



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

## Учебное пособие

# «Основы логического моделирования при управ- лении технологическим оборудованием»

Авторы  
Лебедев А.Р.,  
Исаев А.Н.,  
Гавриленко М.Д.,  
Суровцева О.А.

Ростов-на-Дону, 2017

## Аннотация

Учебное пособие по дисциплинам БЗ.В.ДВ.3.1 Управление станками и станочными комплексами для бакалавров 4го курса по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, профиль подготовки «Металлообрабатывающие станки и комплексы» и Б1.Б.10 Металлорежущие станки с компьютерным управлением, Б.1.ДВ.5 Средства и методы технологии обработки на станках с ЧПУ обучающихся 2 курса по направлению магистратуры 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, программа «Процессы механической и физикотехнической обработки, станки и инструмент»

## Авторы

кандидат технических наук,  
доцент Лебедев А.Р.

доктор технических наук,  
профессор Исаев А.Н.

старший преподаватель  
Гавриленко М.Д.

кандидат технических наук,  
доцент Суровцева О.А.





## Оглавление

<b>Предисловие .....</b>	<b>4</b>
<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АП.6</b>	
1.1. Понятие автоматизации производственных процессов .....	6
1.2. Общее описание гибких производственных систем ..	12
1.3. Классификация систем автоматического управления станками .....	16
1.4. Основные элементы автоматизированного производства .....	20
1.5. Типовые схемы компоновки производственных участков.....	36
1.6. Контрольные вопросы.....	46
<b>ГЛАВА 2. ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ГАУ .....</b>	<b>46</b>
2.1. Модели технологического цикла .....	46
2.2. Синтез дискретных автоматов.....	53
2.3. Пример логической модели работы ГАУ .....	64
2.4. Задание на выполнение самостоятельной работы ..	79
2.5. Контрольные вопросы.....	81
<b>Заключение .....</b>	<b>81</b>
<b>Рекомендуемый список литературы.....</b>	<b>81</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из главных условий развития экономики страны является постоянное повышение конкурентоспособности и качества продукции. Выполнение этого условия возможно только через ускорение научно-технического прогресса в различных отраслях народного хозяйства на основе внедрения передовой технологии и всесторонней автоматизации производственных процессов с использованием вычислительной техники, микропроцессоров, промышленных роботов, станков и других видов оборудования с числовым программным управлением. Основой автоматизации любого процесса является система управления. Правильный выбор такой системы обеспечивает экономическую эффективность автоматизации.

Современные станки с числовым программным управлением – это машины для размерной обработки поверхностей деталей, органически соединенные с компьютером. Управление подобным оборудованием все более напоминает процесс составления компьютерной программы. Поэтому современный специалист машиностроительного производства должен, несомненно, обладать компетенциями в области проектирования логической модели управления гибким производственным комплексом. Постоянное развитие станочного парка, средств механизации и автоматизации, оснащение их все новыми свойствами, расширяющими технологические возможности современного оборудования с числовым программным управлением, требуют постоянного обновления учебно-методической базы при изучении существенной части дисциплин учебных планов машиностроительных направлений в высших учебных заведениях.

Учебное пособие, главы которого расположены в логической последовательности и взаимосвязаны, поможет обучающимся получить необходимые теоретические знания и практические навыки в сфере проектирования моделей управления технологическим оборудованием в условиях гибкого автоматизированного производства. Цель данного учебного пособия – формирование навыков проектирования моделей управления гибкими производственными системами и их компоновки автоматизированными средствами технологического оснащения.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития машиностроения характеризу-

ется широким развитием гибких технологий, основанных на широком использовании микропроцессорной и компьютерной техники, особенно в системах управления и контроля.

Числовое программное управление (ЧПУ) – компьютеризованная система управления, управляющая приводами технологического оборудования, включая станочную оснастку. Оборудование с ЧПУ представлено: станочным парком, например станками для обработки металлов, дерева, пластмасс, для резки листовых заготовок, для обработки давлением и т.д.; приводами асинхронных электродвигателей, использующих векторное управление; характерной системой управления; современными промышленными роботами [5].

Аббревиатура ЧПУ соответствует двум англоязычным – NC и CNC, – отражающим эволюцию развития систем управления оборудованием. Системы типа NC (Numerical control), появившиеся первыми, предусматривали использование жестко заданных схем управления обработкой – например, задание программы с помощью штекеров или переключателей, хранение программ на внешних носителях. Какихлибо устройств оперативного хранения данных и управляющих процессоров не предусматривалось. Более современные системы ЧПУ, называемые CNC (Computer numerical control) – системы управления позволяющие использовать программные средства для модификации существующих и написания новых программ. Базой для построения CNC служит современный микропроцессор [3].

Несколько станков с ЧПУ можно объединить в гибкую автоматизированную производственную систему (ГПС), которая в свою очередь может быть дополнена гибким автоматизированным участком (ГАУ) и войти в состав автоматической линии (производства масштаба участка либо цеха), гибкого автоматизированного производства (ГАП) [4]. Автоматизированное производство (АП) – такой способ выполнения производственных процессов, при которых отдельные основные и вспомогательные операции и процессы их регулирования производятся машинами и механизмами автоматически.

Гибкое производство – такое производство, в котором представляется возможность за короткое время и при минимальных затратах на том же оборудовании без перерыва производственного процесса и не останавливая оборудования переходить на производство других изделий произвольной номенклатуры в пределах технических возможностей и технологического назначения оборудования.

В машиностроении автоматизация уже много лет является реальностью для крупносерийного и массового производств. Мелко и среднесерийное же производства остаются слабо автоматизированными, так как сложно создать и внедрить при наименьших затратах средства автоматизации, которые позволили бы повысить производительность при изготовлении изделий различных типов.

Существует так же различие между уровнями автоматизации основного оборудования и организации производства, обусловленное низким уровнем автоматизации транспортноскладских, вспомогательных операций и недостаточной степенью внедрения ЭВМ в среду производства.

Решение этих проблем возможно через широкое внедрение гибких переналаживаемых производств и систем автоматизированного проектирования, автоматических линий, машин и оборудования со встроенными средствами микропроцессорной техники, многооперационных станков с ЧПУ, робототехнических, роторных и роторноконвейерных комплексов. Создание автоматических станочных и сборочных модулей и на их основе комплексноавтоматизированных линий участков, цехов направлено на наращивание темпов производительности труда и высвобождение трудовых ресурсов.

В пособии освещены теоретические и практические вопросы управления технологическими автоматизированными комплексами в условиях современного автоматизированного производства.

## **ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АП**

### **1.1. Понятие автоматизации производственных процессов**

Механизация технологического процесса – это применение энергии неживой природы в технологическом процессе или его частях, полностью управляемых людьми, в целях сокращения трудовых затрат, улучшения, условий производства, повышения объема выпуска и качества продукции. Примеры механизации – использование универсальных металлорежущих станков для механической обработки деталей, когда весь процесс управляется человеком, гайковертов в процессах сборки, электродрелей, гру-

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

зоподъемных устройств, манипуляторов и т. д., то есть частичная или полная замена ручного труда машинным.

Автоматизация технологического процесса – применение неживой природы в технологическом процессе (или его составных частях) для его выполнения и управления им без непосредственного участия людей в целях сокращения трудовых затрат, улучшения условий производства, повышения объема выпуска и качества продукции [1]. Таким образом, при автоматизации производственным процессом управляют машины.

Единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП) предусмотрены качественная и количественная оценки состояния механизации и автоматизации технологических процессов. Качественную оценку проводят по трем показателям: виду, ступени внедрения и категории.

По виду различают частичную, полную, единичную, комплексную, первичную и вторичную автоматизацию (или механизацию) технологических процессов или систем.

Частичная автоматизация (механизация) – это когда часть ручного труда заменена машинным с управлением процессом при автоматизации (без управления процессом при механизации). Например, сверление отверстий электродреелью, обработка деталей по упорам на токарноревольверном станке.

Полная автоматизация (механизация) представляет собой автоматизацию (механизацию) технологических процессов в целом или их систем, при которой ручной труд полностью заменен машинным с управлением процессом (без управления процессом). Например, соответственно обработка на металлорежущих станках деталей, установленных манипуляторами, и работа автоматов.

Единичная автоматизация (механизация) – это частичная или полная автоматизация (механизация) одной первичной составной части технологического процесса или системы технологических процессов. Примером может быть изготовление изделия, механическая обработка деталей которого автоматизирована, а сборка их проводится вручную.

Комплексная автоматизация (механизация) представляет собой частичную или полную автоматизацию (механизацию) двух и более первичных составных частей технологического процесса или системы технологических процессов. При автоматизации (механизации) всех первичных составных частей технологического процесса получают полную комплексную автоматизацию (механизацию). Например, для технологического процесса, содержащего пять операций, все операции должны быть автоматизированы

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

(или механизированы). При автоматизации (механизации) не всех первичных частей получают неполную комплексную автоматизацию (механизацию). Например, три из пяти операций технологического процесса должны быть автоматизированы (или механизированы). Комплексная автоматизация (механизация) – оптимальный вариант производства.

Так как механизацию и автоматизацию часто проводят в несколько этапов, различают первичную и вторичную автоматизацию (механизацию).

Первичная – это автоматизация (механизация) технологических процессов или их систем, в которых ранее использовали только ручной труд.

Вторичная – это автоматизация (механизация) технологических процессов или их систем, в которых ранее использовали ручной и машинный труд при механизации или только машинный труд при автоматизации. Например, замена устройств автоматического контроля на станке на более совершенные, обеспечивающие лучшую точность обработки при длительном сроке эксплуатации устройства.

При описании основных видов механизации и автоматизации применяют следующие условные обозначения: М – единичная механизация; А – единичная автоматизация; КМ – комплексная (полная или неполная) механизация; КА – комплексная (полная или неполная) автоматизация; М(А) – единичная механизация и автоматизация, одновременно применяемые на технологическом объекте; КМ(А) – комплексная (неполная или полная) механизация и автоматизация, одновременно применяемые на технологическом объекте.

Степень внедрения автоматизации (механизации) обычно обозначают так: 1 – единичная технологическая операция; 2 – законченный технологический процесс; 3 – система технологических процессов, выполняемых на производственном участке (отделении); 4 – система технологических процессов, выполняемых в пределах цеха (в системе участков); 5 – система технологических процессов, выполняемых в пределах группы технологически однородных цехов; 6 – система технологических процессов, выполняемых в пределах предприятия (в системе групп цехов); 7 – система технологических процессов, выполняемых в пределах производственных фирм, объединений или научнопроизводственных объединений (в системе отдельных предприятий); 8 – система технологических процессов, выполняемых в пределах территориальноэкономического региона (в системе отдельных фирм, объ-



единений); 9 – система технологических процессов, выполняемых в пределах отрасли (в системе регионов); 10 – система технологических процессов, выполняемых для всей страны (в системе отраслей).

Категория механизации и автоматизации – это характеристика степени влияния механизации и автоматизации на технологический процесс в зависимости от основного показателя уровня механизации и автоматизации:

$$Y = \frac{R_a k K П}{R_a k K П + R(1 - Y_{\text{мт}} / 100)} 100\%, \quad (1.1)$$

где  $R_a$  – численность рабочих, которые заняты на оборудовании определенной группы, характеризуемой одинаковым значением коэффициента механизации;  $k$  – коэффициент механизации оборудования, зависящий от отрасли машиностроения, производства и типоразмера станка: для универсальных токарных станков  $k = 0,44 \dots 0,79$ ;  $K$  – коэффициент обслуживания или число единиц оборудования, обслуживаемое одним рабочим;  $П$  – коэффициент производительности оборудования, выражаемый отношением трудоемкости  $T_0$  изготовления деталей на универсальном оборудовании с самой низкой производительностью к трудоемкости  $T$  изготовления деталей на сравниваемом оборудовании:  $П = T_0 / T$ ;  $R$  – численность рабочих данного производственного подразделения;  $Y_{\text{мт}}$  – уровень механизированного труда в общих трудозатратах.

Различают восемь категорий автоматизации и механизации технологических процессов. Основной показатель уровня автоматизации и механизации для различных категорий приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1  
 Основной показатель уровня механизации и автоматизации

Категория механизации и автоматизации		Значение основного показателя уровня
номер	наименование	
0	Нулевая	0 (отсутствие автоматизации или механизации)
1	Низкая	0,01...0,25
2	Малая	0,25...0,45
3	Средняя	0,45...0,60
4	Большая	0,60...0,75

5	Высокая	0,75...0,90
6	Повышенная	0,90...0,99
7	Полная	1,00

Для удобства использования данных о автоматизации и механизации определенного объекта применяют информационную модель, содержащую данные в такой последовательности: степень комплексности, вид, уровень. В качестве примера рассмотрим построение модели при выполнении единичной автоматизации технологического процесса на участке механического цеха с основным показателем уровня 0,32. Степень комплексности, соответствующая участку механического цеха, обозначают цифрой 3, а вид произведенной автоматизации – буквой А. Основным показателем уровня 0,32 соответствует малой категории автоматизации, обозначаемой цифрой 2. Итак, получаем модель 3А2. Модель 3КМ3 расшифровывают следующим образом: технологический процесс на производственном участке (степень комплексности 3) подвергнут комплексной механизации (КМ) средней категории (номер категории 3), т. е. основной показатель уровня находится в пределах 0,45...0,6. Следует стремиться к выбору оптимальных степени, вида и категории механизации и автоматизации технологических процессов.

Основным техникоэкономическим показателем эффективности автоматизации является величина выпуска изделий Низд в единицу времени одним рабочим:

$$N_{\text{изд}} = \frac{Q}{n_{\text{раб}}}, \quad (1.2)$$

где  $Q$  – производительность процесса (число изделий, выпускаемых в единицу времени);  $n_{\text{раб}}$  – число работающих, занятых производством изделия.

Из приведенного выражения 1.2 следует, что рост производительности труда в автоматизированном производстве по сравнению с неавтоматизированным достигается за счет сокращения численности работающих и продолжительности рабочих циклов выпуска изделий. Период времени  $t_{\text{п}}$ , в течение которого осуществляется выпуск одного изделия, называется рабочим циклом, равным суммарной продолжительности рабочих  $t_{\text{рх}}$  и холостых  $t_{\text{хх}}$  ходов:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{рх}} + t_{\text{хх}} \quad (1.3)$$

В механическом производстве продолжительность

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

рабочих ходов  $tr_x$  определяется суммарным временем резания при последовательной работе инструментов, участвующих в формообразовании обрабатываемых поверхностей резанием. Холостые ходы представляют собой вспомогательные движения, которые подготавливают выполнение рабочих ходов: установка и снятие деталей на станках, транспортировка, контроль, подналадка оборудования и другие действия. В автоматизированном производстве эти движения выполняются специальными устройствами, приспособлениями, машинами и т. п. без участия рабочих, на их выполнение затрачивается меньше времени [5].

Автоматизация производства позволяет существенно (в 5 и более раз) повысить производительность оборудования при сравнительно небольшом использовании ручного труда. Сокращение времени рабочего цикла приводит к уменьшению времени производства изделий, снижаются трудоемкость и себестоимость изготовления продукции. Кроме того, в автоматизированном производстве стабилизируется качество выпускаемой продукции, повышается ритмичность ее выпуска, уменьшается влияние на производство субъективных факторов. С повышением уровня автоматизации улучшаются условия труда (комфортность, безопасность).

Однако автоматизированное производство предъявляет более высокие требования к системам, обеспечивающим качественную замену физического труда человека машинным и идеи интеллектуального управления на основе достижений современной теории автоматического управления.

Также необходимо отметить, что автоматизация производственных процессов может осуществляться на разных уровнях.

Нулевой уровень: Металлорежущие станки с ручным управлением (механизация только рабочих ходов – вращение шпинделя, движение подачи инструментов и др.).

Первый уровень: станкиавтоматы и полуавтоматы (применение устройств, позволяющих исключить участие человека при выполнении холостых ходов на отдельно взятом оборудовании).

Второй уровень: автоматические линии, гибкие производственные системы (автоматизация технологических процессов, контроль объекта производства, удаление отходов, управление системами машин транспортировки).

Третий уровень: комплексная автоматизация, всех звеньев производственного процесса (заготовительных операций, испытаний и отправки готовых изделий, складирования и межцеховой транспортировки изделий с автоматическим адресованием, пере-

работки отходов и управления производством на базе широкого применения ЭВМ). Характеризуется высокой технической оснащенностью производства и большими капитальными затратами, поэтому эффективна при достаточно больших программах выпуска изделий стабильной конструкции и узкой номенклатуры (производство подшипников, отдельных агрегатов машин, элементов электрооборудования и др.). Участие человека сводится к обслуживанию оборудования и поддержанию его в рабочем состоянии.

Современный этап развития машиностроения характеризуется повышением экологических и научнотехнических требований к производству. Решением данных проблем является полная или же частичная автоматизация производства. Любое производство должно ставить перед собой следующие задачи:

- обеспечить выпуск продукции высокого качества;
- создание наилучших (благоприятных) условий труда для всех участников производства;
- предельное сокращение срока выпуска продукции;
- снижение себестоимости продукции (наименьшая затрата средств на изготовление единицы изделия).

Решению этих задач способствует внедрение гибких производственных систем. Главным требованием автоматизации производства является повышение его гибкости, то есть увеличение возможности переналадки на изготовления различного вида изделий без остановки производства.

Таким образом, в настоящее время можно сформулировать основные направления развития автоматизации производства:

1. Повышение технологичности конструкции машин, агрегатов и аппаратов;
2. Создание технологических процессов и оборудования с оптимальной концентрацией простейших операций;
3. Широкое применение автоматических (автоматизированных) линий и гибких производственных систем как основы автоматизации массового, серийного и мелкосерийного производств;
4. Автоматизация загрузки технологического оборудования, транспортировки и контроля объекта производства в технологических процессах, а также устранения отходов;
5. Автоматизация управления технологическими и производственными процессами.

## 1.2. Общее описание гибких производственных си-

## СТЕМ

Развитие автоматизации характеризуется созданием универсальных машин и станков с ЧПУ, непосредственно управляемых от ЭВМ в режиме разделения времени. Управление от одной ЭВМ несколькими рабочими машинами, станками с ЧПУ и вспомогательным оборудованием позволило создать системы машин: производственные модули, участки, линии. Таким образом, началось соединение в единую систему различных процессов – конструирования, технологической подготовки производства, обработки, сборки, испытаний и т. п. Созданы гибкие производственные системы.

Стоит отметить главные технические особенности ГПС: производственная гибкость – способность автоматического перехода на обработку другого изделия; структурная гибкость – способность нормально функционировать при отказе отдельных частей; встраиваемость ГПС – способность наращивать технические средства методом дополнения; малочисленность обслуживающего персонала.

ГПС – это совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов (РТК), гибких производственных модулей (ГПМ), отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного времени, обладающая свойствами автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатурой.

ГПС представляет собой систему, допускающую иерархическую организацию, с комплексно автоматизированным производственным процессом, работа всех компонент которой (технологического оборудования, транспортных и складских средств, погрузочно-разгрузочных устройств, мест комплектации, средств измерения и контроля и т. п.) координируется как единое целое системой управления, обеспечивающей быстрое изменение программ функционирования элементов при смене объектов производства [2].

Как подсистема промышленного комплекса ГПС можно рассматривать в качестве реализации автоматической системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) в производствах. С более общей точки зрения ГПС означает интеграцию на нижнем уровне, при которой сокращается число элементов основного производства, непосредственно управляемых человеком, и создаются возможности для быстрого реагирования на измене-

ния номенклатуры выпускаемых изделий. Применение ГПС в рамках интегрированной системы управления, производством, включающей систему автоматизированного проектирования (САПР) и автоматизированную систему технологической подготовки производства (АСТПП), означает переход к безлюдной промышленной технологии.

