычисления, именуемому иногда «демаскированием». Для этого PAE посредством функции И соединяется с конфигурацией двоичного кода для желаемого входа.

Повторение и закрепление материала

1. *Что понимается под «объектно-ориентированным» программным обеспечением?*
2. *Опишите возможные способы программирования.*
3. *Каковы преимущества полностью графического программирования?*
4. *Объясните способ демаскирования отдельных битов из байта.*

Пример: управление последовательностью выполнения операций. В промышленной практике управляющие операции нередко описываются с использованием языков высокого уровня. В приведенном далее примере заготовки подаются в обрабатывающий станок из наклонного накопителя. При этом состояние станка должно отображаться на экране посредством текстовых сообщений (рис. 878). Все входы и выходы соединены между собой с использованием цифрового интерфейса (рис. 879). При электромонтаже была выбрана простая схема аварийного отключения через контактор. Все входы, за исключением кнопки останова, являются замыкающими контактами.

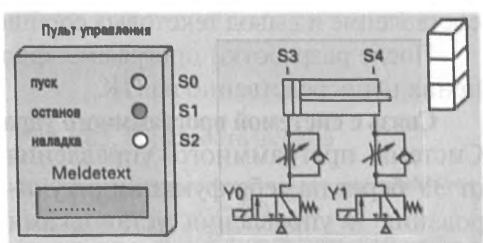


Рис. 878. Пульт управления и пневмосхема

Программирование с C-BUILDER осуществляется соответственно принципу действия системы программного управления от ЗУ (SPS). Цикл SPS реализуется с объектом Timer. Этот таймер устанавливается, например на продолжительность цикла 10 мс, то есть Windows каждые 10 мс получает сообщение — сигнал на обработку содержимого выведенной функции Timer 1. Переменные S и E0...E7 заявляются на глобальном уровне, поскольку локальные переменные обновляются при каждом запросе, что могло бы стать причиной неверных результатов. Программа разделяется на три

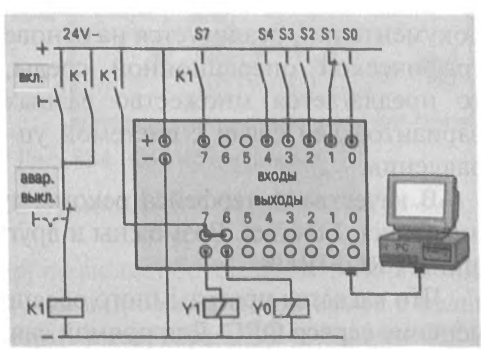


Рис. 879. Схема распределения

Свойство объекта «таймер», установка на продолжительность цикла 10 мс

Объявление локальных переменных

Ввод отображения процесса, демаскирование входов E0.E7

Определение основного положения (GS), обработка блок-схемы программного управления

В плоскости вывода: присвоение отображения процесса на выходах (PAA) отдельным шаговым операциям

В плоскости сообщений: присвоение текстовых сообщений переменным «Meldung» в зависимости от состояния входов и соответствующих шаговых операций

Отправка текстового сообщения объекту «Meldetext»

```
void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObject *Sender)
{ int PAE,PAA;
  char Meldung[50];
  PAE=255-inportb(0x314);                    //ввести отображение процесса
  E0=PAE&1; E1=PAE&2; E2=PAE&4; E3=PAE&8; E4=PAE&16; E7=PAE&128;
  //сегмент 1: плоскость выполнения программы
  GS=E3 && !E4 ;                             // вычисление основного шага
если( GS &&  E0 && (S==0) )  S=1;//шаг 1
если( E4 && !E3 && (S==1) ) S=2; //шаг 2
если( GS &&         (S==2) ) S=0;
если( !E1                  ) S=0; //условие выключение
если( !E7                  ) S=0; // условие выключения
  //сегмент 2: плоскость вывода
если(S==0) PAA=0;
если(S==1) PAA=64;                           // выдвижение поршня
если(S==2) PAA=128;                          // втягивание поршня
если( E2 && E1 && !S ) PAA=128;              //правка
  outportb(0x318,PAA);                       //вывод отображения процесса
  //сегмент 3: плоскость сообщений
если ( E3 &&  E4          )  strcpy (сообщение, «Сбой в работе датчика»);
если (!E3 && !E4 && !S)  strcpy (сообщение, «поршень не в конечном положении»);
если ( S==1               )  strcpy (сообщение, «поршень выдвигается»);
если ( S==2               )  strcpy (сообщение, «поршень втягивается»);
если ( !E7                )  strcpy (сообщение, «кнопка аварийного выключения блокирована);
  Meldetext->Text=Meldung;
}
//----------------------------------------------------------------------------
```

Рис. 880. Решение с использованием C-BUILDER

плоскости, или сегмента. В первом сегменте программируется блок-схема выполнения программы, во втором сегменте осуществляется распределение выходов по отдельным шаговым операциям. Задачей третьего сегмента является составление и вывод текстовых сообщений (рис. 880).

После разработки программы формируется *EXE с возможностью выполнения непосредственно на ПК.

Связь с системой программного управления от ЗУ (SPS)

Система программного управления от ЗУ берет на себя функции регулирования и управления установками (рис. 881). Если обслуживание и наблюдение за производственным процессом, как и ведения технической документации, реализуется на основе графической операционной среды, то предлагается множество разных вариантов для связи с системой управления.

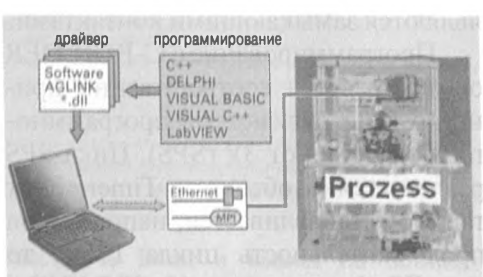


Рис. 881. Структура связи

В качестве интерфейса рекомендуется V.24 или промежуточное включение блока, Ethernet. Возможны и другие способы связи, например с помощью шины PROFIBUS.

Что касается программного обеспечения, то здесь чаще всего находит применение сервер OPC. Для прямой связи лучше всего подходит, например AG-LINK.DLL. При этом обеспечивается непосредственный доступ ко всем входам,

выходам, таймерам, счетчикам и запоминающим ячейкам системы программного управления от ЗУ — как для считывания, так и для записи. Поскольку AG-LINK.DLL может работать со всеми известными языками программирования, создается открытая система, обеспечивающая полноценную связь между ПК и SPS. Такой способ связь никоим образом не влияет ни на надежность системы программного управления от ЗУ, ни на время цикла.

Пример:

Системой программного управления от ЗУ S7-314FM должен считываться входной байт 124. Кроме того, с помощью элементов сдвига требуется соответствующим образом воздействовать на выходы. Аналоговое значение вводится на основе PEW752. Связь осуществляется через Ethernet и соединительный модуль NetLink.

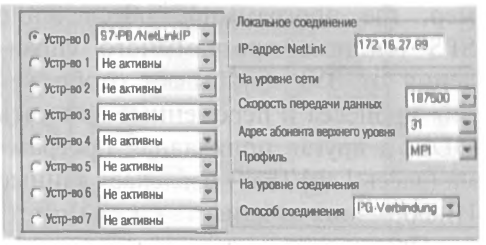


Рис. 882. Конфигурация интерфейса (PG-Verbindung — Соединение с программирующим устройством)

В конфигурации (рис. 882) выбирается аппаратный драйвер «NetLink-IP» и вводится адрес программируемого периферийного блока (IP). В программном обеспечении тогда устанавливается ***Device = 0.***

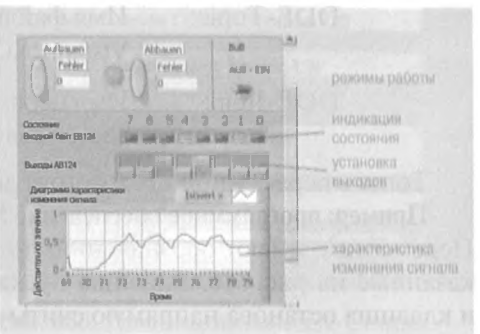


Рис. 883. Плоскость экрана

С применением LabVIEW создается показанная на рис. 883 плоскость экрана. Для всех команд связи имеются готовые функции. Предлагаются и макросы для установки и прекращения связи. Собственно программа представлена на рис. 884. С помощью соответствующей функции считываются входные байты системы программного управления от ЗУ (1), после чего байт преобразуется в 8-битовую матрицу с загоранием световых сигнализаторов (2). В позиции (3) системе программного управления от ЗУ посылается выходной байт. Аналоговые значения принимаются в позиции (4) словом меркера (MW). После этого происходит объединение байтов младшего и старшего разрядов, которые нормируются и выводятся в виде Y-t-диаграммы.

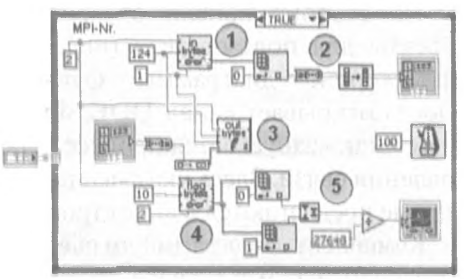


Рис. 884. Код источника

Интерфейс DDE

Интерфейс DDE (Dynamic Data Exchange) позволяет осуществлять динамический обмен данными, что часто используется в промышленной сфере с целью визуализации процессов. Связь DDE состоит из сервера DDE и клиента DDE. Клиент запрашивает нужную ему информацию, а сервер предоставляет запро-

шенную информацию. Сервер непрерывно отображает все данные в ЗУ DDE, а клиент, также в постоянном режиме, забирает данные из памяти DDE. Обмен данными продолжается (в зависимости от исполнения ПК) до 10 мс. На рис. 885 показан пример, где программное обеспечение SPS (система программного управления от ЗУ) записывает отображения процесса и переменные в память DDE, а другая прикладная программа (здесь LabVIEW) извлекает данные из ЗУ DDE для визуализации процесса. Информация от клиента также может передаваться серверу через память DDE.

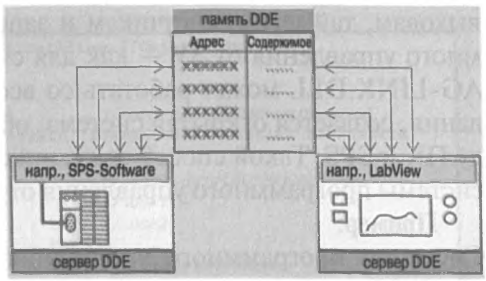


Рис. 885. Принцип действия интерфейса для динамического обмена данными (DDE)

При программировании «клиента» должны быть обязательно введены следующие данные:

DDE-Service: Имя сервера, например PROSYS, EXEL..