По уровню организационной структуры ГПС квалифицируют на виды:

- гибкая автоматизированная линия (ГАЛ), система в которой производственное оборудование расставлено в последовательности выполняемых технологических операций;
- ГАУ, система функционирующая по технологическому маршруту в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования оборудования;
- гибкий автоматизированный цех (ГАЦ), система представляющая собой совокупность гибких линий и РТК.

ГПС являются специализированными средствами автоматизации, необходимыми для повышения эффективности, в основном мелкосерийного производства. Они представляют собой разновидность комплексного автоматизированного производства, построенного по блочно-модульному принципу. Модульный, или агрегатный принцип построения оборудования основан на системном подходе, который предусматривает одновременный анализ и обобщение большинства известных задач по автоматизации производства. На этой основе разрабатывается комплекс технических средств, функционально дополняющих друг друга и позволяющих компоновать на них широкую номенклатуру автоматизированного оборудования, которое обеспечивает выполнение любой из частных задач. Одновременно разрабатывается комплекс организационно-технических мероприятий, создающих возможность изготовления, комплектации, эффективной эксплуатации и ремонта этих технических средств.

Оборудование автоматической линии комплектуется под определенный вид транспорта и связывается с ним устройствами загрузки – манипуляторами, лотками, подъемниками (см. рис. 1.1). Если линия включает позиции с участием человека, то она называется автоматизированной.

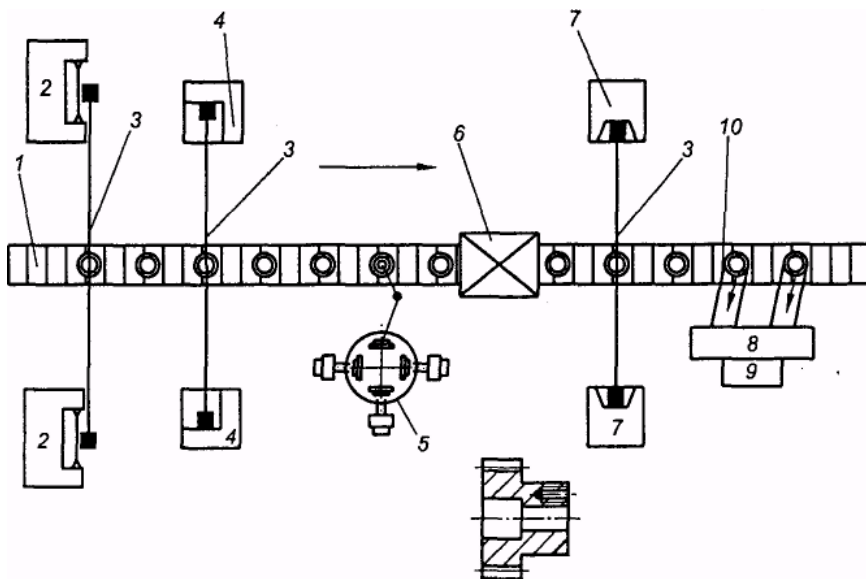


Рис. 1.1. Автоматическая линия механической обработки зубчатого колеса:

1 – пластинчатый транспортер; 2 – токарный станок; 3 – порталный манипулятор; 4 – зубообрабатывающий станок; 5 – агрегатный станок; 6 – моечная установка; 7 – шлифовальный станок; 8 – контрольная станция; 9 – емкость для бракованных деталей; 10 – лоток

В любом станке, автомате или автоматической линии имеются агрегаты или рабочие органы, выполняющие заданный технологический процесс (ТП). Для правильного хода ТП один или несколько его параметров (подача, скорость, перемещение и т. д.) должны поддерживаться постоянными или изменяться по определенному закону. Таким образом, ТП представляет собой программу взаимодействия рабочих органов для получения конечного результата. На неавтоматизированном оборудовании оператор самостоятельно составляет порядок обработки детали или сборки единицы, согласно разработанной программе. Программа работы станка – совокупность команд, которые выполняются оборудованием. Если все функции управления также передать оборудованию, то оно должно самостоятельно выполнить всю работу по программе. Для этого оборудование необходимо оснастить системой механизмов и устройств, обеспечивающих по заданной программе точное и согласованное во времени взаимодействие рабочих органов и агрегатов станков, автоматов и авто-

матических линий, то есть системой автоматического управления (САУ).

### 1.3. Классификация систем автоматического управления станками

Основным назначением САУ является выполнение заданных команд с целью поддержания требуемых значений параметров выполняемого технологического процесса при заданной точности с наибольшей производительностью. Все системы управления можно классифицировать по следующим признакам: 1 – по степени централизации; 2 – по способу воздействия на исполнительный орган; 3 – по виду программносителя; 4 – по наличию обратной связи. Классификация САУ приведена на рисунке 1.2.



Рис. 1.2. Классификация систем автоматического управления

Централизованная система характеризуется тем, что управление всем технологическим циклом станка или автоматической линии происходит с центрального командного устройства (распределительного вала, командоаппарата, копира, лентопротяжного механизма и др.). В таких системах управления продолжительность рабочего цикла для каждого исполнительного органа постоянная. Например, распределительный вал с кулачками токарного автомата за один оборот обеспечивает цикл, необходимый для получения одной детали. Каждый кулачок управляет работой одного суппорта. Чем больше рабочих органов (суппортов), тем



больше должно быть кулачков, рычагов и других кинематических связей с распределительным валом. Такие системы просты, надежны в работе, удобны в обслуживании и наладке. Их широко применяют в автоматах. Однако эти системы не могут гарантировать заданную последовательность действий исполнительного органа из-за возможной неисправности какого-либо элемента передач от распределительного вала.

Децентрализованная (путевая) система управления надежно обеспечивает последовательность действий исполнительных органов. Команды на изменение направления или характера движения подает исполнительный орган машины, упоры которого воздействуют на путевые датчики. Датчики и упоры расположены так, что каждое последующее действие исполнительного органа может осуществляться только после окончания предыдущего его действия [2].

Смешанная система – это комбинация двух выше рассмотренных систем. В данной системе управление отдельными циклами (например, силовыми головками агрегатного станка), осуществляется в децентрализованной системе, а остальными циклами (например, работой всего станка) – от центрального командного устройства.

Непрерывные системы характеризуются тем, что команды на исполнительный орган их представляют собой непрерывную функцию времени и сигнала управления. Например, распределительный вал токарного автомата вращается с постоянной частотой, и кулачок посредством рычажной системы непрерывно подает сигнал на определенное перемещение суппорта.

Дискретные системы – это системы, команды исполнительным звеньям которых сообщаются отдельными импульсами через определенные промежутки времени. Упор исполнительного органа (силовой головки) при его ускоренном движении воздействует на путевой датчик, и последний подает команду на осуществление рабочей подачи. В дальнейшем исполнительный орган (силовая головка) самостоятельно обрабатывает рабочую подачу.

Развитие техники и автоматизации от простых автоматов, работающих по жесткой программе, задаваемой кулачками, до совершенных гибких станочных модулей, гибких автоматических линий и целых участков, управляемых с помощью ЭВМ и микропроцессорных систем, естественно, сопровождалось развитием систем управления. Любая система автоматического управления оснащена элементом (устройством), называемым программносителем, который в той или иной форме содержит программу рабо-

ты оборудования или исполнительного органа. Это главный распределитель системы управления. Основные характеристики программносителя: метод фиксации программы; наибольшее число команд, которое можно записать (емкость информации); скорость считывания; плотность записи информации; долговечность; длительность работы без потерь информации; наименьшая стоимость; удобство хранения; простота построения и изготовления; быстрота замены. Каждая система оснащена программносителем и устройством, считывающим программу и передающим ее через передаточнопреобразующее устройство исполнительному механизму рабочего органа.

Разомкнутая система управления станком схематично показана на рисунке 1.3. Здесь сигнал  $X$  от программносителя 1 учитывается устройством 2, преобразовывается в передаточнопреобразующем устройстве 3 и передается исполнительному механизму 4, который перемещает на величину  $S$  рабочий орган станка 5. Точность получения этого перемещения зависит от качества работы всех промежуточных механизмов. Он автоматически не контролируется, поэтому при неточном изготовлении подобной системы управления накапливаются значительные ошибки.

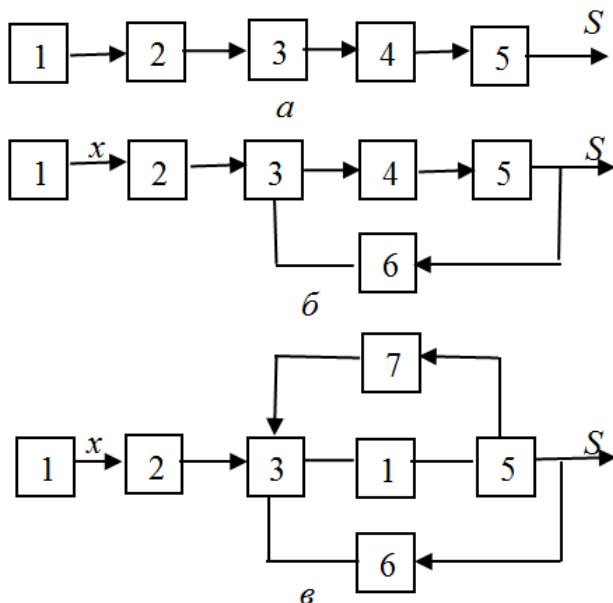


Рис. 1.3. Принципиальные схемы систем управления станков:

## Управление станками и станочными комплексами Имитационное моделирование технологических систем

а – разомкнутой; б – с обратной связью; в – адаптивной

С целью повышения точности перемещения  $S$  устанавливают устройство б обратной связи (рис. 1.3, б), которое измеряет значение величины  $S$  на выходе и сравнивает его со значением в устройстве 3, заданным программноносителем. Этим обеспечивается автоматическое поддержание заданного уровня  $S$ . Такую систему управления называют замкнутой.

Рассмотренные выше системы управления не учитывают изменение износа инструмента, твердости обрабатываемого материала или припуска и других факторов, влияющих на точность обработки.

Адаптивная система управления учитывает изменение этих факторов благодаря наличию дополнительного измерительного устройства 7 (рис. 1.3, в), которое позволяет также приспособлять систему к оптимальному режиму управления. Адаптивные системы управления обеспечивают автоматическое приспособление режимов обработки (отсюда название самоприспособляющиеся) к изменяющимся условиям резания по определенным критериям.

Под автоматическим циклом работы станка, станочного оборудования (например, магазина инструментов, промышленного робота), участка станочных модулей или ГПС понимают программируемую последовательность движений основных органов станка, а также последовательность всех действий, необходимых для функционирования оборудования при изготовлении единицы продукции. Для программирования цикла работы строят циклограммы, представляющие собой графическое изображение положения каждого из механизмов станка в любой точке цикла. Благодаря наглядности циклограммы являются необходимым документом для проектирования автоматических систем управления.

Выбор системы управления во многом зависит от специфики технологического процесса, конкретных производственных условий, в которых эксплуатируется рабочая машина, и экономических требований.

Устройство числового программного управления (УЧПУ) относится к числу наиболее развитых систем, позволяющих за счет богатых функциональных возможностей создавать гибкие станочные модули, легко встраиваемые в структуру современного автоматизированного производства [3].

Системы ЧПУ основаны на базе числовой модели движений исполнительных органов станков. Технологическая и геометрическая информации задаются совокупностью цифр и букв. Для си-

стем ЧПУ характерна дискретность задания параметров, в том числе и перемещений.

#### **1.4. Основные элементы автоматизированного производства**

Достаточно большое множество и разнообразие элементов АП делает невозможным, в рамках учебного пособия, задачу их полного освещения, поэтому ограничимся устройствами, которые необходимы для выполнения самостоятельной работы. Задание на выполнение самостоятельной работы приведено в п. 2.4.

##### **1.4.1. Многоцелевое технологическое оборудование**

Многооперационные станки (МС) представляют собой комплексные автоматические системы по обработке сложных деталей, управляемые устройствами ЧПУ. Их еще называют многоцелевыми станками, обрабатывающими центрами (ОЦ), или многоинструментальными станками, станками комплексной обработки. По сравнению с традиционными станками с ЧПУ группы многооперационных станков отличаются высоким уровнем автоматизации цикла обработки за счет устройств ЧПУ и оснащения системами автоматической смены инструментов и заготовок. На рисунке 1.4 представлена структура МС, в состав которого помимо собственно станка входят дополнительные системы и устройства, обеспечивающие автоматизацию основных и вспомогательных циклов обработки. Сплошными линиями очерчены элементы, обязательно входящие в состав МС.

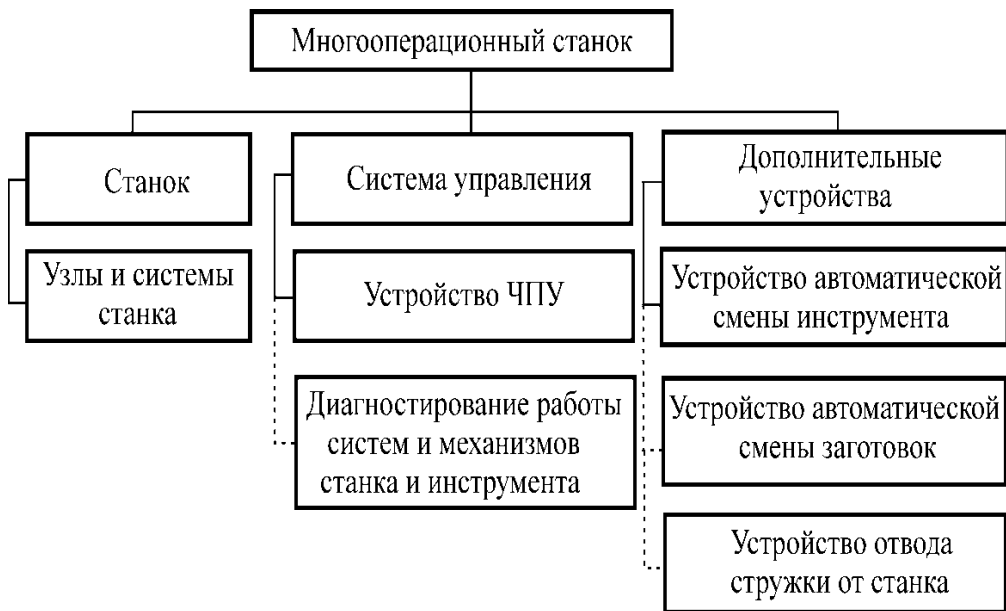


Рис. 1.4. Структура многооперационного станка

Благодаря такой конструкции станков существенно сокращается вспомогательное время при обработке и сохраняется мобильность к переналадке. Сокращение вспомогательного времени достигается за счет автоматической установки инструмента (заготовки) по координатам, выполнению всех элементов цикла, смене инструментов, кантованию и смене заготовки, изменению режимов резания, выполнению контрольных операций, а также большим скоростям вспомогательных перемещений. Наибольший эффект от применения МС достигается путем использования агрегатномодульного принципа построения технологического и вспомогательного оборудования. Это обеспечивает: увеличение гибкости при построении компонентов и систем; возможность перехода к типовому проектированию, сокращающему объем и сроки разработки конструкторской документации создания комплексов благодаря запуску в производство основных его унифицированных элементов параллельно с разработкой конструкторской документации; снижение стоимости изготовления компонентов гибких систем вследствие серийного изготовления унифицированных элементов на специализированных заводах; расширение фронта работ по автоматизации производства в машиностроении путем привлечения мощностей заводопотребителей для сборки и монтажа агрегатов и систем из унифицированных элементов; увели-

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

чение надежности работы гибких систем в связи с применением апробированных конструкций унифицированных документов [5].

По назначению и по исполнению главного движения МС можно разделить на три группы: 1 – токарносверлильные, токарносверлильнофрезерные с главным движением – вращением обрабатываемой детали при компоновке, приближающейся к компоновке станков токарной группы; 2 – фрезерносверлильнорасточные с главным движением – вращением инструмента и компоновкой, аналогичной фрезерным (консольным, бесконсольным), сверлильным, горизонтальнорасточным; 3 – станки с широким использованием различных видов обработки (включая строгание) и совершенно оригинальной компоновкой узлов. Встречаются МС, скомпонованные как агрегатные, а также из узлов, характерных для универсальных станков.

На многоцелевых станках осуществляются почти все процессы обработки. В частности, на станках второй группы ведутся всевозможные фрезерные работы: фрезерование плоскостей торцевыми фрезами, фрезерование пазов концевыми фрезами, фрезерование дисковыми фрезами, фрезерование по контуру плоских и фасонных поверхностей, фрезерование внутренних платиков, приливов и поверхностей. Возможно также последовательное фрезерование всех поверхностей, лежащих с одной стороны заготовки на разных уровнях, что исключается при одной установке детали на продольно и карусельнофрезерных станках. Кроме того, на таких станках можно осуществлять растачивание, нарезание резьбы и т. д.

Токарные многооперационные станки менее распространены, чем станки второй группы. Объясняется это рядом причин. При обработке деталей типа тел вращения наиболее трудоемким обычно является обтачивание наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, что с успехом осуществляется на токарных станках с ЧПУ, имеющих устройства смены инструмента. Такие станки не являются многооперационными, так как на них нельзя обрабатывать отверстия, расположенные параллельно или перпендикулярно к оси вращения заготовок, фрезеровать пазы, уступы и т. п. Но не все эти операции можно эффективно выполнять на многооперационном станке, предназначенном для обработки корпусных деталей, используя в качестве баз поверхности вращения, уже обработанные с высокой точностью на токарном станке.

Системы автоматической смены инструментов (АСИ) являются одним из неотъемлемых средств автоматизации цикла работы станков. В состав устройств АСИ входят инструментальные ма-

газины, являющиеся накопителем инструментальных оправок, блоков режущих инструментов или инструментальных шпинделей, и автооператоры, предназначенные для съема и установки инструментов в шпинделе (суппорте) станка или магазине. Автоматическая смена инструментальных оправок в шпинделе обычно проводится с помощью автооператоров – двуплечих рычагов, имеющих на концах захваты, которые стыкуются с Vобразной канавкой фланца оправки.

Программное управление всеми движениями рабочих органов станка и автоматическая смена инструментов при большом числе программируемых координат позволяют осуществлять в автоматическом цикле обработку самых сложных корпусных деталей с одного закрепления со всех сторон кроме поверхностей, по которым производятся базирование и закрепление заготовок. Это способствует достижению наивысшей точности взаимного расположения обработанных поверхностей.

В отличие от традиционных многошпиндельных станков-автоматов и автоматических линий, применяемых в массовом производстве, повышение производительности труда на МС достигается не за счет параллельной многоинструментной обработки нескольких поверхностей, а путем резкого сокращения потерь времени на различных холостых перемещениях и при переналадке станка.

Стабильность размеров деталей, получаемых на многооперационных станках, позволяет сократить число контрольных операций на 50...70 %. С применением ручного труда выполняются только установка и закрепление заготовки, а также снятие детали. Для снижения связанных с этим потерь времени многие конструкции многооперационных станков снабжаются двумя столами. Пока на одном столе обрабатывается очередная заготовка, со второго стола снимается готовая деталь и на ее место устанавливается следующая заготовка. В итоге производительность изготовления деталей на МС в 4...10 раз выше, чем на универсальных. При этом простота наладки и переналадки многооперационных станков, а также исключение сложной и дорогостоящей технологической оснастки (шаблонов, копиров, специальных приспособлений и т. п.) создают условия, позволяющие применять такие станки в мелкосерийном и опытном производстве, особенно в случае подготовки управляющих программ с помощью ЭВМ.

Многооперационные станки выпускаются в различных компоновках, как при вертикальном, так и при горизонтальном расположении оси шпинделя. Станки с вертикальным расположением

оси шпинделя и горизонтально расположенным крестовым столом применяются при изготовлении изделий, обработка которых может быть осуществлена с одной стороны.

#### **1.4.2. Устройства загрузки и разгрузки станков**

Автоматизация загрузки металлорежущих станков, контрольных, сборочных и специальных технологических автоматов занимает особое место в общем комплексе задач по автоматизации производственных процессов и является одной из наиболее сложных. Автоматизация загрузки позволяет сократить вспомогательное время, затрачиваемое на подачу, установку и съем изделий и повысить производительность труда.

Процесс загрузки состоит из следующих основных этапов: накопление деталей (создание необходимого задела); перемещение их от накопителя в рабочую зону станка; придание им определенного положения в пространстве по отношению к станку и зажимному приспособлению (ориентирование); подача деталей в рабочую зону станка через одинаковые промежутки времени, определяемые циклом работы станка (ориентирование по времени). При автоматизации загрузки все эти действия или часть их выполняется механизмами и устройствами. Автоматическую загрузку металлорежущих станков выполняют чаще всего с помощью приспособлений двух типов: для сортового материала (прутков, труб, полос, лент и т. п.) и для штучных деталей (поковок, штамповок, отливок, предварительно обработанных деталей и т. п.).

Все автоматические загрузочные устройства (ЗУ) для штучных деталей делят по типам в зависимости от способа: укладки детали в накопители – магазинные, штабельные, бункерные; перемещения деталей – самотечные, с принудительной подачей деталей, комбинированные; движения транспортных органов – неподвижные, подвижные; взаимного расположения деталей – вплотную, вразрядку, враскладку, в пакет, навалом. Загрузочно-разгрузочные устройства для штучных заготовок выполняют в виде механизмов: самостоятельных; связанных со станком; станочных приспособлений. Устройства состоят из основного накопителя (магазина, бункера), в котором сосредоточен запас заготовок, механизмов ориентации, промежуточного накопителя, отсекателей, питателя, заталкивателей, ворошителя, выталкивателя, разгрузателя, приемного лотка и привода.

В зависимости от типа и конструкции устройства некоторые из перечисленных механизмов могут отсутствовать. Например,



если заготовки расположены в основном накопителе ориентированно, то не нужны механизмы ориентации. Однако в состав любого автоматического загрузочно-разгрузочного устройства входят питатель и основной накопитель. Конструкция и принцип работы загрузочно-разгрузочных устройств определяются типом деталей, видом обработки и рабочим пространством станка (автоматической линии), на который устанавливают это устройство. ЗУ эффективны, если они повышают коэффициент использования и производительность станков (автоматических линий), на которых они установлены, а также облегчают условия труда; не повреждают поверхность подаваемых или удаляемых со станка обработанных деталей; имеют простую конструкцию и минимальное число элементов; удобны в эксплуатации и дешевы в изготовлении; позволяют легко заменять быстроизнашивающиеся детали.

Различают универсальные, универсальноналадочные и специальные загрузочные устройства. Первые два вида устройств с помощью переналадки или подналадки, а также замены некоторых механизмов могут быть использованы для загрузки деталей, различающихся размером, а иногда и формой. Устройства третьего вида применяют для загрузки только конкретных деталей. Все эти устройства лишь загружают детали на станок, а снимают их толкатели или же детали поступают в приемный лоток под действием собственного веса (силы тяжести).

В зависимости от способа перемещения деталей различают магазины двух групп: с движением деталей под действием собственной силы тяжести (самотечные) и с принудительным транспортированием их. Магазины, используемые для межстаночной транспортировки деталей, называют скатами или склизами. Применяют также магазины, совершающие при загрузке колебательные движения.

Устройства, предназначенные для ориентирования деталей в пространстве, можно разделить на две основные группы: ориентаторы, принудительно задающие детали требуемое положение, и селекторы, сбрасывающие неправильно ориентированные детали в бункер. Конструктивное оформление ориентаторов и селекторов может быть различным.

### **1.4.3. Манипуляторы и промышленные роботы**

Манипуляторы применяют в действующих производствах на тех операциях, где автоматизация с помощью промышленных роботов по каким-либо причинам затруднена, а использование стандартных грузоподъемных машин неэффективно. Манипуляторы

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

характеризуются как устройства с ручным управлением, то есть с управлением, осуществляемым оператором с помощью кнопок или мнемонических рукояток. По виду приводов все манипуляторы делят на электромеханические, гидравлические и пневматические. В машиностроении широко применяют сбалансированные манипуляторы, оснащенные системой уравнивания рабочего органа. Сбалансированные манипуляторы классифицируют по кинематическим, геометрическим, конструктивным и энергетическим параметрам, методам управления, уравниванию манипулятора и поднимаемого груза.

По конструктивному исполнению манипуляторы могут быть укрупнено, распределены на группы: напольные и подвесные (портальные); стационарные и передвижные; с уравниванием их механизмов противовесами или пружинами. Стационарные сбалансированные манипуляторы крепят к колоннам, кронштейнам, поворотным укосинам и потолочным перекрытиям. Передвижные сбалансированные манипуляторы устанавливают на электрокары, напольные рельсовые тележки, подвесные приводные рельсовые тележки, кранбалки, мостовые краны и т. д.

По способу управления различают следующие сбалансированные манипуляторы: с позиционным управлением всеми координатными перемещениями и с управлением посредством рукоятки или кнопок. В последнем случае захват манипулятора перемещают по горизонтали вручную. По способу уравнивания поднимаемого груза устройства делят на автоматические и с фиксацией груза специальными тормозными устройствами.

Все манипуляторы, в зависимости от конфигурации транспортируемой детали, снабжены специальными захватными устройствами, позволяющими свободно брать и устанавливать детали в станке и на конвейер.

По диапазону грузоподъемности, капитальным затратам на внедрение, размерам зоны обслуживания и сложности решаемых оператором задач сбалансированные манипуляторы превосходят промышленные роботы, но не высвобождают человека, а лишь переводят его в категорию рабочих, занятых легким ручным трудом.

Автооператоры – это автоматические машины, состоящие из исполнительного устройства в виде манипулятора, устройства передвижения и неперепрограммируемого устройства управления. К автооператорам относятся питатели, обеспечивающие захват, перемещение, установку и съем деталей на технологических позициях. Они обладают совершенной кинематикой и могут дви-

гаться по сложным траекториям. Управление автооператорами осуществляется от кулачковых механизмов или нерегулируемых приводов возвратнопоступательного движения (например, гидро или пневмоцилиндров), а также от приводов, обеспечивающих вращательное движение. Захваты операторов приводятся в действие, как правило, отдельными приводами. Автооператоры классифицируют по виду движения и числу ходов рабочего (захватного) органа, виду движения и принципу действия привода, точности позиционирования деталей на технологических позициях, типу и числу перемещаемых деталей.

По виду движения рабочего органа различают автооператоры возвратнопоступательного, качательного или сложного движения; по числу ходов – одно, двух и более ходовые; по принципу действия привода – электромеханические, пневматические, гидравлические, электромагнитные. В зависимости от числа захватов бывают одно и многозахватные автооператоры. Захваты могут быть смонтированы на одной или нескольких руках.

Автооператоры поразному komponуют с технологическим оборудованием, располагая их сбоку или сверху. В конструкцию автооператора в некоторых случаях вводят такие дополнительные органы, как отсекатели и отводящие устройства. Цикл работы автооператора согласуется с работой технологического оборудования.

Промышленные роботы – это стационарные или передвижные автоматические машины, которые состоят из исполнительных устройств в виде манипуляторов, имеющих несколько степеней подвижности, и перепрограммируемых устройств программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

Основные части промышленного робота: исполнительная – в виде манипулятора (М), руки или манипуляторов и устройства передвижения; управляющая – в виде устройства управления. Манипулятор промышленного робота представляет собой обычно многосвязный механизм с необходимым числом степеней свободы и поступательно или вращательнодвигущимися звеньями. Механизм оснащен заменяемым рабочим органом, выполненным в виде схвата (захвата) или какого-либо технологического инструмента (гайковерта, сварочной головки, пульверизатора и т. п.). Каждая степень подвижности М имеет привод (пневматический, гидравлический, электрический, электромеханический и др.).

По назначению и характеру технологических операций, выполняемых в машиностроении, промышленные роботы можно

разделить на три группы: 1 – производственные (технологические) роботы, выполняющие основные операции технологического процесса; 2 – подъемнотранспортные (вспомогательные) роботы, выполняющие действия типа взять, перенести, положить; 3 – универсальные роботы, выполняющие разные основные и вспомогательные технологические операции, сочетающие в себе признаки производственных и подъемнотранспортных роботов.

К основным техническим характеристикам, которыми задаются при выборе промышленного робота относятся: номинальная грузоподъемность манипулятора, которая должна соответствовать массе предметов производства или технологической оснастки с учетом массы захватного устройства, а также гарантировать их удержание и обеспечение установочных значений эксплуатационных характеристик; рабочее пространство манипулятора – это пространство, в котором может находиться исполнительное устройство (устройство робота, выполняющее его двигательные функции) при функционировании робота; рабочая зона – пространство, в котором может находиться рабочий орган при функционировании робота; зона обслуживания – пространство, в котором рабочий орган выполняет свои функции в соответствии с назначением робота и установленными значениями их характеристик; число степеней подвижности робота; скорость перемещения по степени подвижности; погрешность позиционирования рабочего органа робота – это отклонение положения рабочего органа от заданного управляющей программой; погрешность отработки траектории, то есть отклонение траектории рабочего органа от заданной управляющей программой; система координат (прямоугольная, цилиндрическая, сферическая или комбинированная) рабочего пространства робота; тип управления, методы программирования и объем памяти систем управления.

По характеру отработки программ различают:

- жесткопрограммируемые роботы, в которых программа действий содержит полный набор информации и не изменяется в процессе работы. В таких роботах нельзя скорректировать программу при изменении внешней среды;
- адаптивные роботы, действия которых основаны на информации об объектах и внешней среде, получаемой в процессе работы;
- гибкопрограммируемые (интегральные) роботы, формирующие программу своих действий на основе поставленной цели и информации об объектах и внешней среде.

Автоматическая перенастройка робота при замене предме-

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

тов проводится по управляющим командам. При этом особые требования предъявляются к захватным устройствам. Заготовки берутся захватами за наружные, внутренние или боковые поверхности. Следовательно, конструкции захватов должны обеспечивать работу робота в широком диапазоне размеров обрабатываемых деталей. Для сокращения времени на снятие готовой детали и установку новой заготовки широко применяют двойные захваты, расположенные один над другим и поворачивающиеся вокруг оси манипулятора на угол  $180^\circ$  и более. Кроме этого, должна быть предусмотрена автоматическая замена захватов при изменении группы обрабатываемых изделий.

Системы управления и вспомогательные устройства должны обеспечивать возможность программирования и выполнения соответствующих операций. Совместимость робота с технологическим оборудованием, в составе которого он будет использован, необходима по всем параметрам (механической части, типу привода, системе управления). Должны быть предусмотрены каналы связи робота с оборудованием, аппаратурой верхнего уровня управления технологическим оборудованием и с ГПС.

Захватные устройства обычно крепят на конце руки манипулятора. Они должны обеспечивать возможность быстрой переналадки робота для выполнения различных технологических операций, надежный захват и удержание деталей, различных по форме, размерам и массе (в пределах, предусмотренных параметрами робота). Эти параметры деталей влияют на конструкцию, размеры и форму захватов. Различают механические, вакуумные и магнитные (с постоянными магнитами или электромагнитами) захваты, а также захваты с эластичными камерами (камерами постоянной формы или с управляемыми пальцами).

Механические захваты классифицируют по типу привода – пружинные с пневмо, гидро или электроприводом; по типу передаточного механизма – рычажные, реечные, клиновые; по типу губок – с жесткими, регулируемыми и с гибкими (самоустанавливающимися) губками, а также с управляемыми пальцами.

В зависимости от способа удержания деталей различают открытые и закрытые захваты. В первых детали лежат на призмах свободно и удерживаются под действием собственного веса, а во вторых они зажимаются и освобождаются с помощью приводов. Применяют также управляемые и неуправляемые захваты.

Датчики устанавливают на захватывающее устройство с целью получения информации в виде сигнала о состояниях робота и окружающей среды. Эта информация необходима для предохра-

нения от поломок и перегрузок захватывающих устройств и непосредственно роботов, а также для адаптации робота к условиям выполнения операций.

#### **1.4.4. Устройства автоматизации транспортных и складских операций**

Для механизации транспортных и складских операций широко применяют сбалансированные манипуляторы и электро-тельферы различных грузоподъемности и радиуса действия. Целесообразно использовать универсальные машины и механизмы, и в первую очередь электропогрузчики.

Комплексная автоматизация предусматривает высвобождение человека от участия в изготовлении изделия на всех этапах производства и на транспортноскладских операциях. Технические средства механизации применяют в основном на входе и выходе с комплексноавтоматизированного участка или цеха. Внутри комплекса все работы по транспортированию и хранению грузов выполняет автоматизированная транспортноскладская система (АТСС).

АТСС представляет собой систему взаимосвязанных и автоматизированных транспортных и складских устройств, для укладки, хранения, временного накопления, разгрузки и доставки предметов труда и технологической оснастки. Производственные процессы в машиностроении носят, стохастический характер в связи с тем, что в условиях многономенклатурного мелко или среднесерийного выпуска продукции невозможно обеспечить одинаковое или кратное время обработки деталей на разных станках. Различны также время простоев станков при их переналадке и другие факторы. Поэтому АТСС наравне с основным назначением служит также для сглаживания дискретности процессов механической обработки в гибких производственных системах [1].

К основным функциям АТСС в общем случае относятся: прием, размещение и учет на складе (или в других накопителях) материалов, заготовок, полуфабрикатов, готовых деталей, технологической оснастки (приспособлений, режущего и вспомогательного инструмента и т. п.), поступающих от внешних поставщиков, и их временное хранение; перемещение заготовок, полуфабрикатов, приспособлений-спутников, тар, кассет со склада к участку установки заготовок, полуфабрикатов на приспособления-спутники или в кассеты и обратно; транспортирование приспособле-

ний спутников (кассет) с установленными заготовками (полуфабрикатами) на склад или на приемные позиции технологического оборудования; межоперационное транспортирование приспособлений спутников или кассет (тар) с обрабатываемыми деталями (полуфабрикатами) и возврат их на склад; транспортирование инструментов со склада АТСС к металлорежущему оборудованию (для замены) и возврат их на склад.

Все функции АТСС реализуются с помощью технических средств, к главным параметрам которых относятся грузоподъемность и габариты. Для организации работы АТСС в условиях ГПС широко применяют напольные безрельсовые автоматические тележки (электророботы, роботизированные тележки). Это обусловлено простотой создания новых транспортных путей и оснащением тележек устройствами автоматизации погрузочно-разгрузочных операций. На тележке иногда устанавливают роботы, которые, кроме погрузочно-разгрузочных работ, выполняют функции станочного загрузочного робота.

Оптоэлектронная система маршрутослежения тележки состоит из световых маяков, расположенных в строгой последовательности на потолке производственного помещения, и датчиков приборов, размещенных на роботе. Тележка ориентируется во время движения на световые маяки, а при точном позиционировании – на специальные метки, нанесенные на оборудовании. Спутники с изделиями, устанавливаемые на приемный стол тележки, робот может сдвигать на стол станции выгрузки. Оригинальная конструкция шасси позволяет тележке двигаться не только вперед по трассе, но и смещаться вбок, разворачиваться на месте, двигаться под любым, углом к оси платформы.

Иногда при создании оптоэлектронных систем маршрутослежения предусматривают наличие на дорожном покрытии специальных световых полос (флуоресцентных, светоотражающих металлизированных или металлических, белых с черной окантовкой). В этом случае тележки оснащают специальными датчиками.

Помимо оптоэлектронных систем, на практике применяют электромеханические и индуктивные системы слежения. Для электромеханических систем предусмотрено использование в дорожном покрытии направляющей шины или паза, по которому перемещается ролик, закрепленный на откидном кронштейне и связанный с управлением передних колес.

При наличии индуктивных (электромагнитных) систем слежения тележка движется вдоль металлической полосы, проложенной вдоль трассы на поверхности дорожного покрытия. Под



Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

передней частью тележки располагают датчики слежения, а под полом – провода наведения. Когда через эти провода проходит низкочастотный ток, между двумя катушками датчиков возникает генерированное переменное электромагнитное поле. Изменяя разность индуктируемых в этих катушках напряжений, автоматически управляют тележкой.

Важное организующее значение в АТСС имеют склады. Автоматический склад (АС) может состоять из различных сочетаний следующих технологических участков: хранения грузов; приема и выдачи их на внутривозвратной и отдельно на внутрисистемный транспорты; укладки деталей или изделий в транспортноскладскую тару.

В зависимости от конструктивных особенностей и технической оснащённости можно выделить автоматические склады следующих типов: с клеточными стеллажами и автоматическим мостовым краномштабелером; с гравитационными стеллажами и автоматическими стеллажами кранамиштабелерами (карьерными операторами); с автоматическими элеваторными стеллажами; с автоматической подвеской в сочетании с подвесным толкающим конвейером, имеющим автоматическое адресование грузов.

В автоматическом производстве чаще всего применяют склады с автоматическими стеллажными кранамиштабелерами, поскольку они занимают малую площадь, обладают высокой производительностью и более легко поддаются автоматизации. Однако грузоподъемность одной их секции невелика, особенно при небольшой высоте помещения. Для достижения достаточной вместимости склада требуется соорудить длинные стеллажи, что не всегда приемлемо из-за планировки цеха и, кроме того, приводит к снижению производительности кранштабелера вследствие больших расстояний перемещения.

При одиночном и мелкосерийном производствах целесообразно применять стеллажные склады с автоматическими мостовыми кранамиштабелерами. Автоматизированные склады с гравитационными стеллажами используют в тех случаях, когда при незначительной номенклатуре грузов требуются сравнительно большие запасы материалов, полуфабрикатов и др. Склады с автоматизированными и механизированными элеваторными стеллажами рекомендуют применять при малых грузопотоках и размерах деталей (изделий), небольших сроках и запасах хранения грузов [1].

Геометрические характеристики используемых на складах крановштабелеров должны обеспечить наиболее полное исполь-



зование объемов зоны хранения. Скорости передвижения их по горизонтали и вертикали должны быть достаточно большими для достижения высокой производительности штабелеров.

В автоматических складах заготовки (детали, изделия) перегружаются и складываются в транспортноскладской таре (ящичных, стоечных или плоских поддонах) или в специальной технологической таре (кассетах или спутниках). Наиболее часто на складах применяют ящичные металлические и пластмассовые поддоны. Конструктивные формы стеллажей весьма разнообразны.