DDE-Topic: Имя файла сервера, например C:\xxxx\Visual.PRO.

DDE-Item: Имя переменных, с которыми устанавливается связь, например %IB32.

Тогда в переменной «Text» стоит значение этой переменной.

Пример: программное обеспечение SPS в качестве сервера DDE с LabVIEW

Переменные имеют обозначения, показанные на рис. 886. Клавиша пуска и клавиша останова напрямую считываются отображением процесса (байт ввода 32) (рис. 879).

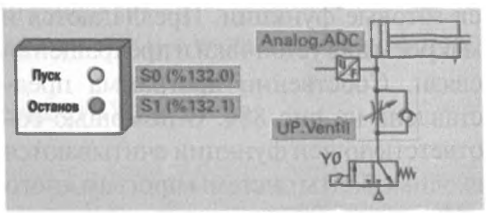


Рис. 886. Пример системы программного управления от ЗУ (SPS)

На стороне панели отображены объекты для пользователя (рис. 887). На стороне диаграммы функция «Open» открывает канал DDE. Функцией «Start» запускается процесс установления связи. Здесь указывается соответствующий элемент (Item). В «Check» данные предлагаются в виде строки.

Компоненты программного обеспечения

В последнее время в сфере производства программного обеспечения отмечается тенденция в направлении создания раздельных программ, с помощью которых удается достигать оптимальных решений, используя прикладные программы из разных библиотек. В частности, технология ActiveX представляет собой определенную типовую структуру для разработки компонентов программного обеспечения. COM и DCOM (Component Object Model и соответственно Distributed COM) предоставляют операционной системе и технологии Active-X среду для управления объектами. Объект Active-X есть

Рис. 887. Связь DDE с LabVIEW

отдельный компонент программного обеспечения, подлежащий интегрированию в прикладную программу, которая имеет еще название ActiveX-Container. Технология ActiveX служит базой для нового стандарта OPC (Object Linking for Prozess Control — связывание объектов для управления процессом).

Пример: данные устройства для считывания штрихового кода, вводимые через интерфейс RS-232C

На экране должно появиться наименование изделия. Так как C-BUILDER не обладает функциями для обслуживания RS-232C, можно призвать на помощь ActiveX-Control для выполнения ввода.

1. ActiveX-Control MsCommProxy загружается в программное обеспечение через меню «Компоненты» (рис. 888). И тогда в меню выбора появляется иконка для ActiveX-Control.
2. При разработке прикладной программы скачиваем ActiveX-Control, после чего должны быть установлены такие свойства как номер порта, параметры установки, квитирование

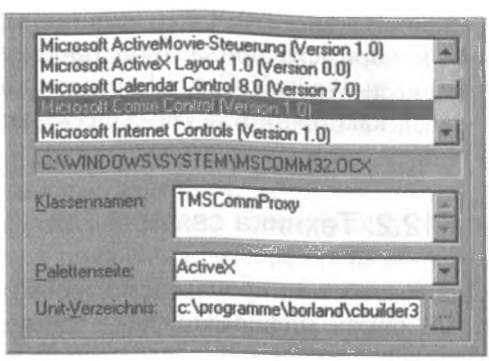


Рис. 888. Реализация ActiveX-Control.

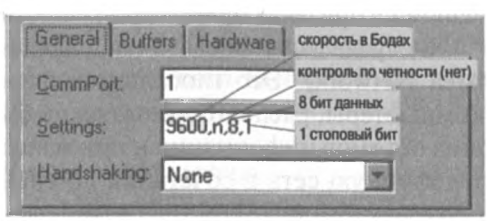


Рис. 889. Установка свойств

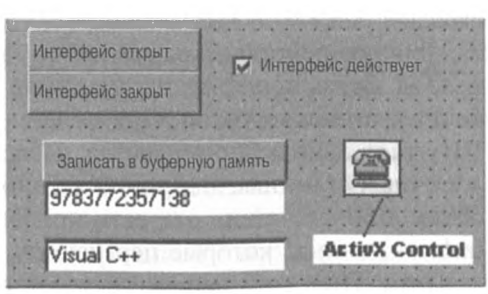


Рис. 890. Операционная среда пользователя.

```
//Quelltext zu Button "Schnittstelle öffnen"
{ MSCommProxy1->PortOpen=True;                    //COM-Port öffnen
  CheckBox1->Checked=True; }                      //Häken an Checkbox
//Quelltext zu Button "Schnittstelle zu"
{ MSCommProxy1->PortOpen=False;                   //COM-Port schließen
  CheckBox1->Checked=False;}                      //Häken löschen
//Quelltext zu Button "Puffer einlesen"
{ if (CheckBox1->Checked)                         //Wenn COM-Port offen dann
    { Daten->Text=MSCommProxy1->Input;            //Puffer serielle Schnittstelle lesen
      //Daten in das Datenfeld schreiben,Vergleich mit bekannten Waren,Text ausgeben
                                        Ware->Text=" ------------  ";
      if (Daten->Text=="4001057905368")  Ware->Text=" TURBO C-Buch  ";
      if (Daten->Text=="9783772357138")  Ware->Text=" Visual C++    ";
    }
}
```

Рис. 891. Код источника для ввода данных последовательного интерфейса

установления связи, а также число буферных знаков. Это легко сделать через меню «Свойства» (рис. 889).

3. На рис. 890 и 891 индицируется полная структура взятой в качестве примера прикладной программы. Нетрудно заметить, что все методы ActiveX-Control предлагаются так же, как если бы это были методы какого-нибудь уже существующего объекта.

12.2. Техника связи

Для разработки, производства и сбыта продукции абсолютно необходим быстрый обмен информацией — речевой, изобразительной, текстовой и проч. Техническим средством для этой цели служат системы связи: при речевом общении это, конечно, телефонная сеть, пригодная не только для обмена информацией в пределах одного производства, но и для связи с внешним миром.

В случае дальней связи на больших расстояниях говорят о WAN (англ. Wide Area Network). Это глобальные вычислительные сети, которые объединяют компьютеры, расположенные на любом расстоянии друг от друга . Для небольших объемов информации и при малых скоростях передачи данных используют телефонную сеть в сочетании со специальными электронными устройствами (модемами) или ISDN (интегральная цифровая сеть связи). Телефонную сеть широко применяют также для передачи текстового материала с помощью телефакса.

Для ускоренной передачи информации существуют сети Datex-P (X.25-сеть) и ATM. Здесь используется принцип пакетной передачи данных от одной рабочей станции к другой. При передаче информации, например из Гамбурга в Штутгарт данные помещаются на временное хранение в отдельных промежуточных станциях, например в Ганновере и Франкфурте. В случае больших объемов информации эти сети прибегают к способу деления ее на отдельные пакеты данных, которые передаются затем по свободным на данный момент каналам. При этом нередко случается так, что один пакет данных идет через Франкфурт, а другой – через Мюнхен.

Служба пакетной передачи информации в Германии стандартизована как ITU-Protokoll X.25, а за границей известна под названием Frame-Relais-Netz = пакетная релейная сеть.

Итак, при передаче длинного сообщения оно разбивается на несколько пакетов, каждый из которых включает в себя адреса отправителя и получателя данных, а также некоторую служебную информацию. Каждый пакет данных передается по Интернету независимо от остальных, причем они могут передаваться различными маршрутами. По прибытии пакетов к пункту назначения из них формируется исходное сообщение, то есть происходит коммутация пакетов.

ADLS есть новая техника связи, предназначенная специально для нужд пользователей Интернета (ADSL от англ. Asymmetric Digital Subscriber Line — асинхронная цифровая абонентская связь). ADSL использует имеющиеся у конечного пользователя двухпроводные телефонные линии, но обеспечивает и мультимедийное соединение или соответственно передачу данных с цифровой скоростью до 8 Мбит/с к конечному пользователю и в обратном направлении — до 640 кбит/с или соответственно до 1 Мбит/с. Таким образом, мы здесь имеем дело с асимметричной скоростью передачи информации. Благодаря этому система ADSL оказывается особенно удобной для пользователей Интернета. В обратном направлении — от пользователя сети Интернет (клиента) к Интернет-провайдеру или соответственно к следующему Интернет-серверу — обмен информацией весьма незначителен. Здесь обычно передаются лишь некоторые команды с адресами.

PLC (от англ. Powerline Communications) использует электрическую сеть для телекоммуникаций — в частности, для подключения персональных компьютеров к сети Интернет. Электросеть 400 В используется при этом как сеть связи, а именно для осуществления соединений внутри зданий и жилых районов — как раз в зоне после самой последней высоковольтной трансформаторной станции. До трансформаторной станции передача данных осуществляется по стекловолоконному кабелю, проложенному, например вместе с высоковольтной линией. На основе способа многочастотной модуляции достигается цифровая скорость более 1 Мбит/с. Подключение к сети Интернет при этом сохраняется длительное время без необходимости дополнительного набора.

12.2.1. ISDN — интегральная цифровая сеть связи

ISDN (от англ. Integrated Services Digital Network) есть цифровая сеть интегрального обслуживания (ЦСИО), предназначенная для передачи речевой информации, передачи данных и передачи изображений (см. табл. 94). Она пригодна также для связи в сети Интернет. У цифровой сети интегрального обслуживания имеются разные каналы с разным уровнем мощности. В телефонной сети и в ЦСИО абоненты во время передачи сообщений соединены подключенными линиями.

Обмен данными в аналоговых и цифровых глобальных сетях

Глобальными являются аналоговая телефонная сеть и цифровая сеть интегрального обслуживания (ЦСИО). Обмен информацией с персонального компьютера осуществляется по аналоговой сети через модем, а по цифровой сети интегрального обслуживания — через плату ЦСИО.

Таблица 94. Цифровая сеть интегрального обслуживания (ЦСИО)

Вид канала	Обозначение	Мощность
Узкополосные каналы	B-канал	цифровая скорость: 64 кбит/с [1] (около 8000 алфавитных знаков в секунду)
	D-канал	цифровая скорость: 16 кбит/с канал сигнализации для управления сервисами ЦСИО
Широкополосные каналы	HO-канал HI-канал	цифровая скорость: 386 кбит/с цифровая скорость: 1536 кбит/с или 1920 кбит/с

[1] Бит — (от англ. Binary Digit — двоичный символ) — унифицированная единица минимального двоичного содержимого ЗУ.