Вспомогательные перегрузочные устройства предназначены для приема грузов с внутризаводского транспорта на склады АТСС, выдачи груженых поддонов со склада на транспортную систему или в обратном направлении. К ним относятся консольные столы и накопители, встроенные в конструкции стеллажей; поворотные и многопозиционные столы и тележки; роликовые и цепные конвейеры; опускные и подъемные секции, толкатели и др. Перегрузочные устройства автоматических складов могут быть оснащены аппаратурой для автоматического контроля массы и габаритов грузов а также приспособлениями для укладки деталей в тару ориентирования деталей, подсчета числа деталей, изделий и целых поддонов.

АТСС широко применяют в современном комплексномеханизированном и автоматизированном производстве.

#### **1.4.5. Устройства контроля и регулирования**

Автоматизация технических измерений – это не только средство повышения качества продукции, но и важный этап комплексной автоматизации производства, так как удельный вес технических измерений (контроля) в современных производствах весьма значителен.

При автоматизации производственных процессов и внедрении в производственные процессы САУ с использованием средств вычислительной техники реализуют информацию, которую получают в результате точных измерений различных параметров процесса или характеристик изделий [2].

Технические средства измерения состоят из трех основных элементов: приемника информации, передающего устройства и отсчетного устройства. Главная метрологическая характеристика приемника информации – измерительное усилие (для контактных средств измерения), передающего устройства – передаточное от-

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

ношение или чувствительность и вид (механическое, оптическое, электрическое, пневматическое, гидравлическое или различные их сочетания), отсчетного устройства – вид и точность отсчета, деление шкалы, его цена, интервал и т. д.

Выбор средств измерения и его точностных характеристик зависит от вида контроля. Следует различать пассивный контроль, когда изделия по результатам контроля делят на годные и бракованные или сортируют на группы, и активный контроль, когда по результатам измерения автоматически выполняется подналадка процесса изготовления деталей. Такие устройства могут работать как защитные и как блокирующие, прекращая работу оборудования (станка, системы) при какихлибо нарушениях процесса (например, при поломке инструмента).

В современных измерениях все большее значение приобретает использование средств автоматики, электроники и вычислительной техники. Автоматический контроль размеров можно выполнять до, после и во время обработки. Разработаны принципы автоматического контроля размеров, геометрической формы, упругих свойств и термообработки, созданы разнообразные конструкции автоматических устройств контроля изделий и процессов.

Все автоматические контрольные устройства (автоматы) состоят (полностью или частично) из следующих основных элементов: измерительных, загрузочных, транспортирующих, сортирующих или исполнительных. В автоматах и автоматических линиях эти устройства обеспечивают сплошной контроль изготовления деталей в процессе их обработки и сортировку по размерным группам, управляют технологическим процессом. Применение их в автоматизированном производстве позволяет исключить субъективные ошибки измерений, возникающие при ручном контроле, обеспечить совместную работу с ЭВМ и управляющими вычислительными машинами, повысить производительность труда.

Сложные детали в условиях мелкосерийного, серийного и гибкого автоматизированного производств контролируют с помощью координатноизмерительных машин (КИМ) и измерительных роботов. Для контроля деталей типа полых цилиндров, полусфер, конусов, деталей с криволинейными поверхностями, а также, расстояний между отверстиями, выступами и уступами применяют КИМ с фотоэлектрическими устройствами или датчиками касания для измерения по каждой координате и с автоматическим перемещением измерительных головок по заданной программе. Результаты перемещения головок отражаются на световом табло, а

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

также могут подаваться непосредственно в ЭВМ для обработки или управления ТП.

К этим машинам предъявляют, как правило, следующие требования: простота обслуживания, оптимальная доступность, высокая точность измерения и воспроизведения, кратность измерительного цикла, автоматизация и управление процессом измерения с помощью вычислительного устройства. Обычно для контроля готовой продукции создают контрольноизмерительные модули на базе универсальных измерительных машин.

Применение оптикоэлектронных (в частности, сканисторных) и лазерных измерительных систем расширяет возможности автоматизации контрольных операций и является одним из основных и перспективных направлений в развитии современной прикладной метрологии, в том числе в области автоматического контроля.

К наиболее прогрессивным относятся методы активного контроля, преобразующие технологическое оборудование в систему автоматического регулирования, которая освобождает человека от контрольных функций и автоматически обеспечивает при обработке необходимую точность размеров деталей [1].

Для управления технологическим оборудованием в составе ГАУ необходим комплекс источников информации (датчиков) о реальном состоянии каждого исполнительного элемента, а также общее управляющее устройство, которое принимает решение о запуске того или иного состояния каждого исполнительного элемента. Сама структура логической задачи программного управления определяет и структуру управляющей системы. Анализ логических задач показывает, что для их решения в принципе может быть применен любой традиционный микропроцессорный вычислитель с развитой системой логических команд с учетом особенностей объекта. На рисунке 1.5 приведена структура управляющей системы с программируемым контроллером (ПК).

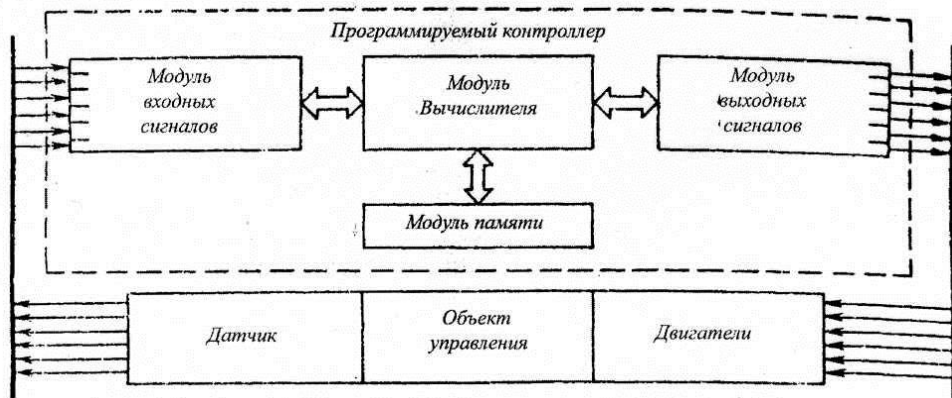


Рис. 1.5. Структура управляющей системы с программируемым контроллером

Поведение объекта управления (движение или любое другое изменение состояний) отображается некоторым множеством осведомительных сигналов датчиков, это отображение вводится в ПК через модуль входных сигналов; программа цикловой электроавтоматики (логической задачи), обрабатывая информацию о состоянии объекта (путем решения логических уравнений), формируют соответствующее множество выходных сигналов; выходные сигналы через модуль выходных сигналов направляются к двигателям исполнительных органов объекта, которые приводят объект в новое состояние, и т. д.

## 1.5. Типовые схемы компоновки производственных участков

Опыт разработки производственных систем и техникоэкономический анализ результатов работы позволяют выдвинуть некоторые общие требования к номенклатуре деталей ГАУ и технологии обработки. Наиболее важным критерием подбора деталей является обеспечение конструктивнотехнологического подбора, обеспечивающего унификацию обрабатываемых поверхностей деталей, оборудования, инструментов, приспособлений и циклов управляющих программ (УП).

Предпочтительна обработка трудоёмких деталей сложной конструкции с криволинейными и наклонными поверхностями, с большим числом переходов. Трудоёмкость обработки должна соотноситься с количеством деталей в партии запуска и количеством партий в году, а также со сложностью наладки оборудова-

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

ния. Это позволяет сопоставить время обработки с временем её подготовки. Заготовки деталей должны обеспечивать минимальные и стабильные (в пределах 12 мм) припуски на обработку. Обработка поверхностей с допуском менее 0,05 мм требует применения станков повышенной мощности. Целесообразно отбирать детали с замкнутым циклом обработки в ГАУ.

Основные требования к техническим процессам обработки в ГАУ можно свести к следующим:

- обеспечение выполнения большей части формообразующих операций на многоцелевых станках с ЧПУ (не менее 50% общей трудоёмкости);
- применение возможно меньшего типа моделей станков (преимущественно с одноптичными системами управления);
- максимальная унификация оборудования, инструмента, приспособлений и циклов обработки;
- оптимальная концентрация переходов, выполняемых за одну установку детали (без перебазирования);
- выбор баз и точек закрепления заготовок, обеспечивающих автоматизацию;
- установки и снятия деталей;
- исключение операций, требующих ручной настройки режущих инструментов в ходе обработки;
- предпочтительность изменения положения детали перед сменой инструмента при одном положении детали, то есть выполнение подряд всех переходов одного инструмента с изменением положения детали, это вызвано меньшим временем поворота станка, чем время смены инструмента и большей точностью позиционирования стола, чем инструмента в шпинделе;
- выбор режимов резания, обеспечивающих оптимальное соотношение между производительностью обработки и стойкостью инструмента, при этом необходимо учитывать наработку отдельных инструментов, комплектов и целесообразность одновременной смены всего комплекта инструментов для сокращения числа подналадок станка;
- использование новых методов обработки, обеспечивающих высокое качество обработки и стойкость инструментов;
- исключение ручных и малопроизводительных дополнительных операций.

Рассмотрим примеры структуры ГАУ различных уровней и их компоновки. На рисунке 1.6 приведён вариант компоновки ГАУ на базе унифицированных модулей для обработки сложных деталей.

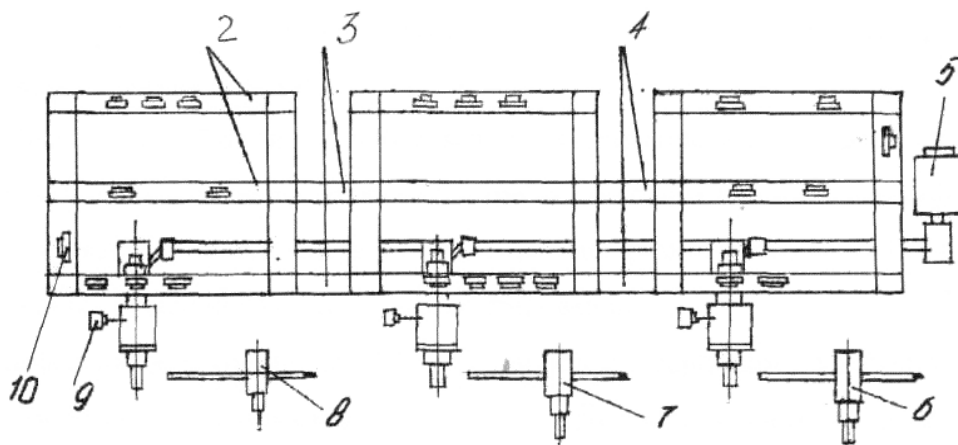


Рис. 1.6. Пример компоновки ГАЛ на базе унифицированных модулей

На ГАЛ предусмотрено: три комплекта унифицированных узлов (модулей); 2 – транспортные системы УУ; 3,4 – перемычки, соединяющие транспортные системы УУ; 5 – устройство централизованной подготовки и подачи СОЖ; 6,7,8 – обрабатывающие центры; 9 – измерительное устройство; 10 – многошпindleная коробка.

Структура ГАЛ приведена на рисунке 1.7.

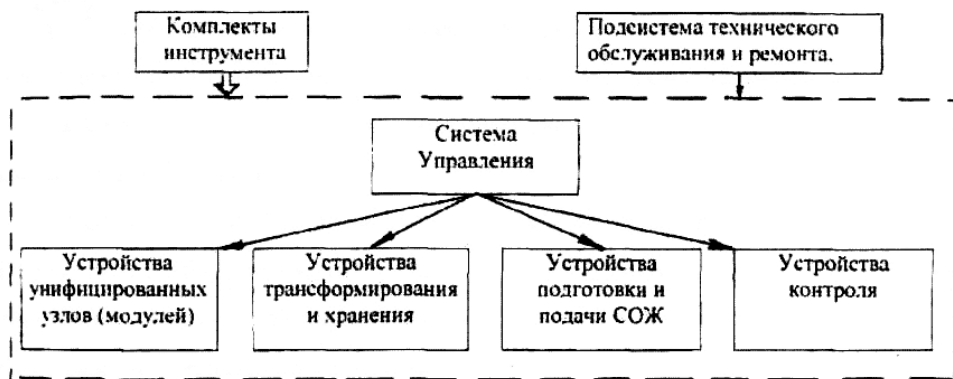


Рис. 1.7. Структура ГАЛ

Набор оборудования позволяет менять процессы обработки в соответствии с требованиями производства. Например, на каж-

дом унифицированном базовом комплекте модуля можно обрабатывать различные детали, используя разные сочетания шпиндельных головок, подаваемых по командам системы управления в рабочую зону автоматизированной транспортноскладской системой, или же на всех модулях можно обрабатывать детали одного наименования, обеспечивая оптимальный выпуск этих деталей. Структура ГАУ и вариант компоновок приведены на рисунке 1.8.

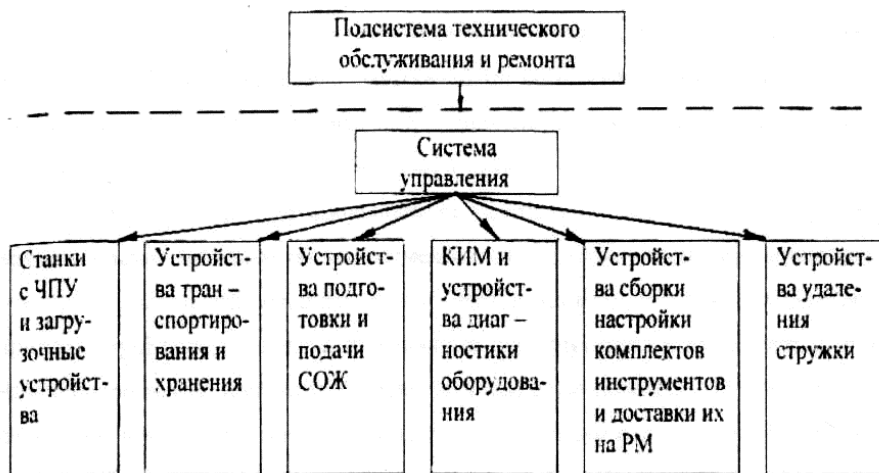


Рис. 1.8 Структура ГАУ обработки деталей

Обеспечение гибкости производственной системы при максимальной комплексной автоматизации производственного процесса требует больших капиталовложений, в связи с чем, увеличивается степень риска в оценке целесообразности создания ГАП в принятии.

Минимальное участие человека в производственном процессе, большое число составляющих компонентов и комплексность их взаимодействия делают ГАУ сложными для проектирования объектами и выдвигают повышенные требования к качеству проектных решений. В основном эти требования сводятся к следующему:

1. ГАУ должны быть составной частью целостной производственной системы и органически взаимосвязаны с остальными её элементами.
2. Глубина проработки и гарантированная точность проектных расчётов должна соответствовать требованиям; предъявляемым к проектированию сложных конструкторских изделий.
3. Для обеспечения качества проектных решений ГАУ и

ИПК должно осуществляться с учётом пространственновременных факторов производственного процесса.

В ГАУ входят станки с ЧПУ, устройство транспортноскладской системы, средства контроля и измерения. В фундаментах расположены устройства удаления отходов производства. На участке имеется инструментальное отделение, осуществляющее регламентированное обслуживание мест настроенными комплектами инструмента. Обработка корпусных деталей ведётся на приспособленияхспутниках. На рабочих местах ведётся сборкаразборка детали и приспособленияспутника.

На рисунке 1.9 приведена компоновка участка из четырёх CW800, имеющих в инструментальном магазине 60 инструментов. В качестве накопителя применён автоматизированный склад. Организация работы данного модуля предусматривает обработку деталей на приспособленияхспутниках в виде куба, с помощью сменных элементов на них можно закреплять широкую номенклатуру обрабатываемых деталей.

Конструкция приспособленийспутников и зажимных приспособлений позволяет устанавливать приспособленияспутники в трёх взаимно перпендикулярных положениях на любой рабочей позиции. Это обеспечивает обработку корпусных деталей с пяти сторон.

В качестве технического средства для транспортирования и установки приспособленияспутника с деталью на рабочие позиции в различных положениях используют промышленный робот мостового типа. Это в значительной степени определило компоновку ГАУ. Использование приспособленияспутника в виде куба позволяет транспортировать всю номенклатуру обрабатываемых деталей без замены схвата робота.



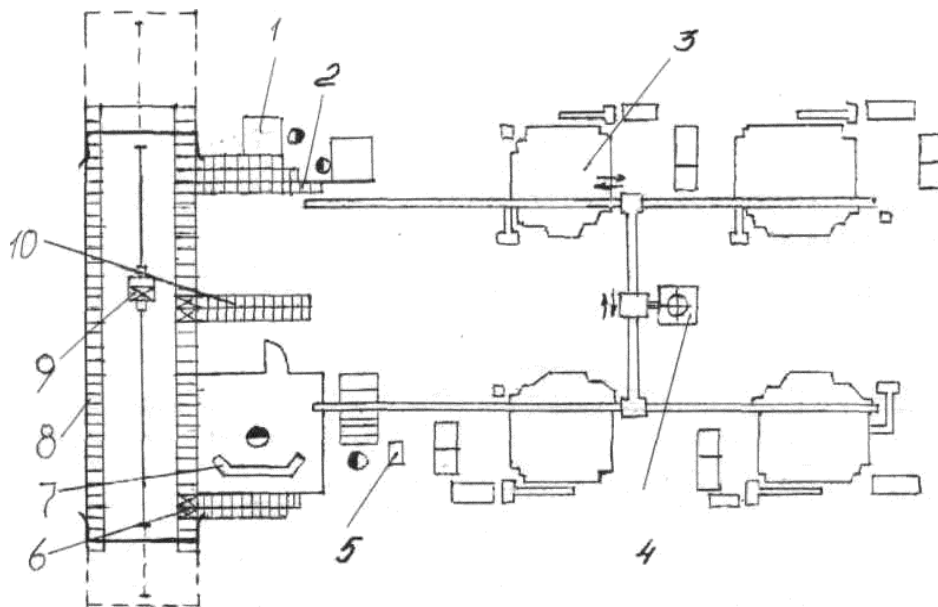


Рис. 1.9. Компоновка участка на базе станков CW 800:

1 слесарное рабочее место сборки/разборки деталей и приспособлений/спутников; 2 приемно-передающая позиция РМ; 3 станок CW 800; 4 промышленный робот мостового типа; 5 позиция ОТК; 6 приёмно-выдающая позиция склада; 7 пульт оператора (диспетчера); 8 стеллаж; 9 – кранштабеллер; 10 приёмно-передающая позиция.

Приспособления/спутники, заготовки, так же приспособления/спутники в сборе с деталями хранятся в таре на складе. По команде системы управления тара с деталью, закреплённой на приспособлении/спутнике, транспортируется кранштабеллером на приемно-передающую позицию, а по ней в рабочую зону промышленного робота. Робот захватывает приспособление/спутник с деталью, вынимает его из тары, переносит его к заданному станку и устанавливает в требуемом положении в зажимное устройство. Сборка/разборка деталей и приспособлений/спутников производится на двух слесарных позициях, на которых детали и приспособления/спутники подаются в тару кранштабеллером на приёмно-передающую позицию рабочих мест. Контроль обработки производится ОТК, обслуживаемым промышленным роботом.

Очевидно, в данном случае трудно организовать автоматическую загрузку/разгрузку станков с помощью транспортной те-

лежки без применения какихлибо дополнительных устройств (перегрузателей, кантователей и т.п.), а установка у каждого станка напольного робота для перегрузки деталей с тележки на станок ведёт к дополнительным затратам площадей, загромождает проходы, снижает надёжность комплекса и увеличивает его стоимость.

Столыспутники станков модели ИР500ПМФ4, хранящихся на складе, попадают по команде УВК кранштабелером через приёмно-выдающую позицию на слесарное рабочее место сборкиразборки. Сюда же подаются хранящиеся на складе и таре детали, подлежащие обработке. После закрепления детали на столспутнике (палете), она совместно со спутником транспортируется кранштабелером в ячейку склада. При готовности к работе станка ИР500МФ4 по команде УВК кранштабелер транспортирует из ячейки склада к станку столспутник с деталями и устанавливает его на базирующее перегрузочное устройство, где столспутник ориентируется с заданной точностью. Затем манипулятор поворотного устройства станка перемещает столспутник на поворотное устройство, после разворота, которого на  $180^\circ$  он с деталью отправляется в зону обработки станка. При этом ранее обработанная деталь на втором столспутнике станка оказывается против базирующего перегрузочного стола. Манипулятор поворотного устройства перемещает столспутник (палету) с обработанной деталью на перегрузочный стол, а кранштабелер транспортирует его в ячейку склада или на рабочее место разборки, а затем доставляет налету с новой деталью.

Детали, прошедшие обработку, мойку и принятые ОТК учитываются УВК. При использовании приведённого компоновочного решения необходимо с особой тщательностью проверять разгрузку транспортного средства при всех возможных ситуациях на линии, а так же планировать мероприятия, обеспечивающие его высокую надёжность.

На рис 1.10 показан ГАУ на уровне участка из двух линий, имеющих единую АТСС. Трасса двух подвесных транспортных роботов замкнута. Вне рабочей зоны трассы установлен резервный транспортный робот. ОТК обслуживает обе линии. Мойка, очистка и сушка деталей осуществляется двумя моечносушильными агрегатами, которые в комплексе со шнековыми транспортерами и другими устройствами уборки стружки составляют технические средства подсистемы удаления отходов производства.

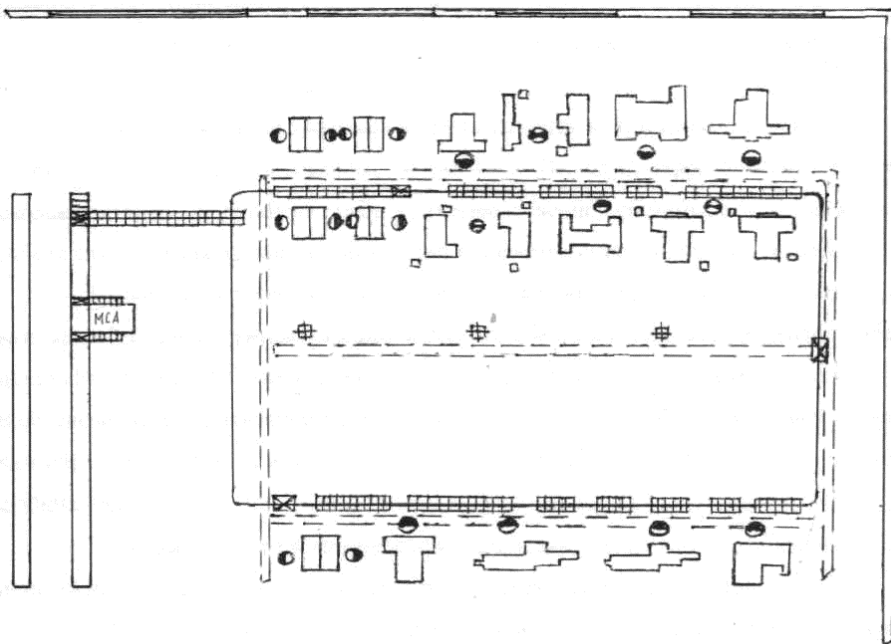


Рис. 1.10. Пример компоновки ГАУ:

I помещение УВК; II помещение ОТК; 1подвесной транспортный робот; 2трасса робота; 3резервный транспортный робот; 4приемные трехпозиционные столы рабочих мест; 5каналы стружкоуборочных конвейеров, 6приемновыдающее устройство; 7пульт диспетчера участка 8склад стеллаж; 9приемнопередающее устройство; 10кранштабелер; 11мощносушильный агрегат.

Управление работой АТСС, учёт и диспетчирование на линиях и участке осуществляются УВК, в помещениях которого установлен пульт диспетчера участка. Инструмент для участка комплектуется, собирается и настраивается вне участка в ИРК цеха и согласно графику подготовки инструмента по командам ЭВМ верхнего уровня доставляется на участок напольным транспортом. Затем он перегружался в тару участка и отправляется на склад АТСС через приёмновыдающее устройство. Аналогично поступают и заготовки с цехового пункта комплектования заготовок. При загрузке склада в УВК формируется модель склада в АТСС. Складируемые грузы (заготовки, полуфабрикаты, готовые детали, документация, комплекты инструмента и оснастки) хранятся на складе в единой таре.

По команде диспетчера с пункта тара с заготовками до-

ставляется кран штабеллером со склада на приёмнопередающее устройство, где захватываются транспортным роботом и поставляются к заданному рабочему месту. У рабочего места транспортный робот устанавливает тару на одну секцию трёхпозиционного приёмного стола. Две другие секции предназначены для установки пустой тары под готовые детали и тары с комплектом инструмента. Отправка готовых деталей (комплекта отработавшего инструмента) от рабочих мест осуществляется по команде диспетчера участка в обратном порядке. При выходе из строя одного транспортного робота (или на время его технического обслуживания) он отправляется в нерабочую зону трассы, а на его место перемещается резервный транспортный робот.

Применение подвесных транспортных роботов позволило изменить занимаемую площадь, обеспечить необходимые проезды внутри участка, однако несколько снизилась гибкость участка по мощности, так как установка дополнительного оборудования ведет к проектированию, изготовлению и монтажу новой трассы подвесного робота, т.е. к материальным затратам и затратам времени. Компоновка автоматизированного участка, предусматривает обслуживание отдельных станков тележкой совместно с роботом на подвижном основании. Другие станки и рабочее место сборкиразборки деталей и приспособленийспутников обслуживаются только тележкой.

Транспортная тележка доставляет кассету с деталями к двухпозиционному приёмному столу у станка. К нему же подходит промышленный робот на подвижном основании, который вынимает деталь, подлежащую обработке, из кассеты и устанавливает её в приспособление станка для обработки. Готовые детали робот укладывает в кассету, установленную на втором приёмном столе у станка. После заполнения всей кассеты готовыми деталями транспортная тележка выбирает её и транспортирует к КИМ для контроля.

Станки, на которых обработка деталей производится на приспособлениях спутниках, обслуживаются только транспортной тележкой. Приспособлениеспутник с деталью устанавливается тележкой непосредственно на столе станка.

Оценка и выбор наиболее предпочтительного варианта компоновки ГАУ является сложной многофакторной задачей, для решения которой желательно использовать средства вычислительной техники (например, метод имитационного моделирования). На основании компоновочного решения разрабатывают план расположения оборудования (технологическая планировка)

---

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

(ГАЛ, ГАУ и т. п.), вспомогательных подразделений, организационную оснастку рабочих мест, технических средств систем обеспечения. При этом должно учитываться рациональное использование площадей, гибкость производственной системы, минимальный грузооборот материалов и деталей, применение многостаночного обслуживания, удобство монтажа, разборки и ремонта оборудования, соблюдение правил охраны труда и производственной санитарии. Исходными данными для разработки является компоновка ГАУ, технологические маршруты изготовления деталей, проекты организации рабочих мест, чертежи общих видов (монтажные чертежи) технических средств, систем обеспечения функционирования технологического оборудования и в первую очередь АТСС, компоновка подразделений и помещений, строительные чертежи, нормативная документация. Условия обеспечения минимального участия человека в производственном процессе и максимальной гибкости предъявляют свои требования к оборудованию ГАУ. Основные из них:

- модульный принцип построения оборудования, предусматривающий, с одной стороны, широкие возможности составления компоновок из унифицированных составных частей, с другой стороны – возможность автономной работы каждого модуля при отказах СУ;
- высокая степень надёжности работы каждой единицы оборудования и резервирование в необходимых случаях;
- минимальное время восстановления нормальных режимов работы и высокая ремонтпригодность технических средств.

Наиболее жёсткие требования предъявляются к оборудованию АТСС, т.к. именно она реализует все материальные потоки ГАУ. Выход из строя одного, или даже нескольких станков не остановит работу производственной системы, в то время как отказ в работе АС может привести к остановке производства.

Требования к технологическому оборудованию в общем виде можно сформулировать как обеспечение автоматизации основных и вспомогательных переходов обработки деталей на станках от момента подачи детали к станку до отправки обработанной детали и обеспечение автоматизации переналадки при переходе на обработку новой детали. Таким образом, ГПМ на базе многоинструментальных станков с ЧПУ должны решать следующие задачи: 1 – Автоматизацию и механизацию установки, базирования, закрепления, снятия деталей на рабочем столе станка с выдачей соответствующих сигналов; 2 – Очистку базовых поверхностей

приспособлений от стружки и СОЖ; 3 – Автоматизацию загрузки-разгрузки инструмента в магазин станка (ОЦ); 4 – Приём УП из подсистемы ТПП; 5 – Контроль положения детали на рабочем столе станка; 6 – Обработку детали; 7 – Контроль состояния режущего инструмента; 8 – Автоматическую корректировку УП для обеспечения перехода на инструментдублер; 9 – Редактирование УП на рабочем месте; 10 – Автоматический пуск (останов) станка по сигналам (командам) от внешних устройств; 11 – Обеспечение совместной работы с другими подсистемами; 12 – Организацию производственных процессов на всех рабочих местах, связанных с обработкой деталей; 13 – Учёт наработки инструментов.

### 1.6. Контрольные вопросы

1. Чем автоматизация отличается от механизации?
2. Что такое гибкость оборудования?
3. В чем принципиальное различие манипуляторов, автооператоров и промышленных роботов?
4. Из каких основных элементов состоят технические средства измерения?
5. Какие задачи решает АТСС?
6. По каким параметрам осуществляется выбор промышленного робота?

## ГЛАВА 2. ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ГАУ

### 2.1. Модели технологического цикла

#### 2.1.1. Формализация технологического цикла

Полный технологический цикл изготовления готовой штучной продукции всегда представляет собой совокупность отдельных технологических операций, сменяющих друг друга в определенной последовательности. Причинами смены операций могут быть команды человекаоператора или автоматического устройства, выдающего их после получения сигналов от датчиков об окончании предыдущей операции в соответствии с заложенной в него программой.

В то же время очень редко можно обеспечить нормальную работу агрегата, ориентируясь на «жесткую» программу, не спо-

Управление станками и станочными комплексами  
Имитационное моделирование технологических систем

собную адаптироваться к неожиданным ситуациям, возникающим в технологическом цикле. Так, если на какойлибо операции становится очевидным появление брака, то оператор или автоматическое устройство следующей командой должны предусмотреть не продолжение обработки, а останов агрегата и уборку бракованной детали. Аналогичная ситуация возникает при поломке оборудования, превышении допустимых значений параметров процесса, несоответствии параметров исходной заготовки техническим условиям [5].

При управлении технологическим циклом необходимо формировать дискретную последовательность команд исполнительным элементам технологического объекта управления (приводам). Формирование команд осуществляется управляющим устройством, называемым дискретным автоматом (рис. 2.1), на основе логического анализа ситуации, о которой сообщают различные датчики положения детали, завершения или качества протекания очередной технологической операции, по командным и оповестительным входам [4].

Только зная, как и при каких условиях должна формироваться нужная последовательность состояния объекта управления, можно сформулировать задание на синтез управляющего устройства.

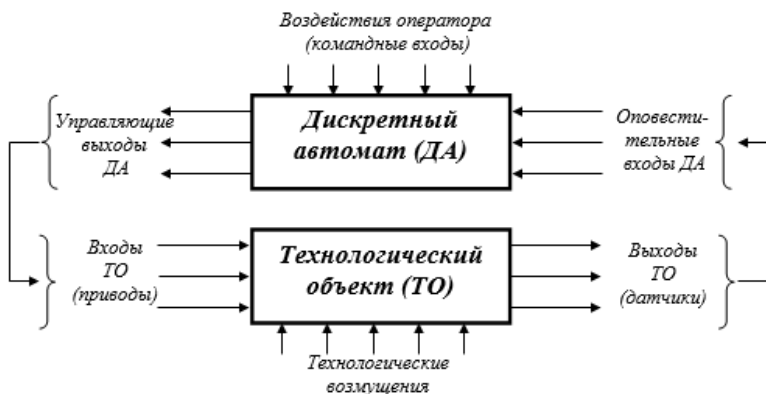


Рис. 2.1. Структура управления технологическим циклом при помощи дискретного автоматического устройства

Существуют различные формы представления моделей дискретных последовательностей операций, то есть моделей технологического цикла. Они могут представляться в виде таблиц, циклограмм, графов, формул и т. д. Предполагая, что все технологи-

ческие последовательности в конечном счете представляют собой повторяющиеся циклы, следует выделить два существенно отличных вида моделей: комбинационные и последовательностные.

Для удобства деления цикла на отдельные элементы вводится понятие технологического такта или состояния, то есть конечного интервала времени, когда объект работает с неизменной комбинацией включенных / отключенных командных (кнопки, ключи), оповестительных (датчики) и исполнительных (электро, гидроприводы, электромагниты, муфты) элементов.

Общая последовательность формализации технологического цикла состоит из следующих этапов:

1. Составление содержательного описания, в котором в произвольной повествовательной форме описывается технологический цикл при нормальном его ходе и аварийных ситуациях;
2. Разбиение цикла на такты, характеризующиеся неизменным состоянием исполнительных приводов и контролируемых параметров;
3. Анализ переходов от одного такта к другому при нормальных и аварийных ситуациях для выявления причин переходов, то есть выявление изменения состояния командных и исполнительных органов вызывающих переход;
4. Установление причинноследственных и логических ситуационных связей между входами и выходами объекта управления, обусловленных требованиями технологии;
5. Составление формализованного графического представления алгоритма функционирования в виде таблицы, циклограммы, графика и т. п.

### 2.1.2. Комбинационные модели

В комбинационных моделях ход цикла определяется состоянием входов и выходов объекта управления только в данном такте. При формализации таких моделей часто применяются таблицы истинности, отражающие однозначное соответствие дискретных состояний входов и выходов объекта управления.

Активное (включенное) или пассивное (отключенное) состояние исполнительного элемента (входа) или уровень контролируемого выхода (высокий, низкий) может обозначаться любыми символами. Обычно для этих целей используются дискретные величины 1 и 0.

При числе входов  $p$  возможны  $N = 2^p$  сочетаний комбинаций их единичного и нулевого уровней. Поскольку последова-



тельность смены комбинаций в данном случае роли не играет, в таблице истинности их удобно располагать в виде кодов натурального ряда двоичных чисел, то есть, чередуя 0 и 1 для первого входа через одно состояние, для второго – через два, для третьего – через три и т. д. Особо следует отметить, что не все комбинации состояний входов (исполнительных приводов) и датчиков реально могут иметь место. Рассмотрим один из возможных примеров.

Пример. Произвести сортировку деталей на три группы по размеру, равному  $b$ ,  $2b$  и больше  $3b$ , открыв заслонки бункеровнакопителей, предназначенных для отбора деталей каждого типа. Контроль размеров деталей можно осуществить тремя датчиками  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , установленными поперек роликового транспортера (рис. 2.2). Обозначив бункеры  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$ , выделим ситуации (см. табл. 2.1):

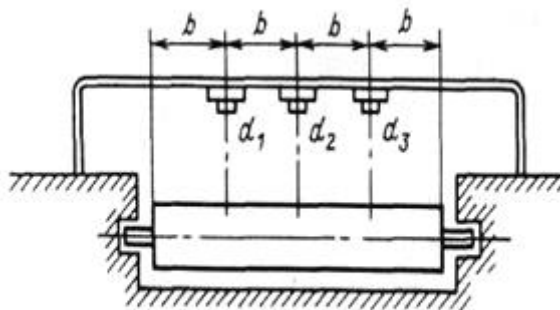


Рис. 2.2. Установка датчиков для контроля размеров детали

1) идет деталь размера  $b$  – перекрыт один из датчиков ( $d_1$  или  $d_2$ , или  $d_3$ ), открыт бункер  $B_1$  (такты 4, 2, 1);

2) идет деталь  $2b$  – перекрыты два датчика ( $d_1$ ,  $d_2$  или  $d_2$ ,  $d_3$ ), открыт бункер  $B_2$  (такты 6, 3);

3) идет деталь размером более  $3b$  – перекрыты все три датчика, открыт бункер  $B_3$  (такт 7).

Таблица 2.1

Таблица истинности сортировочного автомата

№ комбинаций (тактов)	Состояние					
	Входов			Выходов		
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$B_1$	$B_2$	$B_3$

0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0
2	0	1	0	1	0	0
3	0	1	1	0	1	0
4	1	0	0	1	0	0
5	1	0	1	0	0	0
6	1	1	0	0	1	0
7	1	1	1	0	0	1

Таблица истинности составляется для всех возможных комбинаций командных датчиков. Число таких комбинаций равно  $N = 2^n = 8$ , где  $n = 3$  – число командных входов (число датчиков). Состояния датчиков обозначаются двоичным кодом натурального ряда чисел, что позволяет упростить заполнение таблицы. Выходные сигналы 0 или 1 соответственно означают, закрыт или открыт бункер.

Незаполненные клетки состояний выходов (такт 5) соответствуют нереальной ситуации, когда деталь перекроет датчики  $d1$  и  $d3$  и не перекроет  $d2$ ; она может возникнуть лишь в результате неисправности датчика  $d2$ . Эти клетки заполняются нулями для предотвращения аварийной ситуации (все бункеры закрыты, звучит сигнал).

Логическая функция работы бункера  $B1$  имеет вид:

$$B_1 = \overline{x_1} \overline{x_2} x_3 + \overline{x_1} x_2 \overline{x_3} + x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} \quad (2.1)$$

### 2.1.3. Последовательностные модели

В отличие от комбинационных моделей при составлении последовательностных моделей необходимо отражать однозначное соответствие состояний выходов комбинациям состояний входов, как в данном такте, так и в предыдущих. Следовательно, одна и та же комбинация входов в данном такте может вызвать переход в разные новые состояния в зависимости от того, каким было предшествующее состояние. Поэтому в модели должны быть отражены не только данный такт, но и предыстория.

В зависимости от сложности объекта используются различные виды моделей. В простейшем случае применяются цикло-

граммы, в которых состояния отражают условным изображением включенного или отключенного исполнительного элемента в виде наличия или отсутствия линии. При большом числе состояний применяются таблицы состояний и графы.

Циклограмма представляет собой ряд горизонтальных строк, равных числу командных и исполнительных элементов. Строки условно разбиты на отрезки, число которых равно числу элементарных технологических тактов. Включенное состояние элемента на строке обозначается сплошной линией, отключенное – отсутствием ее. Вертикальными линиями на циклограммах показана "передача управления" – причинноследственные связи между командными и исполнительными элементами.

Когда элемент включен, совокупность тактов называется периодом включения, а когда отключен – периодом отключения. Такт, предшествующий периоду включения, называется включающим, а периоду отключения – отключающим.