Присоединение модема

Модем — это небольшой электронный блок для модуляции и демодуляции сигналов данных (рис. 892). При этом двоичные сигналы при переходе в телефонную сеть преобразуются в звуковые сигналы разных частот и фаз (происходит модуляция), а звуковые сигналы при переходе в телефонную сеть для ПК преобразуются в двоичные сигналы (происходит демодуляция).

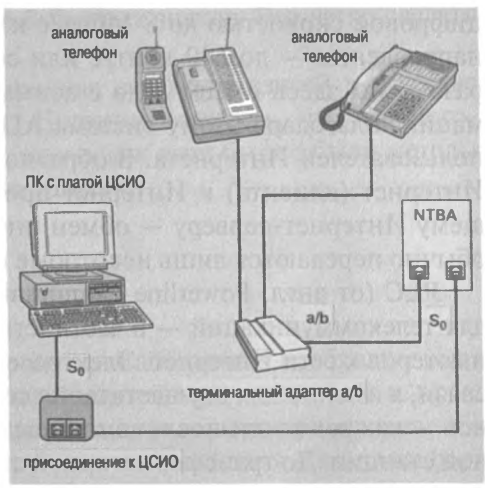


Рис. 892. Подключение к цифровой сети интегрального обслуживания (ЦСИО) с помощью шины S_0 и терминального адаптера a/b для аналоговых устройств.

Через модем можно также отправлять с персонального компьютера и соответственно принимать факсы. Конфигурация модема и управление им осуществляются посредством ПК через набор AT-команд (они называются так по начальным буквам своего названия — AT...). Передача данных происходит обычно байт за байтом со стартовым битом и одним или двумя стоповыми битами. Цифровая скорость составляет: до 56 кбит/с для приема информации при использовании стандарта V.90 и до 33,6 кбит/с для передачи данных при использовании стандарта V.34. Но бывает, что модемы обеспечивают только скорость 9,6 кбит/с или 14,4 кбит/с. В отличие от подключения к ЦСИО, длительность установления связи через модем составляет порядка 15 секунд, так что при частом использовании такой способ связи представляет не очень экономичным.

Соединение через цифровую сеть интегрального обслуживания

По цифровой сети интегрального обслуживания (ЦСИО), кроме речевой информации, можно передавать отдельные изображения или последовательность изображений, а также любые данные, преобразованные в цифровую форму. Сеть ЦСИО использует уже существующие телефонные линии абонентов: достаточно лишь заменить имеющеюся соединительную розетку на

специальную розетку NT (от англ. Network Terminator — оконечная нагрузка сети) и зарегистрироваться в телефонной компании в качестве пользователя ЦСИО. Абонент при этом получает доступ к шине S_0 с интерфейсом S_0 (рис. 893). К четырехпроводной шине S_0 может быть подключено до восьми абонентов. Розетки ЦСИО часто выполняются двойными из расчета на два оконечных аппарата. Шина S_0 располагает двумя полезными каналами с цифровой скоростью 64 кбит/с (B-каналы) и одним управляющим каналом с 16 кбит/с (D-канал).

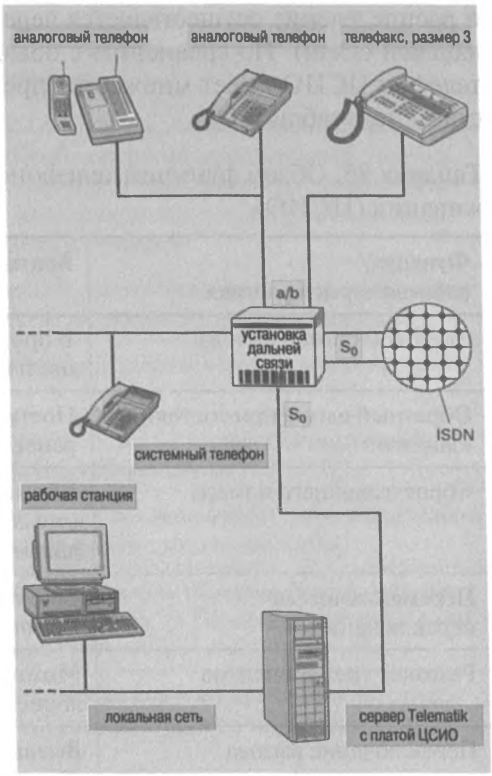


Рис. 893. Подключение к ЦСИО с 2 x S_0-шиной и установкой дальней связи

Если хотят использовать уже применяемые ранее аналоговые оконечные устройства, например аналоговый телефон и аналоговый факс, то к интерфейсу ЦСИО присоединяют терминальный адаптер а/в (рис. 885). Персональный компьютер целесообразно соединяется с интерфейсом ЦСИО через плату ЦСИО-PC. С подключенного таким образом компьютера можно отправлять и получать любые факсы. Далее удается пользоваться всеми услугами сети Интернет, например через службу Compu-Serve. Если получатель информации имеет установку мощностью ниже 64 кбит/с, то интерфейсная плата заполняет поток информации согласующими двоичными разрядами, которые затем у получателя вновь отфильтровываются, например через его модем. Среди плат ЦСИО различают активные и пассивные. Активная плата, в отличие от пассивной, обладает собственным процессором и во время передачи данных лишь незначительно нагружает присоединенный компьютер.

Итак, подключение к ЦСИО обеспечивает быстрое соединение и высокую скорость передачи данных.

Для функционирования платы ЦСИО требуется либо специальная управляющая программа, либо — если данная плата располагает интерфейсом CAPI (от англ. Common ISDN Application Interface — общий пользовательский интерфейс цифровой сети интегрального обслуживания) — интерфейсное программное обеспечение. При подключении к ЦСИО абонент получает три телефонных номера, которые он может по собственному желанию присвоить присоединенным устройствам.

При подключении к цифровой сети интегрального обслуживания крупных предприятий число каналов ЦСИО в большинстве случаев бывает больше двух,

и распределение осуществляется через систему телекоммуникаций (установку дальней связи). По сравнению с обычным аналоговым телефоном, цифровой телефон ЦСИО имеет множество преимуществ, важнейшие из которых представлены в таблице 90.

Таблица 95. Обзор функций телефонов цифровой сети интегрального обслуживания (ЦСИО)

Функция/ рабочая характеристика	**Краткое описание**
Звуковой сигнал вызова	В процессе соединения слышен сигнал поступающего вызова
Обратный вызов при состоянии «занято»	Поступает сообщение об освобождении занятого ранее абонентского номера
Сброс входящего номера	Вызывающего абонента можно еще до завершения соединения вернуть на коммутационный узел дальней связи (в Германии — Telekom)
Перемежающееся переключение	Возможность взаимного переключения между двумя абонентами
Разговор трех абонентов	Можно вести разговор одновременно с двумя абонентами
Переключение вызова	Вызов переключается на установленный внешний абонентский номер
Остановка связи без отсоединения абонента	Одного из участников разговора останавливают, чтобы переговорить с другим абонентом
Передача абонентского номера/блокирование собственного абонентского номера	При желании собственный абонентский номер при исходящей связи можно передать другому абоненту или просто блокировать
Отказ от вызова	Возможно отклонение входящего вызова
Индикация абонентского номера	Абонентский номер вызывающего абонента индицируется на дисплее
Индикация даты и времени	Индицируются текущая дата и время
Список вызовов	Вызовы, на которые не было ответа, сохраняются в хронологическом порядке
Прямой вызов/звонки детей	При нажатии любой клавиши набирается установленный абонентский номер
Индикация платы за услуги связи	Информация о тарифах на услуги связи индицируется во время и по окончании разговора
Переключение на бесшумный режим	Выключается микрофон телефона

Таблица 95. (окончание)

Функция/ рабочая характеристика	Краткое описание
Повторение набора	Последний абонентский номер повторяется нажатием клавиши. В зависимости от модели телефонного аппарата, могут индицироваться один или несколько номеров
Память абонентских номеров	Определенное число абонентских номеров может сохраняться с возможностью быстрого набора
Громкая связь	Разговор воспроизводится через громкоговоритель
Громкий разговор	Можно разговаривать с корреспондирующей станцией, не снимая трубку
Фильтр вызовов	Будут проходить только вызовы с предварительно установленных абонентских номеров
Запрещенные номера	Можно блокировать некоторые нежелательные абонентские номера, (в Германии, например номера серии 0190)
Программирование дистанционного переключения вызова	Переключение вызовов можно запрограммировать дистанционно с чужого телефонного аппарата
Список разговоров	Индицируются абонентские номера последних X входящих и исходящих разговоров

Повторение и закрепление материала

1. *Что такое ISDN (ЦСИО)?*
2. *Что такое пакетная передача данных?*
3. *Какова цифровая скорость ЦСИО в узкополосном диапазоне?*
4. *Для чего требуются модемы?*
5. *Как подключить ПК к цифровой сети интегрального обслуживания?*
6. *Сколько полезных каналов имеет шина S_0?*
7. *Для чего нужен терминальный адаптер?*

12.2.2. Локальная связь

Действующие в пределах одного предприятия системы связи имеют обозначение LAN (от англ. Local Area Network) = локальные вычислительные сети (ЛВС). Это совокупность компьютеров, находящихся в пределах определенной территории и связанных между собой соответствующими средствами коммуникации. Эти средства коммуникации эксплуатируются самими предприятиями и, в зависимости от размера, относятся к разным ступеням иерархии (рис. 894). Обмен данными между отдельными предприятиями одной фирмы или ее крупными филиалами осуществляется посредством высокоскоростных сетей с оптическими волноводами.