Пример. Рассмотрим циклограмму работы грузового подъемника (рис. 2.3). Грузовой подъемник с тележкой от подачи кратковременной команды кнопкой SB (пуск) идет вверх [кнопка SB включает контактор "Вперед" KM1 (SB · KM1), после чего отключается (такт 1)]. В начале движения отключается нижний конечный выключатель SQ2 (такт 2). После достижения крайнего верхнего положения кабина воздействует на верхний конечный выключатель SQ1, который дает команду на отключение KM1 (такт 3, SQ1 · KM1). Контактор KM1 отключается (такт 4). После выката тележки отключается конечный выключатель SQ3 (такт 5) и включается контактор "Назад" KM2, подъемник идет вниз (такт 6, SQ3 · KM2), отключается SQ1 (такт 7). После воздействия внизу на нижний конечный выключатель SQ2 отключается KM2 (такт 8, SQ2 · KM2), кабина останавливается (такт 9).

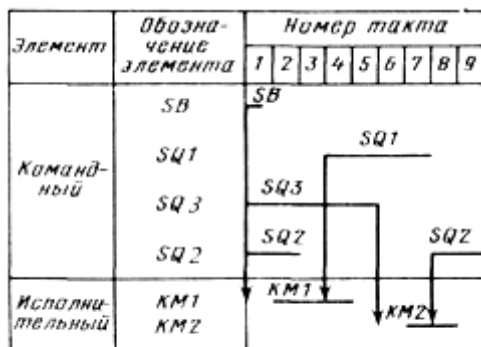


Рис. 2.3. Циклограмма работы грузового подъемника

Таблица состояний. Число строк таблицы соответствует числу состояний, число столбцов – числу возможных комбинаций переменных; крайний левый столбец фиксирует номера исходных состояний. В клетках проставляются номера состояний, обусловленных исходным состоянием и возникшей комбинацией управляющих переменных.

Таблица 2.2

Таблица состояний грузоподъемника

Состояние гр. под.	Кнопка ПУСК SB X1	Нижний КВ SQ2 X2	Верхний КВ SQ1 X3	КВ выката SQ3 X4	Контактор вверх KM1 Y1	Контактор вниз KM2 Y2
1.Стоит	0	1	1	1	0	0
2.Вверх	1	1	0	0	1	0
3.Вниз	1	0	1	1	0	1

Граф-схема. При представлении цикла в виде графа в вершинах (окружностях) проставляются номера (коды) состояний. Вершины соединяются стрелками, отражающими переходы из одного состояния в другое. Над стрелками записываются комбинации переменных, обуславливающих этот переход.

Пример. Подъемник перемещается с одного уровня на другой реверсивным приводом, включаемым исполнительными элементами контакторами KM1 и KM2. Пуск подъемника осуществляется по команде от этажных кнопок SB1, SB2, SB3, SB4. Аварий-

ные ситуации предотвращаются реле перегрузки, конечными выключателями SQ1, SQ2 и контролем закрытия дверей шахты SQ3, SQ4. Возможно состояний три: 1 – движение вверх, 2 – движение вниз, 3 – кабина неподвижна.

Введем в рассмотрение следующие командные переменные: пуск вверх ПВ – нажаты кнопки "Вверх" SB1, SB3 на первом или втором этаже; пуск вниз ПН – нажаты кнопки "Вниз" SB2, SB4 на первом или втором этаже; есть разрешение двигаться вверх РВ – закрыты все двери, не нажат конечный выключатель SQ1, нет перегрузки; есть разрешение двигаться вниз РН – закрыты все двери, не нажат конечный выключатель SQ2, нет перегрузки.

На рисунке 4 представлен граф, описывающий работу подъемника. Граф имеет три вершины (состояния 1, 2, 3). Пуск из состояния 3 (подъемник неподвижен) в состояние 1 или 2 (движение вверх или вниз) обусловлен наличием требуемой команды (ПВ или ПН), отсутствием противоположной (ПН или ПВ) и наличием разрешений (РВ или РН). Обратный переход обусловлен только отсутствием разрешения (РВ или РН), то есть снятие ПВ или ПН остановка не вызывает. Сохранение состояния 1 или 2 обусловлено только наличием РВ или РН, а состояние 3 – их отсутствием. В скобках над или под стрелками указаны номера комбинаций переменных (такты), соответствующие данному переходу.

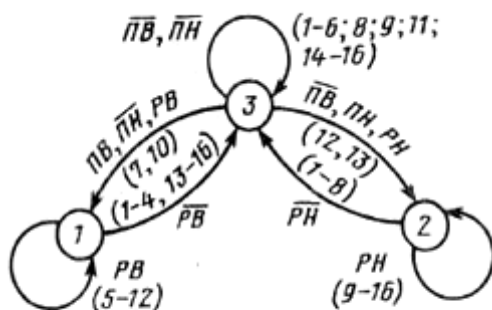


Рис. 2.4. Граф-схема алгоритма функционирования подъемника

Представление тем или иным образом алгоритма функционирования технического объекта зависит от степени их освоения и приобретенных навыков.

## 2.2. Синтез дискретных автоматов

### 2.2.1. Основные положения двоичной алгебры

Отношения между двумя элементами определяются отношением эквивалентности, обозначаемым знаком равенства, и операциями: сложения (дизъюнкции), обозначаемой знаками  $\langle + \rangle$  или  $\langle \vee \rangle$ , умножения (конъюнкции) –  $\langle \cdot \rangle$  или  $\langle \wedge \rangle$  и отрицания (инверсии) –  $\langle \overline{\phantom{x}} \rangle$  или  $\langle \neg \rangle$ . При выполнении всех трех операций отношения эквивалентности определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
 0 + 0 &= 0; & 0 \cdot 0 &= 0; & \overline{0} &= 1; \\
 1 + 1 &= 1; & 1 \cdot 0 &= 0; & \overline{1} &= 0; \\
 0 + 1 &= 1; & 0 \cdot 1 &= 0; & & \\
 1 + 0 &= 1; & 1 \cdot 1 &= 1; & & 
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Эти постулаты позволяют обосновать законы двоичной алгебры. Законы унарных элементов:

– универсального множества:  $x + 1 = 1; \quad x \cdot 1 = x;$   
 (2.3)

– нулевого множества:  $x + 0 = x; \quad x \cdot 0 = 0.$   
 (2.4)

Законы отрицания (теорема Моргана):

– двойного отрицания:  $\overline{\overline{x}} = x;$   
 (2.5)

– дополненности:  $x + \overline{x} = 1; \quad x \cdot \overline{x} = 0;$   
 (2.6)

– двойственности:  
 $\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}; \quad \overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}.$   
 (2.7)

Законы комбинационные:

– тавтологии:  $x + x = x; \quad x \cdot x = x;$   
 (2.8)

– коммутативные или переместительные:  $x_1 + x_2 = x_2 + x_1$   
 $x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1$  (2.9)

– ассоциативные или согласовательные:  
 $(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3); \quad (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3);$   
 (2.10)

– дистрибутивные или распределительные:

$$x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3; \quad x_1 + (x_2 \cdot x_3) = (x_1 + x_2) \cdot (x_2 + x_3); \quad (2.11)$$

– абсорбции или поглощения:  $x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1; \quad x_1 + (x_1 \cdot x_2) = x_1;$

– склеивания:  $x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_2 = x_1.$

### 2.2.2. Синтез комбинационных автоматов

Для создания сложных комбинационных автоматов используют элементарные комбинационные автоматы (логические элементы), которыми реализуется функционально полный набор двоичных функций. Элементарным комбинационным автоматом будем называть автомат, реализующий логическую функцию двух переменных.

Синтез комбинационных автоматов начинается с содержательного описания функционирования объекта и составления таблицы истинности.

Для получения аналитического выражения, определяющего необходимую структуру автомата, записываются исходные формы переключательной функции в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ) или совершенной конъюнктивной нормальной формы (СКНФ).

Дизъюнктивная нормальная форма представляет собой дизъюнкцию (сумму) минтермов, а конъюнктивная нормальная форма – конъюнкцию (произведение) макстермов.

Минтермом или конституэнтной единицы называется логическая функция, принимающая значение 1 только на одном наборе переменных. Образуется как конъюнкция всех входных переменных с отрицанием тех, которые в данном наборе равны нулю. Число минтермов равно числу наборов.

Макстермом или конституэнтной нуля называется логическая функция, принимающая значение 0 только на одном наборе переменных. Образуется как дизъюнкция входных переменных, где переменные данного набора, равные 1, взяты с отрицанием. Число макстермов равно числу наборов.

Две эти формы эквивалентны. При минимизации удобно пользоваться СДНФ.

Рассмотрим методы синтеза автоматов с минимальным количеством элементов, которые называются минимальными или оптимальными.

Пример. Разработать автомат, реагирующий не менее чем на два сигнала из трех (мажоритарный автомат).

Таблица 2.3

Таблица истинности автомата

$x_1$	0	1	0	1	0	1	0	1
$x_2$	0	0	1	1	0	0	1	1
$x_3$	0	0	0	0	1	1	1	1
$y$	0	0	0	1	0	1	1	1

1. По таблице истинности записывается логическая функция в форме СДНФ. Число слагаемых равно числу наборов, где синтезируемая функция равна 1, а число сомножителей в каждом слагаемом – числу аргументов. Над аргументами, принимающими в данном наборе значение 0, ставится знак отрицания:

$$(2.12)$$

2. Минимизация СДНФ. Производится наиболее популярным (табличным) методом КуайнМак Ласки (существуют также методы Карно, Квайна [12]).

2.1. Анализируем таблицу истинности:

Таблица 2.4

№ строки	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y$	Минтерм	Кол-во единиц
1	0	0	0	0		
2	1	0	0	0		
3	0	1	0	0		
4	1	1	0	1	$x_1 x_2 \bar{x}_3$	2
5	0	0	1	0		
6	1	0	1	1	$x_1 \bar{x}_2 x_3$	2
7	0	1	1	1	$\bar{x}_1 x_2 x_3$	2
8	1	1	1	1	$x_1 x_2 x_3$	3

2.2. Группируем минтермы по количеству в них единиц:

Таблица 2.5

№ группы	№ строки	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Кол-во единиц
1	4	1	1	0	2
1	6	1	0	1	2
1	7	0	1	1	2
2	8	1	1	1	3

2.3. Произведем объединение строк каждой предыдущих и



последующих групп. Объединяются строки, в которых какой либо X различается значением (0 или 1) – смежные минтермы. Такой X обозначаем знаком «+»:

Таблица 2.6

№№ строк	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Кол-во единиц
4, 8	1	1	+	2
6, 8	1	+	1	2
7, 8	+	1	1	2

2.4. Производится объединение строк с совпадающими позициями «+». В нашем примере таких нет.

2.5. Из двух строк с совпадающими позициями «+» оставляем только одну.

Приведенный выше алгоритм минимизации СДНФ позволяет получить следующую логическую функцию автомата:

$$y = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3 \quad (2.13)$$

3. Двукратное инвертирование СДНФ (переход в базис Шеффера):

$$y = \overline{\overline{x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3}} = \overline{\overline{x_1x_2} \cdot \overline{x_1x_3} \cdot \overline{x_2x_3}} \quad (2.14)$$

4. Построение логической схемы автомата:

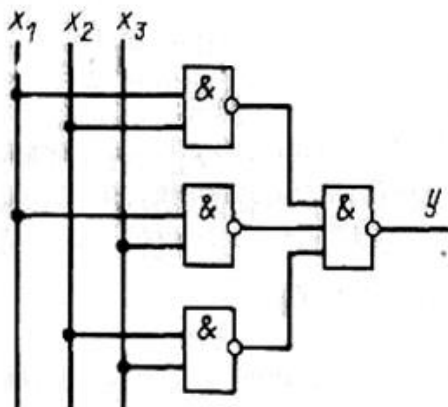


Рисунок 2.5. Логическая схема автомата

### 2.2.3. Синтез последовательностных автоматов

Последовательностные автоматы осуществляют преобразование двоичных входных переменных не только с учетом текущей комбинации на входе в данном такте автоматного времени, но и с учетом того, что было в предыдущих тактах.

Создание последовательностного автомата, способного запоминать предшествующие данному такту комбинации сигналов на входе, обеспечивается наличием в комбинационном автомате не только внешних (рабочих) входов  $X$  и выходов  $Y$ , но и вспомогательных (внутренних) переменных  $Z$ , которые должны иметь возможность давать различные комбинации для каждого такта, подлежащего запоминанию, и реализуемых в виде обратных связей. Эти внутренние переменные, подаваемые на вход комбинационной схемы, как бы корректируют результат от воздействия внешних входов, учитывая предыдущие ситуации.

Таким образом, задача внешних входов – задать текущую комбинацию, а внутренних – сохранить и задать на входе комбинацию, однозначно соответствующую сформировавшейся на выходе в предыдущем такте (кодирующую ее). В этом случае выходная комбинация формируется с учетом предыдущего такта. В следующем такте внутренние переменные внесут очередную коррективу (если их комбинация будет отлична от предыдущей) и, следовательно, новые значения выходов уже несут в себе следы двух предыдущих тактов и т.д. Количество таких состояний  $M$  внутренних переменных  $Z$  называется весом последовательностного автомата.

Число внутренних переменных  $m_z$ , обеспечивающих возможность кодирования всех  $M$  состояний, называется объемом памяти автомата и равно:

$$m_z = \log_2 M. \quad (2.15)$$

Внешними входными переменными автомата определяется количество его возможных входных комбинаций, а внутренними – через сколько комбинаций внешних начинает повторяться коррекция внутренними. Так, если  $t_x = 3$  и  $m_z = 2$ , то автомат будет иметь восемь состояний с повторяющейся коррекцией через четыре такта.

Следствием этого является характерная особенность последовательностных автоматов: у них вследствие коррекции  $Z$  возможны разные комбинации выходов при одинаковых комбинациях

на внешних входах. Технических вариантов реализации даже простых последовательностных автоматов может быть очень много. Достаточно наглядной является схема последовательностных автоматов, приведенная на рисунке 2.6 и представляющая собой наиболее общий случай.

Входы  $X^t$  логикой комбинационной схемы формируют выходы  $Y^t$  в данном такте. В формировании  $Y^t$  при этом участвуют внутренние переменные  $Z^{t-1}$ , комбинация которых сформировалась в предыдущем такте  $t-1$ . Переменные  $Z^{t-1}$  сформировались узлом управления обратными связями (ОС) в цепи обратной связи, который может включать: комбинационную логику, временные задержки и синхронизирующий вход. Как видно из схемы, именно ОС обеспечивает «запоминание» путем приема на вход выходной комбинации автомата в данном такте и передачу ее с временной задержкой на входы автомата в следующем такте.

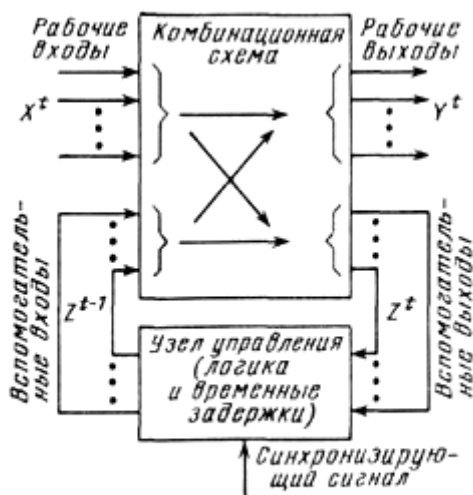


Рис. 2.6. Схема последовательностного автомата

Разрыв цепи ОС превращает последовательностные автоматы в комбинационные. Важную роль играет характер задержки: если блок ОС имеет синхронизирующий вход, «отпирающий» и «запирающий» цепь обратной связи в каждом такте, – это синхронный автомат.

У него равенство  $Z^{t-1} = Z^t$  наступает только после «отпирания» синхроимпульсом цепи обратной связи.

Благодаря обратной связи последовательностные автоматы обладают специфическим свойством, характерным для замкнутых

систем управления – они могут быть устойчивыми и неустойчивыми. Устойчивым будем называть состояние, когда комбинация выходов меняется лишь вследствие изменения входа. Неустойчивые автоматы могут после установления комбинации входов несколько раз менять комбинацию на выходе, проходя ряд неустойчивых состояний. Такой процесс может завершиться переходом в устойчивое состояние (затухание колебаний) либо продолжаться неограниченное время (автоколебания).

Рассмотрим этапы более общего синтеза последовательного автомата, у которого переход из одного состояния в другое зависит не только от прихода очередного тактового импульса, но и от условий, сформированных «внешней» логикой – различными датчиками и внешними управляющими командами.

Этап 1. Составим описание цикла функционирования механизма или агрегата, для автоматизации которого разрабатывается автомат. Установим количество состояний (тактов), когда не меняются состояние ни одного дискретного исполнительного элемента, составляющее цикл работы механизма, и причины перехода из одного состояния в другое.

В зависимости от причин может меняться последовательность смены состояний, но не их номенклатура. Под причинами понимается срабатывание какого-либо датчика или командного органа либо изменение какого-либо сочетания их состояний. Например, в описании цикла установлено, что цикл состоит из пяти тактов (состояний  $a_1, \dots, a_5$ ), переходы которых обусловлены различными сочетаниями команд оператора  $x_1 - x_3$  и сигналов датчиков  $z_1 - z_4$  (см. рис. 2.7, а).

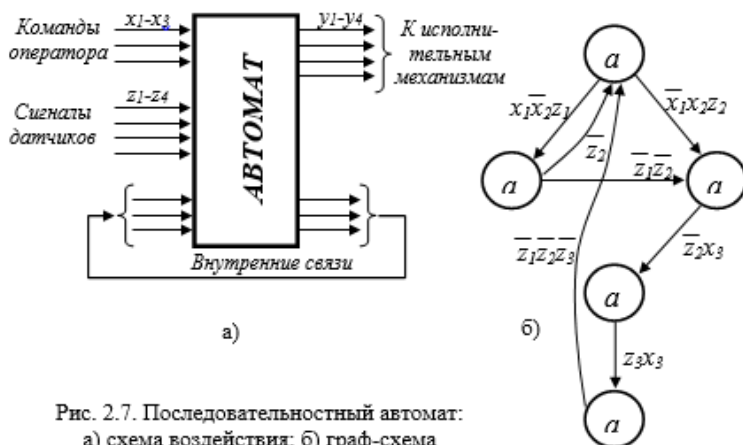


Рис. 2.7. Последовательный автомат:  
 а) схема воздействия; б) граф-схема

Этап 2. Составим формальный портрет, отражающий все реально возможные переходы из одного состояния в другое и условия этих переходов. Он может быть составлен в виде тактовой таблицы, структурной схемы алгоритма или в виде графа, вершинами которого являются состояния, а ребра отражают причины перехода из одного состояния в другое. Над ребрами записаны логические условия перехода. На рисунке 2.7, б показан возможный вариант такого графа.

Этап 3. Произведем кодирование состояний. Чтобы автомат «знал» какое в данном такте состояние, он должен иметь узел, на выходах которого появляется 1 в зависимости от состояния, а именно: на первом – при  $a_1$ , на втором – при  $a_2$  и т.д. Таким узлом может быть дешифратор с тремя триггерами на входе. При кодировании состояний каждому состоянию ставится в соответствие комбинация состояний выходов триггеров. Чтобы закодировать пять состояний, нужны три триггера с выходами  $Q_0, Q_1, Q_2$ :

Таблица 2.7

Состояние	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$
$a_1$	0	0	1
$a_2$	0	1	0
$a_3$	0	1	1
$a_4$	1	0	0
$a_5$	1	0	1

Не используются еще три возможных состояния 3х триггеров ( $2^3= 8$ )

Этап 4. Составим таблицу переходов (см. табл. 2.8), в которой на основании графа отразим переход каждого выхода каждого триггера при всех возможных переходах автомата из одного состояния в другое. В таблице укажем логические условия каждого перехода и состояние входов JK каждого триггера при известном переходе его выхода, характерные только для выбранного JK триггера.