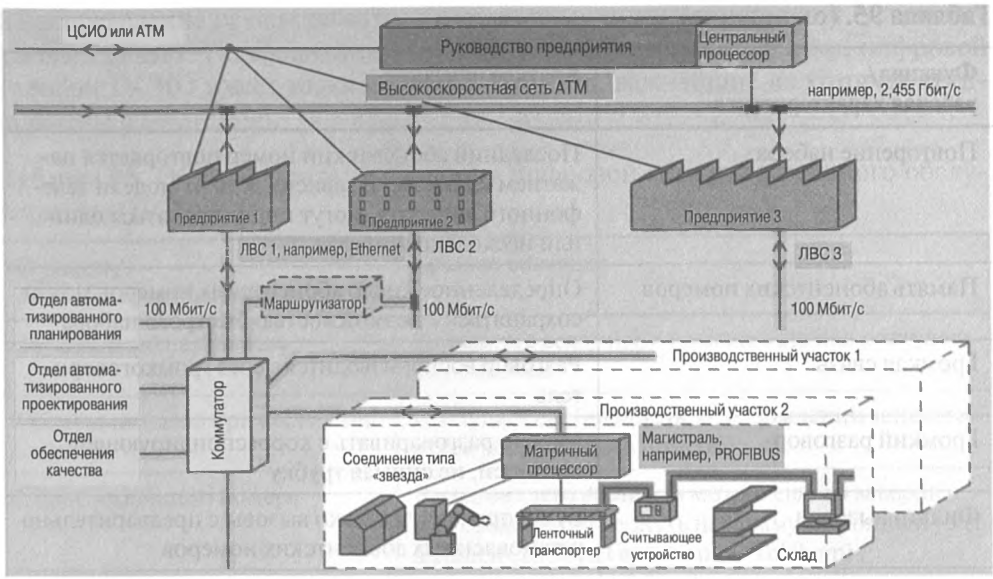


Рис. 894. Сети передачи данных

Одноранговые вычислительные локальные сети соединяются с помощью мостов или маршрутизаторов. Мосты не только объединяют несколько сегментов или локальных сетей рабочих групп, но и разбивают ЛВС на сегменты с уменьшенным трафиком. Для соединения двух ЛВС на значительном расстоянии друг от друга используются два удаленных моста. Маршрутизаторы действуют примерно по тому же принципу, объединяя несколько сетевых сегментов с различными протоколами и архитектурами. Но у них есть еще одна дополнительная задача: определить наиболее благоприятный маршрут для передачи информации. Задачу включения компьютеров для параллельной работы через проводные соединения выполняют коммутаторы. Мосты, маршрутизаторы и коммутаторы способны передавать сообщения только в полностью исправном состоянии, то есть в ситуации, свободной от возможных ошибок при передаче. Благодаря этому, неисправные станции или сегменты не нагружают другие сети. В отличие от одноранговых ЛВС, существуют сети с выделенным сервером. Сервер — это компьютер, контролирующий администрирование сети и предоставляющий свои ресурсы сетевым пользователям (рабочим станциям). Для увеличения дальности действия сети используются репитеры (англ. Repeater), основная функция которых — принятие затухающего сигнала от одного сегмента, его усиление и передача в другой сегмент.

Описание способа передачи информации в системах связи называется «протоколом». Согласно ИСО (ISO от англ. International Standardization Organization — Международная организация по стандартизации), в сети Интернет действует модель взаимодействия открытых систем OSI (от англ. Open System Interconnection), согласно которой в сети выделяются 7 уровней взаимодействия между компьютерами. Каждому уровню соответствует определенный набор протоколов, то есть правил взаимодействия между ниже- и вышестоящими уровнями (см. табл. 96).

Таблица 96. 7-уровневая модель взаимодействия открытых систем по нормам ИСО

• Уровень № 1: физический	• Уровень № 5: сеансов связи (канальный)
• Уровень № 2: логический	• Уровень № 6: представительский
• Уровень № 3: сетевой	• Уровень № 7: прикладной
• Уровень № 4: транспортный	

12.2.3. Интернет и Интранет

Интернет, наряду с телефоном, стал важнейшим средством телекоммуникации, а число пользователей сети Интернет растет гораздо стремительнее, чем это было когда-то в случае с телефоном или телефаксом. Интернет зародился когда-то как средство компьютерной связи в среде американских военных и университетских ученых. Сегодня к сети Интернет подключены практически все предприятия, школы и учреждения, а также огромное число частных лиц, которые со своими ПК используют Интернет через так называемых провайдеров — поставщиков Интернет-услуг (рис. 895).

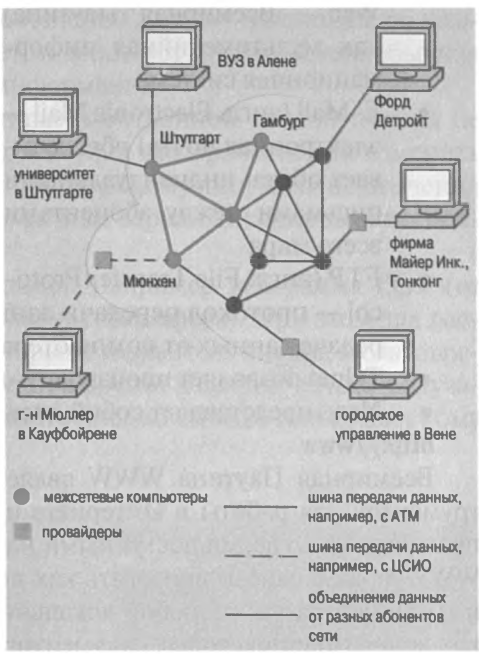


Рис. 895. Интернет

Итак, глобальная сеть Интернет обеспечивает простой обмен информацией между компьютерами, разбросанными по всему миру.

С помощью совсем не сложных в обращении сетевых серверов, например браузера Всемирной Паутины WWW (от англ. World Wide Web), можно искать, передавать, а также просматривать и распечатывать файлы с самым разным содержимым. Это могут быть текстовые файлы, графика, звуковая и видеоинформация. Поскольку осуществить это достаточно просто, такая техника компьютерной связи широко практикуется для общения в рамках отдельных предприятий либо группы предприятий, и тогда она носит название «Интранет» (рис. 896).

Основной причиной внедрения Интранета в коммерческих организациях стала необходимость ускорения процессов сбора, обработки, управления и предоставления информации.

Таким образом, Интранет служит для обмена информацией между компьютерами в рамках одного предприятия.

Услуги сети Интернет

Чтобы воспользоваться Интернет-сервисами, компьютер необходимо подключить к глобальной сети. Это осуществляется через службу Online, например T-Online (Telekom-Online), AOL (American Online), CompuServe или через так называемую всемирную университетскую сеть (WIN).

Самые популярные инструменты для работы в сети Интернет:

- WWW (от англ. World Wide Web — Всемирная Паутина) как мультимедийная информационная система
  E-Mail (англ. Electronic Mail — электронная почта) обеспечивает обмен индивидуальными письмами между абонентами всего мира
  FTP (англ. File Transfer Protocol — протокол передачи данных) служит файловым архивом при передаче данных от компьютера к компьютеру
- Telnet позволяет производить вычисления на других ВМ
- News представляет собой дискуссионно-информационную службу.

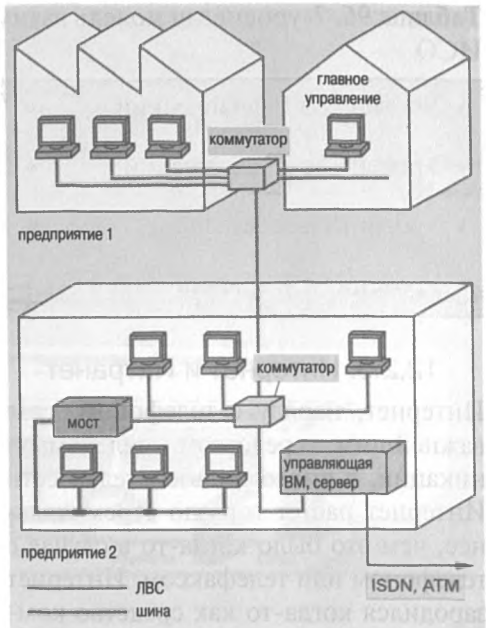


Рис. 896. Интранет

http://www

Всемирная Паутина WWW является одним из самых совершенных инструментов для работы в Интернете и отличается тем, что позволяет работать практически со всеми доступными на компьютере форматами данных. Проект WWW можно охарактеризовать как попытку представления всей информации в Интернете, а также любой локальной информации по выбору пользователя, как набор гипертекстовых документов.

WWW базируется на гиперсоединениях (англ. Hyperlinks): чтобы просто функционировала связь между компьютером, выступающим в качестве клиента (то есть пользователя, желающего получить информацию), и компьютером, выступающим в качестве сервера (то есть предоставляющего информацию), в WWW происходит обмен гипертекстовыми документами, а именно согласно специальному протоколу HTTP (англ. Hyper Text Transmission Protocol — протокол передачи гипертекстов).

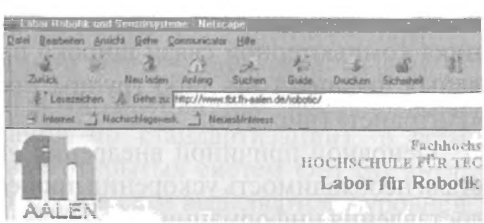


Рис. 897. Собственная страничка в Интернете (пример)

К нужной информации попадают через адрес, используя URL (англ. Uniform Resource Locator) как универсальный способ адресации ресурсов

в сети. Возьмем, например, http://www.fbt.fh-aalen.de (рис. 897) — это имя сервера кафедры технологии (fbt) Высшей школы в Алене (fh-aalen) в Германии.

Для поиска информации в Интернете имеется целый ряд поисковых систем. Это банки данных, формируемые в большей или меньшей степени вручную, например немецкая поисковая система DINO (Немецкая организационная система Интернет), но есть и автоматизированные поисковые системы, так называемые Web-Crawler, которые собирают информацию, следуя за ссылками URL. При пользовании поисковой системой можно вводить слова поиска, соединяя их, например знаком «+» по принципу логического умножения. В этом случае искомая информация должна подходить как к одному ключевому слову, так одновременно и к другому ключевому слову.

E-Mail

Электронная почта позволяет передачу сообщений другому пользователю компьютера, подключенного к сети Интернет, и действует при этом, как обычная почта, но только на уровне виртуальной информации.

Следует иметь в виду, что отправленные электронной почтой письма не зашифрованы и пишутся «открытым текстом», так что прочесть или изменить их содержание, к сожалению, доступно и постороннему лицу. Для исключения такой неприятной ситуации предлагаются разные варианты кодирования сообщений.

Удобный способ кодирования предлагает, например программа PGP (от англ. Pretty Good Privacy — чистая, хорошая частная сфера). При этом для расшифровки имеется два ключа, один из которых отправитель письма заблаговременно сообщает получателю (общий ключ), а другой известен только получателю (личный ключ). В этом случае прочитать письмо сможет только тот, кому оно адресовано, и никто более.