Таблица 2.8

Исходное состояние	Код исходного состояния	Новое состояние	Код нового состояния	Условия перехода	Состояние входов триггеров					
					$J_0$	$K_0$	$J_1$	$K_1$	$J_2$	$K_2$
$a_1$	001	$a_2$	010	$X_1 X_2 Z_1$	~	1	1	~	0	~
		$a_3$	011	$X_1 X_2 Z_2$	~	0	1	~	0	~
$a_2$	010	$a_1$	011	$Z_1'$	1	~	~	1	0	~
		$a_3$	011	$Z_1' Z_2'$	1	~	~	0	0	~
$a_3$	011	$a_4$	100	$Z_2' X_3$	~	1	~	1	1	~
$a_4$	100	$a_5$	101	$Z_3 X_3$	1	~	0	~	~	0
$a_5$	101	$a_1$	001	$Z_1' Z_2' Z_3$	~	0	0	~	~	1

Работа JK-триггера определяется следующей таблицей состояний:

Таблица 2.9

J	K	$Q_{n+1}$	$/Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$	$/Q_n$
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	$/Q_n$	$Q_n$

Этап 5. По таблице перехода (табл. 2.8) запишем логические уравнения, связывающие входы триггеров с командными входами  $x$  сигналами датчиков  $z$  и выходами триггеров  $Q$  через дешифратор состояний. Запись уравнений производится следующим образом: для каждого входа каждого триггера для переходов, где данный вход равен 1, записывается произведение исходного состояния на логическое условие его перехода в последующее.

Уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned}
 J_0 &= a_2(\bar{z}_1 + \bar{z}_1\bar{z}_2) + a_4z_3x_3 = a_2\bar{z}_2 + a_4z_3x_3 ; \\
 K_0 &= a_1x_1\bar{x}_2z_1 + a_3\bar{z}_2x_3 ; \\
 J_1 &= a_1z_1\bar{x}_2z_1 + a_1\bar{x}_1x_2z_2 ; \\
 K_1 &= a_2\bar{z}_1 + a_3\bar{z}_2x_3 ; \\
 J_2 &= a_3\bar{z}_2x_3 ; \\
 K_2 &= a_5\bar{z}_1\bar{z}_2\bar{z}_3
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

Полученный автомат (рис. 2.8) может обеспечить пятитактный цикл управления каким-либо исполнительными элементами. Их не может быть менее трех (чтобы получилось пять разных состояний), но больше может быть (10, 20 и т. п.), то есть каждое состояние будет отличаться комбинацией включенных и отключенных элементов (станков, механизмов).

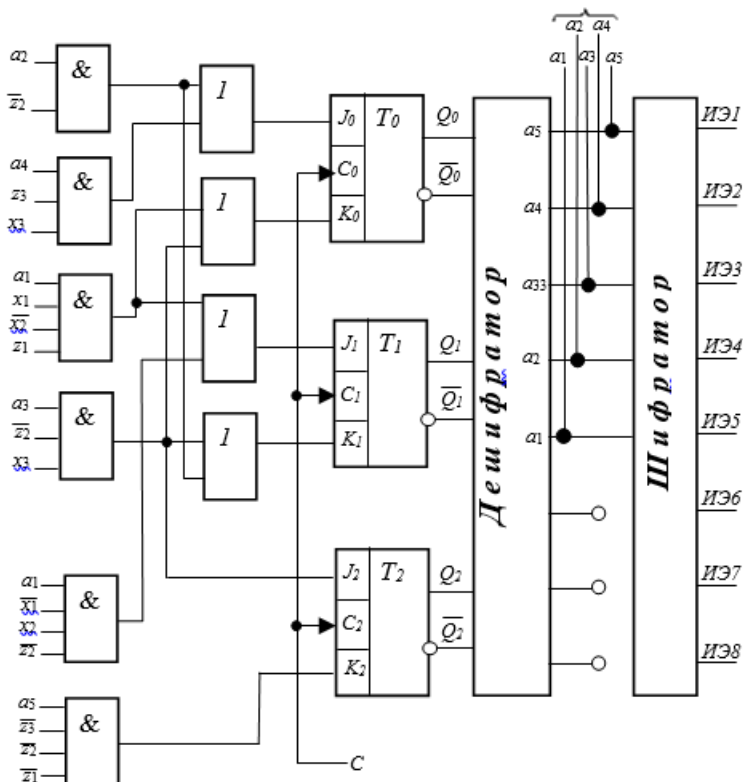


Рис. 2.8. Электрическая схема автомата

## 2.3. Пример логической модели работы ГАУ

### 2.3.1. Общее описание ГАУ

Рассмотрим пример логического моделирования системы управления ГАУ для изготовления деталей типа «Корпус». Планировка участка представлена на рисунке 2.9. Ведомость основного и вспомогательного оборудования приведена в таблице 2.10.



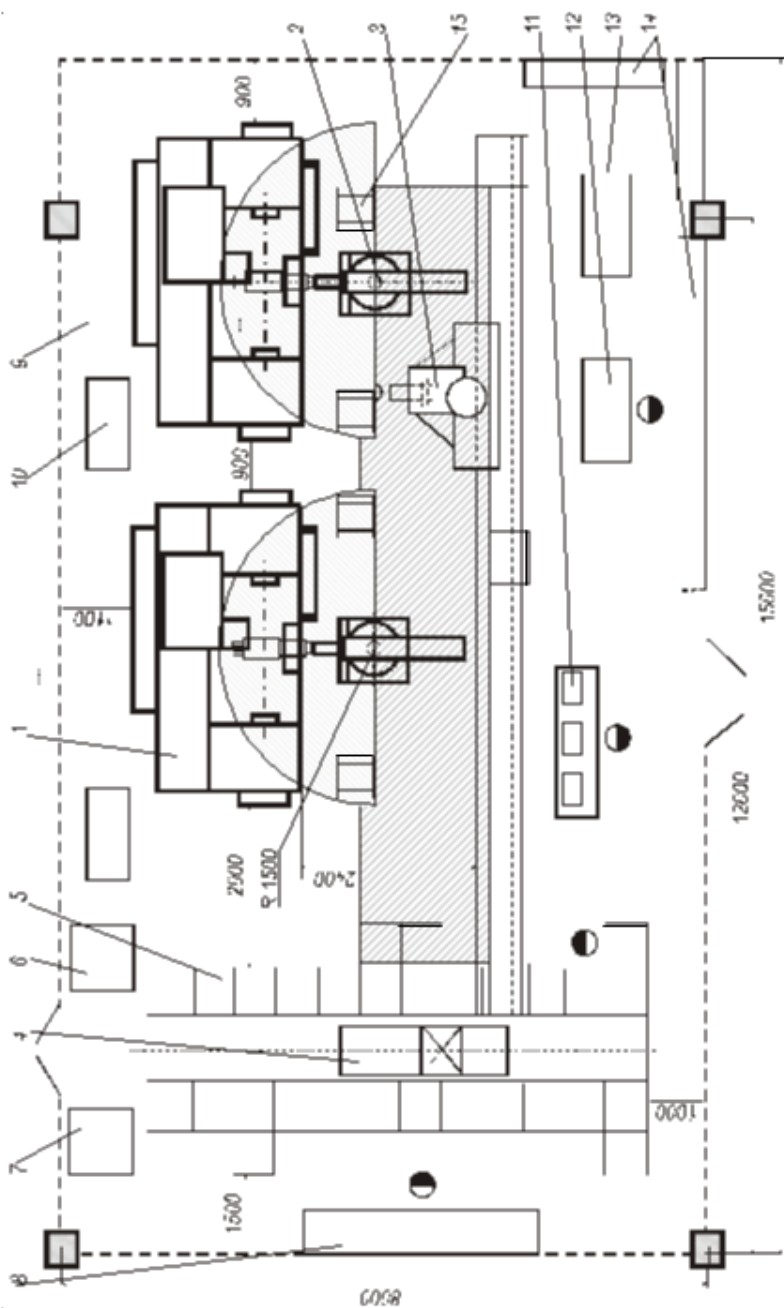


Рис. 2.9. Планировка гибкого автоматизированного участка

Таблица 2.10  
 Ведомость оборудования производственного участка

№ п.п.	Наименование	Модель	Количество
1	Токарный обрабатывающий центр	INTEGREX 200 III ST	2
2	Робот напольный	M10П.62.01	2
3	Робот порталный	СМ40Ф2.80.01	1
4	Робот-штабелер	РШ-500	1
5	Автоматизированный склад	АС-50	1
6	Склад готовых деталей		1
7	Склад для заготовок		1
8	Стол сборки-разборки тары		1
9	Конвейер для уборки стружки		2
10	Шкаф электроавтоматики		2
11	Пульт управления ГАУ		1
12	Контрольный стол		1
13	Место отдыха		1
14	Щкаф-стеллаж		3
15	Позиция загрузки-выгрузки		4

Заготовки в тарах (см. рис. 2.9), собираемых в поз. 9, поступают на хранение на автоматизированный склад 4 и по требованию выдаются на позицию выдачи склада. Портальный робот 3 забирает тару со склада и загружает одну из двух позиций загрузки многоцелевых станков. Два напольных робота 2, каждый из которых обслуживает загрузку-разгрузку двух многоцелевых токарных станков 1, поштучно забирают заготовки с приемных позиций станков и, по окончании обработки, укладывают готовые детали в тару на разгрузочных позициях 15. При заполнении тары готовыми изделиями порталный робот должен забрать тару с разгрузочных позиций и передать ее на автоматизированный склад.

### 2.3.2. Проектирование материальных потоков ГАУ

В составе ГАУ функционируют шесть исполнительных элементов, выполняющих задачи перемещения и формообразо-

вания заготовок и деталей большой номенклатуры. В таблице 2.11 закодированы и описаны локальные задачи каждого элемента, которые задаются в виде управляющих программ при наладке оборудования.

Таблица 2.11  
 Перечень состояний исполнительных элементов ГАУ

№ п. п	Код состояния	Обозначение элемента	Описание задачи состояния элемента
<b>Элемент 1 Автоматизированный склад под управлением робота-штабелера</b>			
1.	001000	<i>СРШ1</i>	Бездействие робота-штабелера
2.	001001	<i>СРШ2</i>	Выдать тару заданного кода на выдающую позицию АС
3.	001002	<i>СРШ3</i>	Принять тару заданного кода с приемной позиции АС
4.	001003	<i>СРШ4</i>	Загрузить позицию комплектования тарой заданного кода
5.	001004	<i>СРШ5</i>	Разгрузить позицию комплектования тары заданного кода
6.	001005	<i>СРШ6</i>	Выдать тару деталей со склада
7.	001006	<i>СРШ7</i>	Принять тару заготовок на склад
<b>Элемент 2 Портальный промышленный робот</b>			
8.	002001	<i>СПР1</i>	Бездействие портального робота
9.	002002	<i>СПР2</i>	Забрать тару с выдающей позиции АС
10.	002003	<i>СПР3</i>	Положить тару на приемную позицию АС
11.	002004	<i>СПР4</i>	Загрузить приемную позицию МС1
12.	002005	<i>СПР5</i>	Загрузить приемную позицию МС2
13.	002006	<i>СПР6</i>	Разгрузить приемную позицию МС1
14.	002007	<i>СПР7</i>	Разгрузить приемную позицию МС2

№ п. п	Код состояния	Обозначение элемента	Описание задачи состояния элемента
15	002008	<i>СПР8</i>	Загрузить выдающую позицию МС1
16	002009	<i>СПР9</i>	Загрузить выдающую позицию МС2
17	002010	<i>СПР10</i>	Разгрузить выдающую позицию МС1
18	002011	<i>СПР11</i>	Разгрузить выдающую позицию МС2
<b>Элемент 3 Напольный робот станка 1</b>			
19	003001	<i>СНП11</i>	Бездействие робота
20	003002	<i>СНП12</i>	Загрузить заготовку в левый шпиндель МС1
21	003003	<i>СНП13</i>	Забрать деталь из правого шпинделя МС1
22	003004	<i>СНП14</i>	Смена схвата под заданный код детали
<b>Элемент 4 Напольный робот станка 2</b>			
23	004001	<i>СНП21</i>	Бездействие робота
24	004002	<i>СНП22</i>	Загрузить заготовку в левый шпиндель МС2
25	004003	<i>СНП23</i>	Забрать деталь из правого шпинделя МС2
26	004004	<i>СНП24</i>	Смена схвата под заданный код детали
<b>Элемент 5 Токарный обрабатывающий центр 1 (МС1)</b>			
27	005001	<i>СС11</i>	Бездействие МС1
28	005002	<i>СС12</i>	Обработка детали заданного кода
29	005003	<i>СС13</i>	Смена управляющей программы

№ п. п	Код состояния	Обозначение элемента	Описание задачи состояния элемента
30	005004	CC14	Ожидание подналадки техоснастки
31	005005	CC15	Ожидание разгрузки готовой детали
<b>Элемент 6 Токарный обрабатывающий центр 2 (MC2)</b>			
32	005001	CC21	Бездействие MC2
33	005002	CC22	Обработка детали заданного кода
34	005003	CC23	Смена управляющей программы
35	005004	CC24	Ожидание подналадки техоснастки
36	005005	CC25	Ожидание разгрузки готовой детали

### 2.3.3. Проектирование информационных потоков ГАУ

Для управления технологическим оборудованием в составе ГАУ необходим комплекс источников информации о реальном состоянии каждого исполнительного элемента, а также общее управляющее устройство, которое принимает решение о запуске того или иного состояния каждого исполнительного элемента. Функции источников информации о состоянии исполнительных элементов выполняют датчики. На участке применяются следующие датчики.

Контактные датчики положения (рис. 2.10) отличаются механическим воздействием переключающего упора на чувствительный элемент. Обычно это рычажные выключатели, простые и дешевые, но подверженные механическому износу и не способные работать при быстрых перемещениях объекта.

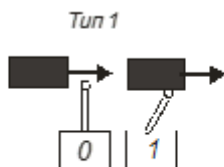


Рис. 2.10. Контактный датчик положения

Тактильный датчик (рис. 2.11) контактного давления, не имеющий щупа. Матрица датчиков контактного давления размещается на плоской поверхности и служит для распознавания формы касающегося ее объекта. Датчик контактного давления может быть выполнен в виде матрицы металлических контактов, над которой через эластичный материал с отверстиями уложена фольга. При нажатии на фольгу контакт замыкается. Объект распознается по расположению замкнутых контактов в матрице.

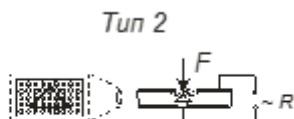


Рис. 2.11. Тактильный датчик

Волоконнооптические датчики положения (рис. 2.12) реагируют на пересечение или отражение светового потока, передаваемого через оптическое волокно. Современные датчики имеют встроенную регулировку зоны чувствительности. Начало и конец зоны чувствительности устанавливают нажатием кнопки на корпусе датчика при обучении срабатыванию датчика.

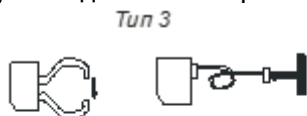


Рис. 2.12. Волоконно-оптический датчик

Датчик «Световой барьер» (рис. 2.13) представляет собой стойки фотоизлучателей и фотоприемников, направленных друг к другу. Он предназначен для бесконтактного ограждения опасных зон. Каждый фотоприемник принимает узконаправленный

оптический луч от противоположного фотоизлучателя. При пересечении луча объектом ограждаемый технологический процесс останавливается и подается сигнал тревоги.

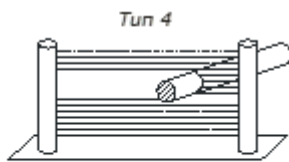


Рис. 2.13. Датчик типа «Световой барьер»

Генераторные датчики (рис. 2.14) подразделяют на щелевые, плоскостные и торцевые. В щелевом датчике переключающий упор проходит через щель шириной 3 – 100 мм. Дифференциал хода составляет 1,5 – 2,0 мм при ширине щели до 6 и 5 – 15 мм при ширине щели 10 – 100 мм. В плоскостном датчике переключающий упор перемещается на расстоянии 25 – 16 мм от плоской поверхности датчика.

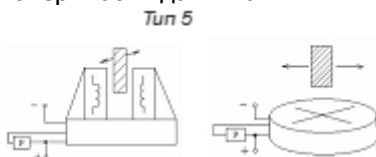


Рис. 2.14. Генераторный датчик положения

В современной технике автоматизации наиболее распространены генераторные датчики положения торцевого типа. За рубежом их называют индуктивными. Датчик положения подвижных звеньев механизмов выполнен в виде неразборного болта диаметром 8 – 12 мм и длиной 50 – 60 мм. Внутри болта размещены автогенератор, детектор, пороговый элемент и выходной усилитель/формирователь. Чувствительный элемент представляет собой катушку индуктивности. Прохождение металлического объекта на расстоянии 1 – 3 мм от торца датчика приводит к изменению индуктивности, срыву генерации и включению реле между проводом питания и третьим проводом датчика. Дифференциал хода составляет 0,15 – 0,60 мм, погрешность положения точки переключения 0,05 – 0,10 мм, частота переключения до 800 Гц, ток нагрузки 200 мА.

Схема расположения датчиков на рассматриваемом участке

изготовления деталей типа «Корпус» приведена на рисунке 2.15. Ведомость информационных датчиков ГАУ приведена в таблице 2.12.