Файловый архив FTP

FTP (от англ. File Transfer Protocol) разрешает передачу данных от одной вычислительной машины к другой, причем файлы можно получать по специальной команде «get», либо — в случае Windows — открывается специальное окошко файлового архива, где достаточно щелкнуть на соответствующих кнопках (рис. 898). Пользователь обычно применяет для этой цели разрешение на доступ к другой ВМ, используя специальный пароль для входа в сеть. Если в чужой ВМ пароль не известен, можно получить доступ через анонимный FTP: здесь надо указать собственный электронный адрес. Посредством FTP можно, например копировать бесплатные программы, имеющиеся в других ВМ.

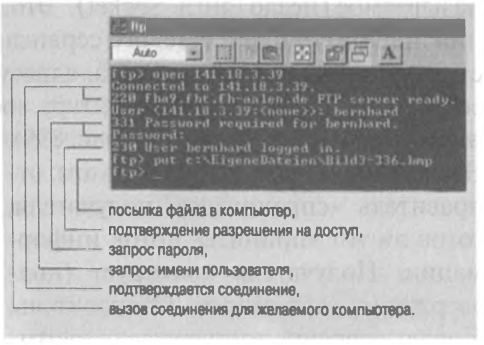


Рис. 898. Передача файлов с помощью FTP

Telnet

Программа Telnet обеспечивает удаленный доступ к сети, то есть позволяет входить в сеть с других компьютеров (конечные, или объектные ВМ), чтобы за-

пускать и выполнять программы с этими ПК и их программным обеспечением. При этом собственный компьютер пользователя воссоздает терминал удаленного компьютера, то есть играет роль устройства ввода/вывода. С Telnet удается также получать доступ к базам данных в режиме Online и к службам специальной информации. Часто объектные ВМ относятся к семейству UNIX, что требует соответствующего обслуживания на уровне UNIX.

TCP/IP

Термин TCP/IP (читается: ти-си-пи-ай-пи) характеризует все, что связано с протоколами взаимодействия между компьютерами в сети Интернет. Это понятие охватывает целое семейство протоколов, прикладные программы и даже саму сеть.

С помощью TCP/ IP в сети Интернет происходит отправка данных, причем IP (от англ. Internet Protocol) заботится о том, чтобы эти данные были разделены на «удобные» пакеты и попали к нужному получателю, а TCP (от англ. Transmission Control Protocol) обеспечивает надежную передачу информации.

Свойства TCP/IP:

- TCP организует двунаправленную информационную связь — от отправителя к получателю, и наоборот.
  Передача данных предстает перед пользователем в виде непрерывного информационного потока — даже если пакеты данных отправляются разными маршрутами.
  Надежность передачи данных обеспечена наличием порядкового номера, контрольной суммы, а также квитированием с контролем времени и возможностью повторения ошибочных сегментов.

При обмене информацией в качестве адресов используются номера портов. В то время как IP-адрес относится к компьютеру получателя информации, портовый номер, состоящий из 16 бит, определяет конечную точку связи, так называемое гнездо (англ. Socket). Это, собственно говоря, адрес места назначения приложения или сетевого сервиса. Через этот номер порта компьютер, выступающий в качестве клиента, адресует компьютер, выступающий в качестве сервера. TCP организует структуру соединения с «трехканальным квитированием установления связи» (рис. 899). Это выглядит следующим образом: отправитель «спрашивает» получателя, готов ли тот «принять» поток информации. Получатель квитирует (подтверждает) этот запрос. Отправитель, в свою очередь, подтверждает квитирование получателя, и только после этого начинается обмен информацией. При этом получатель подтверждает отправителю количество полученных байтов данных.

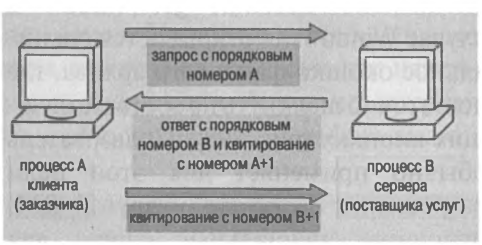


Рис. 899. Трехканальное подтверждение установления связи

Адреса IP

Интернет-адреса всегда обладают длиной в 32 бита, при этом существуют классы А, В, С. В зависимости от класса, сети и главная ВМ (Host) имеют иденти-

фицирующие номера разной длины (ID от англ. Identification). Указанные 32 бита, чаще всего разделенные точками, записаны как 4 байта, причем каждый байт имеет область значений от 0 до 255.

Вместо цифрового адреса применяют, как альтернативный вариант, символьные адреса, которые легче запоминаются (см. табл. 97). Для отдельных стран существуют основные доменные адреса, а специально для США — еще и адреса из времен начала Интернета, присвоенные главным пользователям.

Таблица 97. Интернет-адреса (пример)

Цифровой адрес	Символьный адрес	Примечания
141.18 141.18.3 141.18.3.1 141.18.3.254	fh-aalen.de fbt.fh-aalen.de ...fbt.fh-allen.de	Высшее специальное учебное заведение в Алене Кафедра технологии Вычислительные машины для технологических отраслей
Пример: 141.18.3.35	fha5.fbt.fh-allen.de	Интернет-серверы кафедры технологии Высшего учебного заведения в Алене

Повторение и закрепление материала

1. *Что означает «пакетная передача данных»?*
2. *Для чего используется цифровая сеть интегрального обслуживания?*
3. *Каковы задачи локальных вычислительных сетей?*
4. *Каким образом происходит соединение одноранговых ЛВС?*
5. *Сколько уровней имеет общая модель передачи данных?*
6. *Чем сеть Интернет отличается от сети Интранет?*
7. *Перечислите важнейшие сервисы сети Интернет.*
8. *Что понимается под термином «гипертекст»?*
9. *Для чего нужен URL?*
10. *Что означает термин TCP/IP?*
11. *Какова структура электронного адреса?*
12. *Какие задачи выполняет протокол TCP?*
13. *Опишите принцип «трехканального подтверждения установления связи».*

12.2.4. Локальные вычислительные сети (ЛВС)

Физическое расположение компьютеров, кабелей и прочих компонентов ЛВС называют сетевой топологией, где важнейшими являются два вида: «шина» и «звезда».

«Шинная» и «звездная» топологии

Шина предназначена для сбора данных и используется совместно всеми абонентами (рис.900). Передача данных осуществляется напрямую от передающего абонента к получателю информации. Во время такой пере-

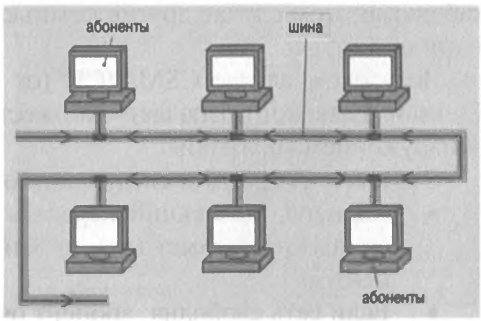


Рис. 900. Топология «шина»

дачи другие абоненты не могут обмениваться данными, то есть в одно и то же время передачу данных может осуществлять только один абонент. При шинной топологии все компьютеры (и сервер, и рабочие станции) соединены одним кабелем (магистралью). При топологии ЛВС типа «звезда» все компьютеры посредством специального сетевого адаптера подключаются к центральному компоненту — концентратору (рис.901). При этом активные концентраторы могут быть оснащены репитерами, которые принимают информационный сигнал и вновь передают его присоединенным абонентам либо другим концентраторам. Пассивные же концентраторы только распределяют мощность поступающего сигнала среди присоединенных абонентов.

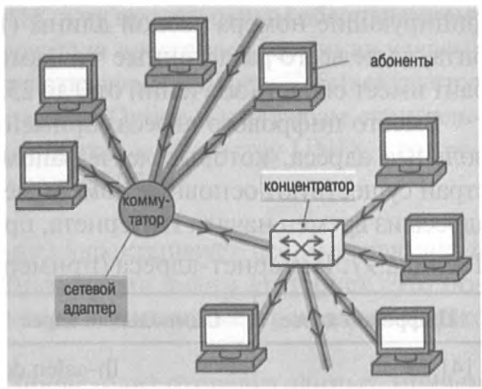


Рис.901. Топология «звезда» с концентратором и коммутатором

Коммутатор, как и в случае телефонной связи, подключает шину передачи данных к соответствующему получателю информации. Благодаря такому коммутатору возможен одновременный обмен данными сразу нескольких абонентов. Через коммутатор абоненты соединены либо с линией передачи, либо с линией приема.

Таким образом, при соединении через коммутатор сразу несколько абонентов могут одновременно обмениваться данными.

Доступ к общей шине передачи данных осуществляется по специально установленным правилам (протоколу), что позволяет избежать коллизий в процессе обмена информацией. Важнейшими способами управления доступом к общей шине являются, во-первых, процедура передачи маркера на право доступа и, во-вторых, процедура CSMA/CD.

В первом случае в сети имеется сигнал (или маркер) в виде последовательности двоичных разрядов, перемещающийся от компьютера к компьютеру. Чтобы переслать информацию в сети, компьютеру необходимо дождаться прихода свободного маркера. Заполнив маркер информацией, а также адресом отправителя и получателя данных, компьютер отправляет его по сетевому кабелю. В этом случае другие компьютеры не могут передавать свою информацию.

Во втором случае CSMA/CD (от англ. Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) означает «множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий».

Это способ действует следующим образом:

- Абонент, желающий передать информацию, проверяет сеть передачи данных на предмет того, не занята ли она в данный момент другим абонентом.

  Если сеть свободна, абонент очень быстро (за несколько микросекунд) посылает пакет данных определяемому заранее абоненту.

Если сеть занята, абонент ждет, постоянно проверяя, не освободилась ли она, после чего немедленно передает свои данные. Поскольку то же самое делают и другие абоненты, не исключена вероятность того, что посылать информацию начнут сразу несколько абонентов.

Если одновременно несколько абонентов получат доступ к сети, неминуемо произойдет столкновение. Такая коллизия оценивается каждой рабочей станцией, и любая из них может остановить свою передачу и вновь предпринять попытку по истечении времени, установленного генератором случайных чисел.

12.2.4.1. Локальная сеть Ethernet

Ethernet — это фирменное название широко распространенной локальной вычислительной сети, действие которой основано на методе доступа CSMA/CD — множественном доступе с контролем несущей и обнаружением коллизий. Скорость передачи информации составляет здесь 10 Мбит/с или — в быстродействующем варианте (Fast Ethernet) — 100 Мбит/с, или — в гига-варианте (Giga Ethernet) — 1 Гбит/с. ЛВС Ethernet состоит из одного или нескольких сегментов (рис.902), соединенных между собой с помощью репитеров, которые принимают информационный сигнал и создают новый сигнал с тем же содержимым. В большинстве случаев репитеры обладают также способностью распознавать пакеты данных, содержащих ошибки, и они уже не передаются следующим участкам сети.

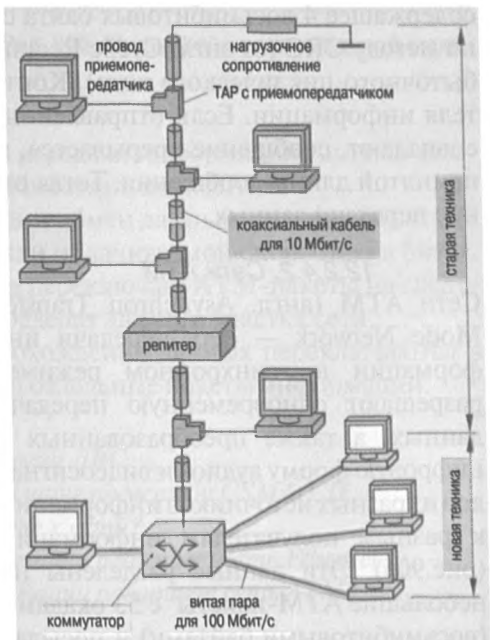


Рис. 902. Сеть Ethernet

На шине внутри персонального компьютера, используемого в качестве абонента, установлена съемная печатная плата для трансивера (приемопередатчика) с контроллером (рис.903). Контроллер формирует подлежащий передаче пакет данных. При больших объемах информации пакеты разделяются на посылки максимально допустимой длины в 1500 восьмибитовых байтов.

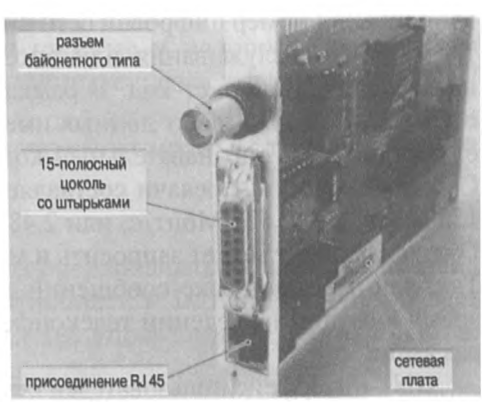


Рис. 903. Подключение к сети Ethernet

В случае коллизии ошибочно отправленный пакет данных контрол-

лером не принимается. Случайные числа, предназначенные для повторной передачи, вычисляются в контроллере. Поступающие данные проходят проверку на наличие формальных ошибок.

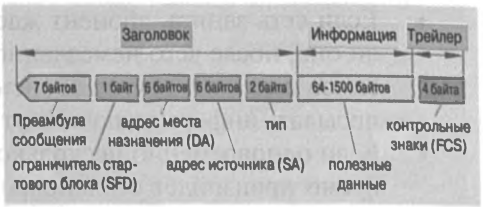


Рис. 904. Пакет данных для передачи в Ethernet.

Пакет данных в Ethernet состоит из заголовка, информации для передачи и трейлера для проверки ошибок (рис.904).

Трейлер представляет собой поле FCS (от англ. Frame Check Sequence Field), содержащее 4 восьмибитовых байта с контрольными знаками, вычисляемыми по методу CRC (от англ. Cyclic Redundancy Check — контроль при помощи избыточного циклического кода). Контрольные знаки вычисляются и у получателя информации. Если отправленные и вычисленные контрольные знаки не совпадают, сообщение прерывается, как и в случае несовпадения указанной и принятой длины сообщения. Тогда отправителю посылают запрос на повторение передачи данных.

12.2.4.2. Сети ATM

Сети ATM (англ. Asynchron Transfer Mode Network — сеть передачи информации в асинхронном режиме) разрешают одновременную передачу данных, а также преобразованных в цифровую форму аудио- и видеосигналов из разных источников информации к разным получателям информации (рис.905). Эти данные разделены на небольшие ATM-пакеты с 53 окадами (восьмибитовыми байтами) и посылаются только туда, куда они адресованы. В качестве адреса служит, например абонентский номер цифровой сети интегрального обслуживания или опознавательный Интернет-код. В рамках сети ATM каждый пакет данных имеет собственный опознавательный код. Сетевая скорость передачи составляет 155 Мбит/с или 622 Мбит/с, или 2,488 Гбит/с. Абонент может запросить и меньшую скорость передачи информации. Так, для передачи факс-сообщений достаточно совсем низкой скорости, в то время как при проведении телеконференций скорость должна быть во много раз выше.

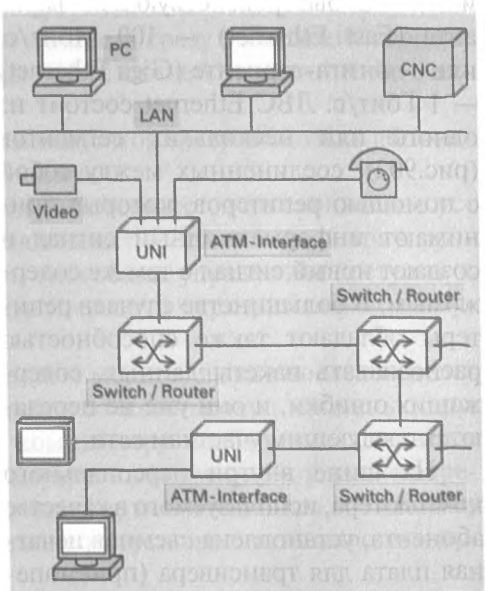


Рис. 905. Сеть ATM

UNI-интерфейс пользователей сети разделяет данные, поступающие с разной скоростью из разных источников, на адресованные блоки данных равной

длины — по 53 байта информации в каждом (рис.906). Полные блоки, таким образом, передаются с высокой цифровой скоростью. Блоки данных из разных источников появляются поэтому с разной частотой, то есть асинхронно. В отличие от других сетей, в которых каждому абоненту предоставляется согласованный период времени для передачи своей информации независимо от поступающего объема данных (метод временного уплотнения канала связи), здесь АТМ-пакет формируется только при наличии имеющихся для этого данных.

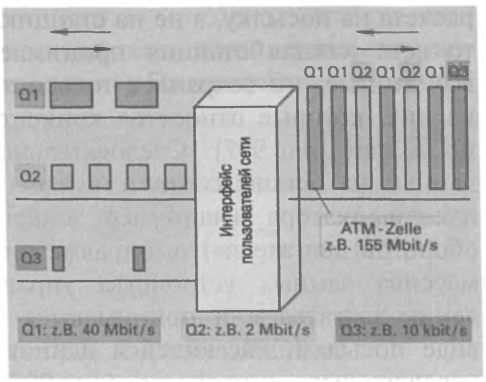


Рис. 906. Интерфейс пользователей сети

Таким образом, в сетях АТМ скорость передачи информации того или иного абонента определяется текущими потребностями последнего.

Коммутатор АТМ регистрирует текущий обмен данными из отдельных источников и сравнивает их с договорной или оплачиваемой скоростью в битах. Согласно указанным адресам, коммутатор переключает АТМ-пакеты на следующий коммутатор, заново адресуя их в пределах данного участка сети.

Таким образом, в сети АТМ пути прохождения данных переключаются в соответствии с адресацией разделенной на отдельные пакеты информации.

Повторение и закрепление материала

1. *Назовите самые популярные топологии ЛВС.*
2. *Опишите принцип доступа к общей шине по методу CSMA/CD.*
3. *Какова функция маркера при доступе к сети?*
4. *С какой скоростью передачи информации работает сеть Ethernet?*
5. *С какой скоростью передачи информации работает сеть АТМ?*

12.2.5. Магистральные системы

Для сетевой связи устройств в рабочем пространстве машины или установки (например для связи чувствительных элементов с системами управления роботами) требуются достаточно простые и недорогие магистрали ввода-вывода. Здесь используют в большинстве случаев провода с попарно скрученными жилами («витые пары») — в качестве передающей среды и для более легкого доступа к шине, чем это имеет место в случае локальных сетей.

12.2.5.1. Шина CAN

Шина CAN (от англ. Control Area Network) первоначально была разработана для управляющей техники грузовых автомобилей и активно использовалась в качестве недорогого и надежного средства управления в промышленной сфере.

При шине CAN несколько абонентов (рабочих станций) являются равноправными управляющими единицами. Адресация данных осуществляется из

расчета на посылку, а не на станцию, то есть каждая станция принимает все данные, но сохраняет только те из них, которые относятся конкретно к ней (рис.907). Следовательно, данные на основе соответствующего идентификатора (например «число оборотов двигателя») выбираются из массива данных устройства управления двигателем и принимаются в виде посылки, касающейся данного управляющего устройства (рис.907). Характеристические параметры шины CAN представлены в таблице 98.

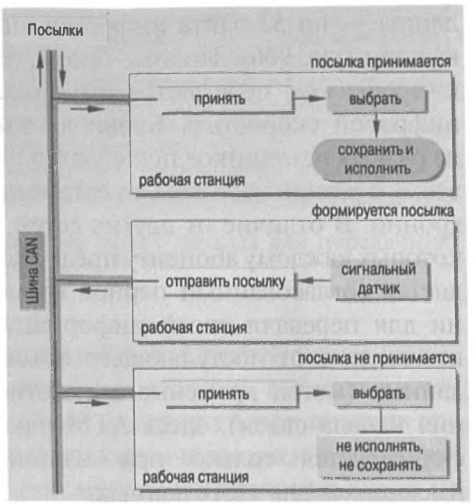


Рис. 907. Шина CAN

Таблица 98. Характеристики шины CAN

Характеристика	Описание
Макс. протяженность	40 метров (1 Мбит/с) 1000 метров (50 кбит/с)
Скорость передачи данных	1 Мбит/с (40 м) 50 кбит/с (1000 м)
Адресация	в расчете на посылку, а не станцию; 2032 посылок
Распределение доступа к шине	по установленному приоритету; 2031 уровень приоритета
Число станций	не ограничено
Надежность передачи данных	очень высокая; интервал Хемминга 6
Передающая среда	двухпроводное соединение или оптический волновод

Управление шины

Когда шина свободна, передачу может осуществлять любая рабочая станция. Если сразу несколько станций одновременно начинают посылать свою информацию, то во избежание коллизий при доступе право на физическое владение шиной получает станция с посылкой наивысшего уровня приоритета, причем это происходит без каких бы то ни было потерь времени и битов информации. Каждый отправитель с посылкой более низкого уровня приоритета прерывает свою передачу и становится получателем. Как только шина вновь освобождается, «отодвинутая» станция предпринимает новую попытку отправить свою информацию. Для передачи права на доступ к шине протокол CAN имеет два двоичных состояния: рецессивное, то есть «уступающее», и доминантное, то есть «владеющее». При посылке доминантного бита все рецессивные биты, отправленные другими рабочими станциями, перезаписываются.

Контроль признания и пакет данных

Если идентификатор посылки отмечен в идентификационной ведомости станции, то данная посылка принимается («признается»). Пакет посылаемых данных состоит из семи идентификационных полей (рис.908), где стартовый знак отмечает начало посылки и синхронизирует все станции. Администратор, управляющий доступом к общей шине, ориентирован именно на идентификатор посылки, то есть шина CAN функционирует с опорой на посылки, а не на адреса получателей.

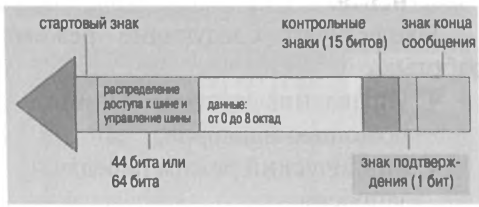


Рис. 908. Формат сообщения

12.2.5.2. Шины PROFIBUS, PROFIBUS-DP

PROFIBUS (от англ. Process Field Bus — шина поля процесса) стандартизована в ДИН 19 245. (Другие названия являются фирменными, например Sinec L2. Наряду с этим, имеется PROFIBUS-DP — децентрализованная периферия Profibus со скоростью передачи информации до 12 Мбит/с при несколько ограниченном наборе функций. Область применения: быстрый обмен данными с датчиками и исполнительными элементами.) Здесь введены такие понятия, как «активные и пассивные абоненты» (рис.909). Активный абонент может передавать сообщения сам по себе, то есть без всякого запроса. Право на передачу информации циклично распределяется по эстафетному принципу на основе передачи маркера. Пассивные абоненты могут лишь подтверждать получение сообщений или отправлять данные по запросу. Часто бывает так, что на одной шине PROFIBUS присутствует только один активный абонент, например ведущая ВМ, и тогда надобность в маркерном доступе отпадает.

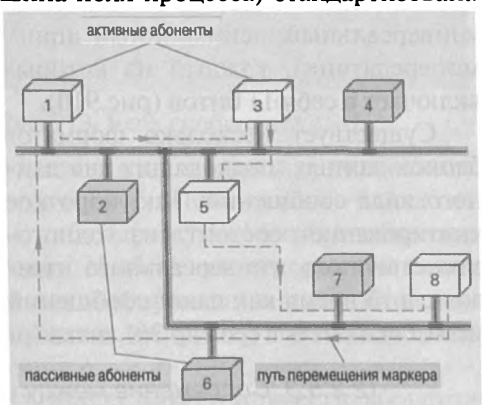


Рис. 909. Структура шины PROFIBUS

Топология сети может быть линейной либо древовидной. При этом возможно установление связи по всей площади охвата.

Передающей средой является экранированный двухжильный провод. Максимальное число активных абонентов составляет 32, скорость передачи данных находится в диапазоне от 9,6 кбит/с до 500 кбит/с. Максимальная длина линии (без репитеров) достигает 1200 метров. При наличии же репитера сегмент шины удлиняется еще на 1200 метров.

Система распознает следующие сбои и рабочие состояния:

- наличие нескольких маркеров в одном цикле,
- полное отсутствие маркеров,
- неправильная передача маркера,
- несколько идентичных адресов абонентов,

- сбой в работе получающей станции,
- подключение и отключение абонента.

Существуют следующие режимы работы:

- управление доступом к шине с помощью маркеров,
- циклический режим передач и запросов,
- управление абонентами.

Сообщения состоят из так называемых универсальных знаков, или символов UART (от англ. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter — универсальный асинхронный приемопередатчик), каждый из которых включает в себя 11 битов (рис.910).

Рис. 910. Универсальный символ

Существует несколько форматов блоков данных, подходящих для данного вида сообщений. Так, короткое квитирование состоит из одного-единственного универсального символа, в то время как пакет сообщений может включать в себя до 261 знака (рис.911).

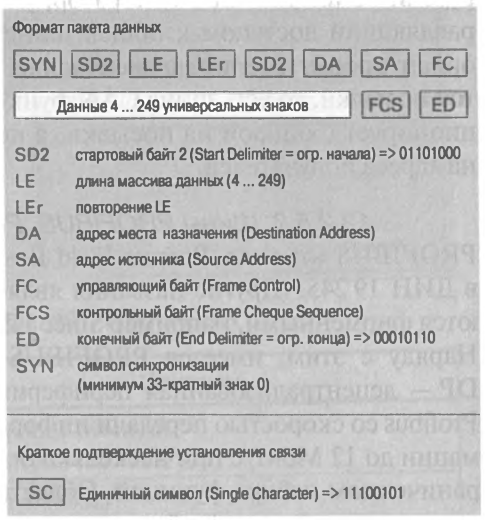


Рис. 911. Формат пакета данных

12.2.5.3. Сопряжение между исполнительными органами и датчиками (AS-I)

AS-1 есть магистраль для установления связи между сенсорной техникой (например фоторелейными барьерами) и исполнительными органами (например пневматическими цилиндрами) посредством простой двухпроводной линии (рис.912). Передача данных осуществляется по этой линии, как электропитание для абонентов (сенсоров и соответственно исполнительных органов). Максимальная скорость передачи данных составляет 167 кбит/с, максимальное расстояние между абонентами достигает 100 метров, причем может быть подключен в общей сложности 31 абонент. С помощью репитеров можно при желании увеличить это расстояние, равно как и число абонентов.

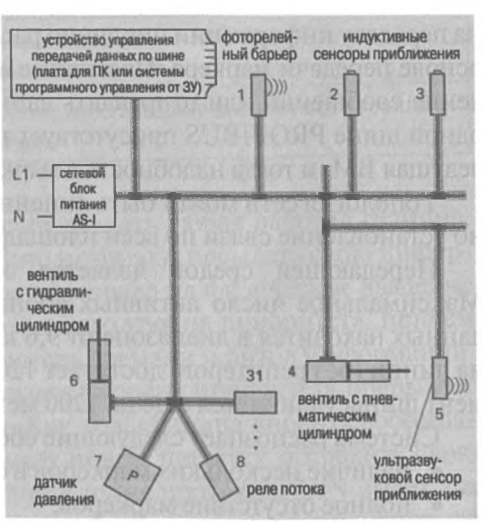


Рис. 912. Магистраль AS-1 с примерами сенсоров и исполнительных органов

Устройство сопряжения между исполнительным органом и чувствительным элементом обеспечивает недорогой и удобный способ связи двоичных сенсоров и исполнительных органов.

Управление шины реализуется посредством главного блока (Master), который управляет абонентами путем последовательного опроса сенсоров и соответственно поочередно передает исполнительным органам сигналы, циклически повторяя эти действия (упорядоченный опрос абонентов). При этом продолжительность цикла зависит от числа присоединенных подчиненных блоков (Slave) и составляет не более 5 мс. Передача сообщения состоит из вызова главного блока (Master) с 14 битами, паузы главного блока с 3-10 битами, собственно сообщения абонента с 7 битами и паузы абонента с одним битом (рис.913). Синхронизация достигается за счет одного стартового и одного стопового битов. Передача сообщения главного блока содержит либо данные, параметры, команды, либо адреса. В 14 битах сообщения главного блока имеется 5 битов для адресации 31 абонента, которые являются подчиненными блоками (Slave), и 5 битов для информации в адрес абонента. Абонент передает на главный блок 4 бита данных, например коммутационное состояние сенсора или же сообщение об ошибке.

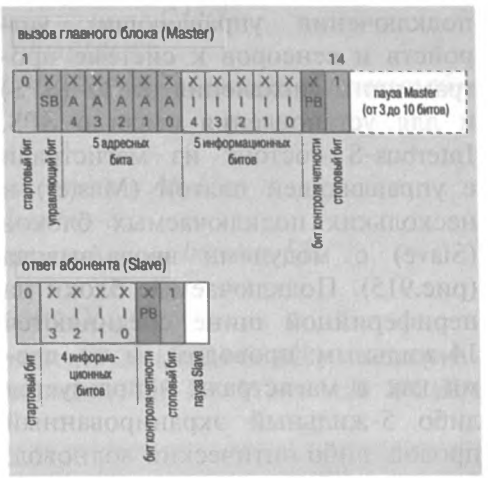


Рис. 913. Блок сообщений AS-I

С помощью соответствующих команд Master может привести абонента (Slave) в исходное положение (выполнить сброс — Reset), удалить его адрес, ввести новый адрес, а также считать или удалить текущее состояние. При монтаже магистрали AS-I абоненты подлежат адресации один за другим. Существуют Master-модули, способные выполнять операции по инициализации (приведению в исходное положение) с достаточно высокой степенью автоматизации. Посредством главного блока, реализуемого чаще всего в виде платы ПК или модуля SPS, возможна и передача сообщений системам более высокого уровня, например локальной сети Ethernet.

Подключение к AS-I представляет собой ИС с высокой степенью интеграции — в сенсоре и соответственно в исполнительном органе. Для связи с прочими абонентами предлагаются модули пользователя с ИС, в которые достаточно лишь вмонтировать шину (рис.914): через контактные штырьки достигается контакт без прерывания линии.

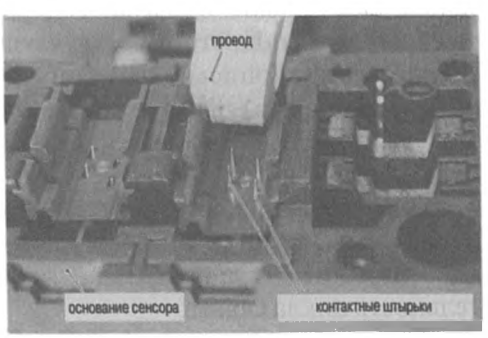


Рис.914. Подключение к магистрали AS-I

12.2.5.4. Interbus-S

Это межпроцессорная шина, используемая, прежде всего, для подключения управляющих устройств и сенсоров к системе программного управления от ЗУ (SPS) и для установления связи с SPS. Interbus-S состоит из магистрали с управляющей платой (Master) и нескольких подключаемых блоков (Slave) с модулями ввода/вывода (рис.915). Подключаемые блоки на периферийной шине соединяются 14-жильным проводом, в то время как в магистрали используется либо 5-жильный экранированный провод, либо оптический волновод. Максимальная длина сети составляет у каждой периферийной шины 10 метров, а у магистрали — 400 метров без репитера и несколько километров при наличии репитера. Модули ввода/вывода имеют 8 входов или выходов для двоичных сигналов.

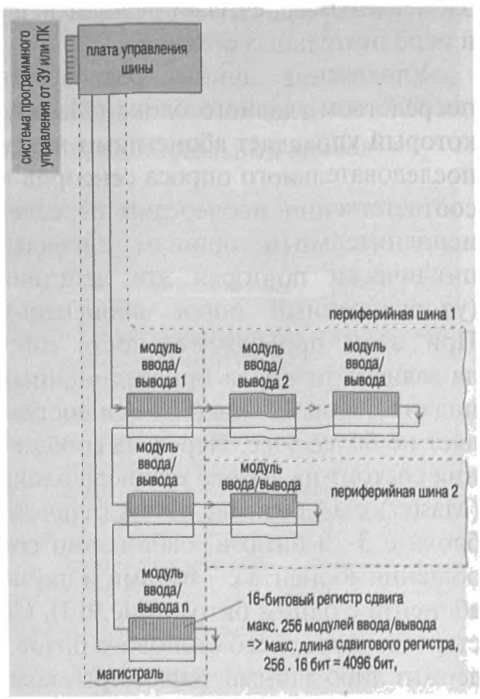


Рис. 915. Структура Interbus-S

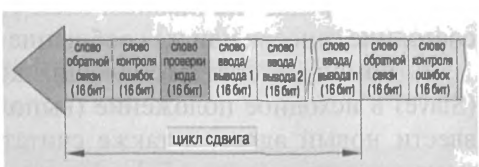


Рис. 916. Пакет сообщений

Каждый подключаемый блок на основе одного или нескольких 16-битовых слов ввода/вывода представляет собой часть сдвигового регистра (рис.915 и 916). Блок данных сообщения состоит из 16-битовых слов ввода/вывода, слова проверки кода, слова контроля ошибок и слова обратной связи. Плата управления шины в тактовом режиме сдвигает эту длинную группу данных через все подключаемые блоки — до нового появления слова обратной связи. Теперь каждое слово ввода/вывода стоит в относящейся к конкретному модулю ячейке памяти и может приниматься или соответственно описываться заново. Все данные всегда проходят через плату управления шины. Она может в одном цикле принять данные (например от модуля ввода/вывода 5), а в другом цикле передать эти данные (например модулю ввода/вывода 1).

Последовательность модулей ввода/вывода является одновременно последовательностью 16-битовых слов ввода/вывода в пакете данных. Длина сдвигового регистра определяется числом модулей ввода/вывода, как и длительность цикла сдвига.

Таким образом, шина Interbus-S функционирует как двоичный регистр сдвига.

Повторение и закрепление материала

1. *Каково назначение магистралей?*
2. *Как организовано управление шины CAN?*
3. *Какова скорость передачи информации на шине CAN?*
4. *Как распределяется доступ к шине PROFIBUS?*
5. *Чем активные абоненты шины PROFIBUS отличаются от пассивных абонентов?*
6. *Для чего используется магистраль AS-I?*
7. *Сколько абонентов может быть подключено к AS-I?*
8. *Опишите принцип действия шины Interbus-S.*
9. *Какие задачи выполняет плата управления шины Interbus-S?*

12.2.6. Последовательный интерфейс (V.24)

Самым популярным из интерфейсов является V.24 (ДИН 66 020) с международной стандартизацией на основе рекомендации ITU-T — V.24 и V.28. В США этот интерфейс имеет обозначение RS-232C. В указанном стандарте дается описание преимущественно на физическом уровне. Возможные состояния с точки зрения соединения данных, структуры соединения, разбивки на блоки и способов квитирования могут быть самыми разными.

Рис. 917. Сигнал передачи для знака М

Представление данных. При посимвольной передаче данные передаются с 7-битовым кодом (см. табл. 99). При этом каждый знак состоит из одного стартового бита, 7 или 9 информационных битов, одного бита контроля четности для целочисленной контрольной суммы и — на выбор — одного или двух стоповых битов (рис.917).

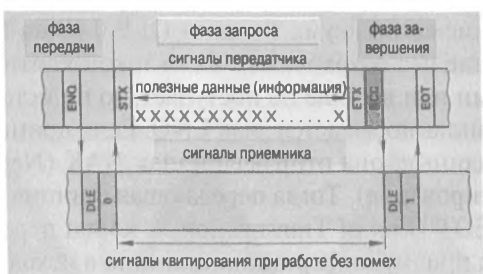


Рис. 918. Процесс обмена данными

Скорость передачи данных устанавливается чаще всего на 2400, 4800, 9600 и 19200 бит/с. В случае интерфейса V.24 единицей скорости передачи информации обычно является Бод (1 Бод ≙1 бит/с, 1 кБод ≙1 кбит/с).

Рис. 919. Проверка четности и контроль блока

Процесс обмена данными. Существуют разные способы выполнения операции по обмену информацией. В большинстве случаев находит применение способ под названием «процедура LSV-2» (LSV — медленное помехозащищенное соединение).

Таблица 99. 7-битовый код (код ASCII)

Бит №				70	0	0	0	1	1	1	1	
				6	0	0	1	1	0	0	1	1
				5	0	1	0	1	0	1	0	1
4	3	2	1		Управляющие знаки		Цифры, буквы, специальные знаки					
0	0	0	0		NUL	DEL	SP	0	@	P	`	p
0	0	0	1		SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0		STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1		ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0		EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0	1	0	1		ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0		ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1		BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0		BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1		HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0		LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1		VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0		FF	FS	,	<	L	↗	l	|
1	1	0	1		CR	GS	-	=	M	]	m	}
1	1	1	0		SO	RS	.	>	N	^	n	—
1	1	1	1		SI	US	/	?	O	_	o	DEL

Пример: Обмен данными осуществляется в три фазы (рис.918). Он начинается с фазы запроса, далее следует фаза собственно передачи данных, и заканчивается все завершающей фазой (рис.918). Передающая станция посылает ASCII-знак ENQ (Enquiry — запрос). Корреспондирующая станция подтверждает установление связи двумя знаками DLE 0 (Data Link Escape — информационное соединение без сохранения). Если такой квитирующий сигнал сопровождается помехами или вообще не поступает, то по истечении определенного времени ожидания вновь посылается знак ENQ. Если принимающая станция не в состоянии принять данные, она отправляет знак NAK (Negative Acknowledge — отрицательное квитирование). Тогда передающая станция прекращает попытки передачи со знаком EOT (End of Transmission — конец передачи) и приводит тем самым не готовую к приему информации станцию в исходное состояние. Если принимающая станция готова принять передаваемые данные, передающая станция запускает фазу передачи со знаком STX (Start of Text — начало текста). О конце текста принимающей станции сообщается через знак ETX (End of Text — конец текста). После этого осуществляется передача знака проверки блока BCC (Block Check Character). Этот знак одинаково вычисляется и у передатчика, и у приемника, например посредством продольного контроля четности по всем битам одного разряда (рис.919).

Если посылаемый передающей станцией знак проверки блока совпадает со знаком, вычисленным принимающей станцией, последняя подтверждает это знаком DLE 1. Далее передатчик индицирует фазу завершения передачи знаком EOT. При неправильной передаче приемник посылает знак NAK, запрашивая тем самым повторение передачи.

Если полезные знаки, содержащие собственно информацию, передаются в другом коде (не 7-битовом коде ДИН), то после фазы запроса следуют дальнейшие указания касательно требуемой последовательности знаков.

ПАМЯТКА ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Каждый работник обязан — по мере своих сил и с учетом действующих внутризаводских предписаний — заботиться о собственной безопасности в процессе работы, а также о безопасности и сохранении здоровья других лиц, так или иначе причастных к выполняемой им работе. В связи с этим настоятельно рекомендуется:

→ использовать машины и оборудование строго по назначению,

→ точно соблюдать действующие правила техники безопасности,

→ немедленно устранять любые неисправности средств охраны труда,

→ по возможности избегать опасных ситуаций, применяя индивидуальные средства защиты,

→ не находиться без необходимости в опасных зонах, не допускать к оборудованию посторонних, не включать незнакомые устройства,

→ при выполнении сложных и опасных работ привлекать помощника.

Обязательно принимать к сведению запретительные, предупредительные и предписывающие знаки!

Запретительные знаки (выборочно)

Посторонним вход воспрещен	Не прикасаться	Не использовать в ванных комнатах	Не работать в галстуке	Прибрать длинные волосы

Предупредительные знаки (выборочно)

Опасность пожара	Осторожно! Высокое напряжение	Осторожно! Лазерное излучение	Осторожно! Рентгеновское излучение	Осторожно! Опасность защемления

Предписывающие знаки (выборочно)

Работать в наушниках	Работать в защитных очках	Работать в защитных перчатках	Перед открытием вынуть вилку из сетевой розетки	См. информацию по эксплуатации

Заявки на книги присылайте по адресу:
125319 Москва, а/я 594
Издательство «Техносфера»
e-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru
факс: (495) 956 33 46

В заявке обязательно указывайте
свой почтовый адрес!

Подробная информация о книгах на сайте
http://www.technosphera.ru

Коллектив авторов под руководством Д. Шмида

Управляющие системы и автоматика

Компьютерная верстка – А.В. Бабич
Дизайн – И.А. Куколева
Корректор – Н.А. Шипиль
Выпускающий редактор – О.Н. Кулешова
Ответственный за выпуск – С.В. Зинюк

Формат 70x100/16. Печать офсетная.
Гарнитура Ньютон.
Печ.л.36,5. Тираж 3000 экз. (1-й завод 1500 экз.) Зак. № С-1443.
Бумага офсет №1, плотность 65 г/м^2

Издательство «Техносфера»
Москва, Лубянский проезд, 27/1

Отпечатано в типографии ОАО ПИК «Идел-Пресс»
420066 г. Казань, ул. Декабристов, 2