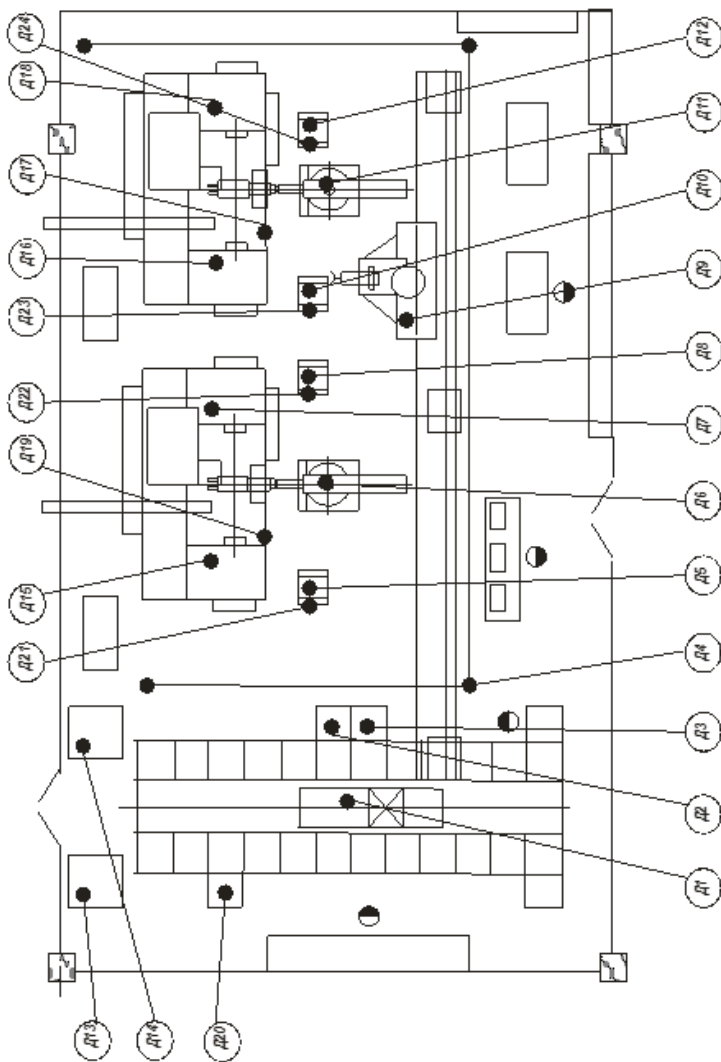


Рис. 2.15. Схема расположения информационных датчиков

Таблица 2.12  
Ведомость информационных датчиков ГАУ



№	Тип	Назначение датчика
Д1	Тип 5	Определяет положение робота-штабелера
Д2	Тип 2	Фиксирует наличие тары с определенным типом заготовок
Д3	Тип 2	Фиксирует наличие тары с определенным типом деталей
Д4	Тип 4	Световое ограждение рабочей зоны ГАУ
Д5	Тип 2	Фиксирует наличие тары с определенным типом деталей
Д6	Тип 1	Определяет позицию напольного робота в состоянии ожидания
Д7	Тип 3	Определяет наличие заготовки в правом шпинделе МС1
Д8	Тип 2	Фиксирует наличие тары с определенным типом заготовок
Д9	Тип 1	Определяет позицию портального робота в состоянии ожидания
Д10	Тип 2	Фиксирует наличие тары с определенным типом деталей
Д11	Тип 1	Определяет позицию напольного робота в состоянии ожидания
Д12	Тип 2	Фиксирует наличие тары с определенным типом деталей
Д13	Тип 2	Фиксирует наличие тары с определенным типом деталей
Д14	Тип 2	Фиксирует наличие тары с определенным типом заготовок
Д15	Тип 3	Определяет наличие заготовки в левом шпинделе МС1
Д16	Тип 3	Определяет наличие заготовки в левом шпинделе МС2
Д17	Тип 3	Определяет защиту рабочей зоны МС2
Д18	Тип 3	Определяет наличие заготовки в правом шпинделе МС2
Д19	Тип 3	Определяет защиту рабочей зоны МС2
Д20	Тип 1	Определяет наличие тары в позиции комплектования АС
Д21	Тип 3	Определяет, что тара на загрузке МС1 пустая
Д22	Тип 3	Определяет, что тара на выгрузке МС1 станка наполнилась
Д23	Тип 3	Определяет, что тара на загрузке МС2 станка пустая
Д24	Тип 3	Определяет, что тара на выгрузке МС2 станка наполнилась

#### 2.3.4. Определение вспомогательных функций системы управления

Логические функции представляют собой конъюнкцию командных, внутренних переменных системы. Также в логической функции состояния одного исполнительного элемента могут присутствовать логические функции состояний других исполнительных элементов ГАУ. Все логические функции системы основаны на булевых (логических, бинарных) переменных, используемых в дискретной математике.

Разберем подробно процесс формирования некоторых логических функций исполнительных элементов ГАУ. При этом используются обозначения приведенные в п. п. 2.3.1, 2.3.2.

Функция загрузки заготовки в станок 1 напольным роботом  
 Пусть напольный робот у станка 1 находится на текущем такте в состоянии бездействия (состояние СНП11) (см. табл. 2.10 – 2.12). Его переход в состояние загрузки станка (СНП12) может быть произведен в случае, если:

- на приемной позиции станка 1 уложена тара с заготовками ( $D5=1$ );
- станок 1 бездействует (состояние  $CC11=1$ );
- диспетчером установлено рабочее состояние ГАУ (кнопка  $SB = 1$ );
- диспетчером установлен код детали, обрабатываемой на ГАУ ( $K3 = 1$ );
- на станке загружена управляющая программа с кодом детали ( $CC13=1$ );
- ограждение рабочей зоны станка убрано ( $D19=0$ );
- в зоне работы роботов не находятся люди ( $D4=0$ ).

Определим название функции как «Разрешение на загрузку станка 1», или сокращенно РЗС1:

$$PZC1 = D5 \cdot CC11 \cdot SB \cdot K3 \cdot CC13 \cdot \overline{D19} \cdot \overline{D4} \quad (2.17)$$

где  $\overline{D19} \cdot \overline{D4}$  – инверсные значения сигналов с датчиков  $\overline{D19} \cdot \overline{D4}$ .

В случае, если функция РЗС1 принимает значение 1, вызывается локальная управляющая программа у напольного робота на загрузку станка 1.

Функция, разрешающая портальному роботу установить тару с готовыми

детальями на приемную позицию автоматизированного склада

Пусть порталный робот находится на текущем такте в состоянии бездействия (состояние СПР1) (см. табл. 9 и 10). Его пе-

переход в состояние загрузки приемной позиции автоматизированного склада (СПЗ) может быть произведен в случае, если:

- робот уже взял тару с одной из двух позиций разгрузки станка (состояние СПР6=1 или СПР7=1);
- диспетчером установлено рабочее состояние ГАУ (кнопка SB = 1);
- в зоне работы роботов не находятся люди (Д4=0);
- приемная позиция АС не загружена (Д3=0).

Определим название функции как «Разрешение на загрузку приемной позиции АС», или сокращенно РЗППАС:

$$РЗППАС = (СПР6 + СПР7) \cdot SB \cdot \overline{Д4} \cdot \overline{Д3}$$

(2.18)

В случае если функция РЗППАС принимает значение 1, вызывается локальная управляющая программа у портального робота на загрузку приемной позиции АС. Полный перечень логических функций ГАУ приведен в таблице 2.13.

Таблица 2.13

Вспомогательные логические функции ГАУ

№ п. п	Формула	Описание
1.	$\overline{Д3} \cdot \overline{Д4} = \overline{А5} \cdot \overline{НН11} \cdot SB \cdot \overline{СС13} \cdot \overline{К3} \cdot \overline{Д19} \cdot \overline{А4}$	Разрешение на загрузку МС1
2.	$\overline{Д3} \cdot \overline{Д4} = (\overline{НН16} + \overline{НН17}) \cdot SB \cdot \overline{А4} \cdot \overline{Д4}$	Разрешение на загрузку приемной позиции АС
3.	$\overline{Д3} \cdot \overline{Д2} = \overline{А10} \cdot \overline{НН21} \cdot SB \cdot \overline{К3} \cdot \overline{СС23} \cdot \overline{Д17} \cdot \overline{Д4}$	Разрешение на загрузку МС2
4.	$\overline{Д1} = \overline{А15} \cdot \overline{А19} \cdot \overline{А7} \cdot \overline{СШП11} \cdot SB$	Обработка детали на МС1
5.	$\overline{Д1} = \overline{А16} \cdot \overline{А17} \cdot \overline{А18} \cdot \overline{СШП21} \cdot SB$	Обработка детали на МС2
6.	$\overline{ДН1} = \overline{А7} \cdot \overline{Д8} \cdot \overline{А19} \cdot \overline{СШП11} \cdot SB$	Разгрузить МС1
7.	$\overline{ДН2} = \overline{А18} \cdot \overline{Д12} \cdot \overline{А17} \cdot \overline{СШП21} \cdot SB$	Разгрузить МС2
8.	$РЗПП1 = \overline{Д21} \cdot \overline{СШП11} \cdot \overline{Д5} \cdot \overline{Д4}$	Разрешить забрать тару с приемной позиции МС1

№ п. п	Формула	Описание
9.	$RЗПП2 = Д23 \cdot СНП21 \cdot \overline{Д4}$	Разрешить забрать тару с приемной позиции МС2
10.	$RЗППВ1 = Д22 \cdot Д8 \cdot СНП11 \cdot \overline{Д4}$	Разрешить забрать тару с позиции выгрузки МС1
11.	$RЗППВ2 = Д24 \cdot Д12 \cdot СНП21 \cdot \overline{Д4}$	Разрешить забрать тару с позиции выгрузки МС2
12.	$RППАС = (RЗППП1 + RЗППП2) \cdot \overline{Д3} \cdot \overline{Д4}$	Разрешить положить тару на приемную позицию АС
13.	$RППС = Д13 \cdot КЗ \cdot SB \cdot Д1$	Принять тару на склад
14.	$RВПС = \overline{Д14} \cdot КЗ \cdot SB \cdot Д1$	Выдать тару со склада
15.	$RКП = \overline{Д20} \cdot Д1 \cdot SB$	Комплектовать тару
16.	$RППК = Д20 \cdot Д1 \cdot SB$	Принять тару с комплектования

\*Примечание: Логическая переменная КЗ обозначает, что диспетчер на пульте установил кодовое значение детали, производимой в настоящий момент на ГАУ.

### 2.3.5. Сетевая модель управления ГАУ

Представим технологические циклы работы ГАУ в виде сетевых графов (рис. 2.16 – 2.18) в вершинах (окружностях) представляются номера (коды) состояний. Вершины соединяются стрелками, отражающими переходы из одного состояния в другое. Над стрелками записываются комбинации переменных, обуславливающих этот переход.

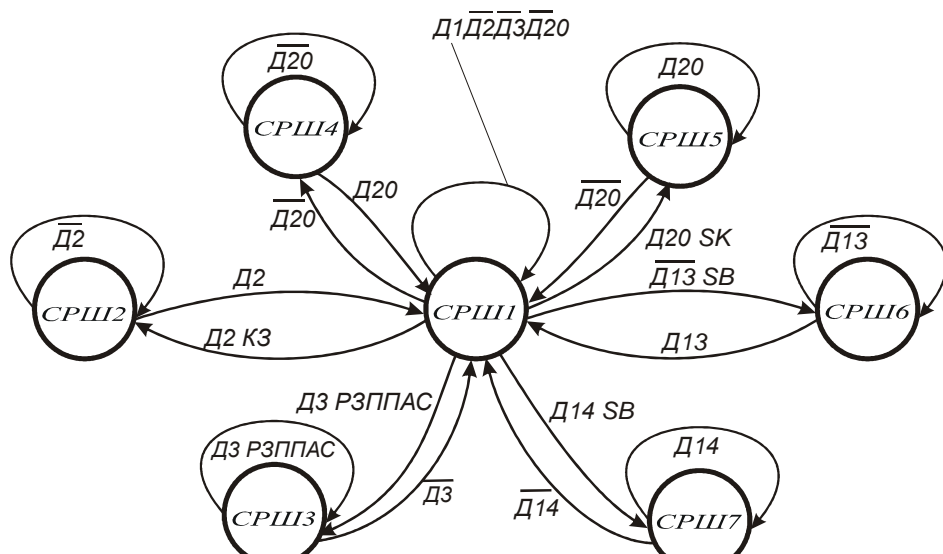


Рис. 2.16. Сетевая модель управления роботом-штабеллером

Логические функции управления роботом-штабеллером:

$$\begin{aligned}
 СРШ1 = & СРШ1 \cdot \overline{D1} \cdot \overline{D2} \cdot \overline{D3} \cdot \overline{D20} + СРШ2 \cdot D2 + СРШ3 \cdot \overline{D3} + \\
 & + СРШ4 \cdot D20 + СРШ5 \cdot \overline{D20} + СРШ6 \cdot D13 + СРШ7 \cdot \overline{D14}
 \end{aligned}$$

$$СРШ2 = СРШ2 \cdot \overline{D2} + СРШ1 \cdot D2 \cdot K3$$

$$СРШ3 = СРШ3 \cdot \overline{D3} \cdot РЗППАС + СРШ1 \cdot D3 \cdot РЗППАС$$

$$СРШ4 = СРШ4 \cdot \overline{D20} + СРШ1 \cdot D20$$

$$СРШ5 = СРШ5 \cdot \overline{D20} + СРШ1 \cdot D20$$

$$СРШ6 = СРШ6 \cdot \overline{D13} + СРШ1 \cdot D13 \cdot SB$$

$$СРШ7 = СРШ7 \cdot \overline{D14} + СРШ1 \cdot D14 \cdot SB$$

(2.19)

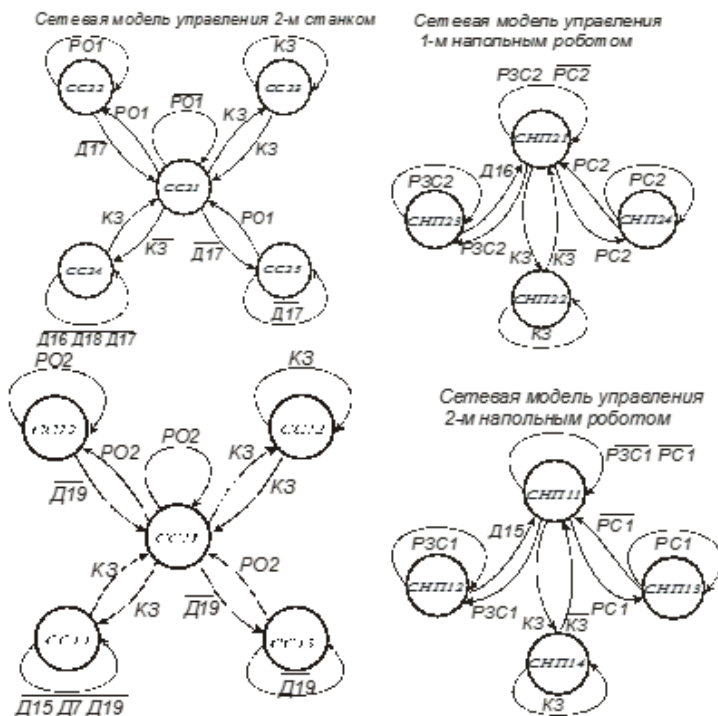
Управление станками и станочными комплексами  
 Имитационное моделирование технологических систем


Рис. 2.17. Сетевые модели управления элементами ГАУ

Рассмотрим для примера работу логической функции состояния СРШЗ роботаштабелера:

$$СРШЗ = СРШЗ \cdot ДЗ \cdot РЗПАС + СРШ1 \cdot ДЗ \cdot РЗПАС$$

Робот-штабелер переходит в состояние СРШЗ=1 (принять тару заданного кода с приемной позиции АС, см. табл. 2.11) если в единичное состояние перейдет одна из комбинаций логических переменных:

- $СРШЗ \cdot ДЗ \cdot РЗПАС$  – робот уже находился в состоянии СРШЗ=1 и датчик ДЗ=1 (есть тара с определенным типом деталей в загрузочной зоне, см. табл. 11) и РЗПАС=1 (Получено разрешение на загрузку приемной позиции АС, см. табл. 2.13);

- $СРШ1 \cdot ДЗ \cdot РЗПАС$  робот находился в состоянии бездействия СРШ1=1 и датчик ДЗ=1 (есть тара с определенным типом деталей в загрузочной зоне, см. табл. 11) и РЗПАС=1 (Получено разрешение на загрузку приемной позиции АС, см. табл.



2.13).

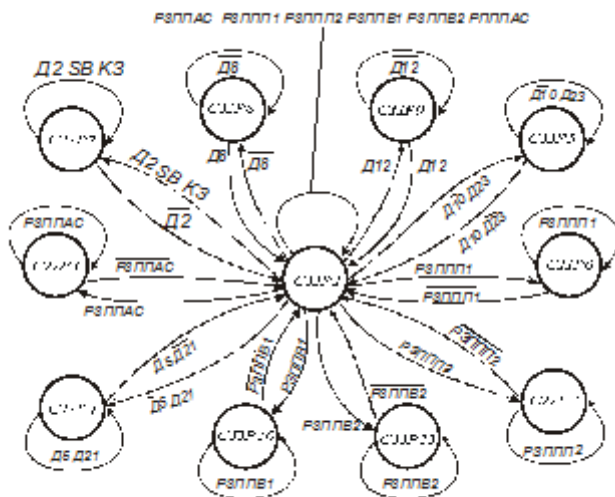


Рис. 2.18. Сетевая модель управления порталным роботом

Полученные сетевые графы могут быть использованы для наглядного отображения правил управления элементами ГАУ, а построенные по ним логические функции применяют при программировании логического контроллера для управления ГАУ.

## 2.4. Задание на выполнение самостоятельной работы

Для заданного набора автоматизированных элементов ГАУ составить общее описание их работы, определить набор состояний каждого элемента, произвести расстановку информационных датчиков, составить при необходимости вспомогательные логические функции работы системы управления ГАУ, представить работу не менее двух элементов ГАУ в виде сетевых графов и определить для этих элементов набор логических функций управления. При желании студент имеет право включать дополнительные элементы в состав ГАУ. Варианты заданий приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.14  
Варианты заданий

№№ варианта	Состав автоматизированных элементов ГАУ*
1.	М1С, М2С, НР1, ТС1, ТС2
2.	ОЦ1, ОЦ2, АС, ПР
3.	М1С1, М1С2, ПР, АС
4.	НР, УСС, ОЦ1, ОЦ2, ТС
5.	КИМ, НР, ОЦ, ПЗ, ПВ
6.	НР, УСС, ТС, М1С, ПВ
7.	ПЗ, ТС, ПР, М1С, М2С,
8.	ОЦ1, ОЦ2, НСЛ, ПР
9.	ОЦ1, ОЦ2, АС, НР1, НР2
10.	ПР, УСС, ОЦ, ТС
11.	ОЦ, АС, ПЗ, ПВ, НР
12.	М1С1, М1С2, ПР, АС
13.	М2С, НР, ТС, ПВ
14.	ОЦ1, ОЦ2, НСК1, НСК2, РТ
15.	М1С, М2С, ПЗ, ПВ, НР
16.	НСЛ, РТ, ОЦ1, М2С
17.	ТС, НР, М2С1, М2С2
18.	АС, РТ, НР, М2С
19.	ТС1, ТС2, НР, М2С
20.	ОЦ, НСК, РТ, АС

Перечень применяемых сокращений:

Обработка центр	ОЦ		
Многоцелевой токарный одношпиндельный станок			М1С
Многоцелевой токарный двухшпиндельный станок			М2С
Напольный робот	НР		
Портальный робот	ПР		
Роботизированная тележка		РТ	
Позиция загрузки	ПЗ		
Позиция выгрузки	ПВ		
Тактовый стол	ТС		
Автоматизированный склад		АС	
Накопитель спутников линейный			НСЛ
Накопитель спутников круговой			НСК
Устройство смены схватов		УСС	
Контрольно-измерительная машина			КИМ



Контрольноизмерительная машина

КИМ

## 2.5. Контрольные вопросы

1. Что такое СКНФ, СДНФ?
2. Зачем производится минимизация СДНФ?
3. Отличия последовательных и комбинационных автоматов?
4. Назначение дешифратора в схеме на рис. 2.8?
5. Определите логическую функцию перехода в состояние СПР11 на рис. 2.18?
6. Определите логическую функцию перехода в состояние СНП14 на рис. 17?
7. Дайте текстовое описание функции РППАС в табл. 2.13
8. Дайте текстовое описание функции РЗС2 в табл. 2.13
9. Запишите логические функции управления бункерами Б2 и Б3 из п. 2.2.
10. Перечислите основные этапы формализации технологического цикла и дайте пояснения по каждому этапу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии приводятся сведения, необходимые для проектирования систем управления автоматизированными технологическими комплексами, что входит в перечень необходимых знаний и умений бакалавров и магистров по направлениям подготовки 15.03.05/15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств. Работа автоматизированного технологического комплекса всегда подчиняется определенной логике, которую необходимо задавать на этапе проектирования системы управления. Надеемся, что данное пособие поможет бакалаврам и магистрантам получить необходимые теоретические знания и практические навыки в области управления комплексами современного технологического оборудования.

## РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления Учебное пособие. СПб. СЗТУ 2006184 с. 5
2. Кузьмин А.В., Схиртладзе А.Г. Анализ и синтез систем автоматического управления. Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 196 с.
3. Лебедев А.Р. Технология программирования высокого

уровня для СЧПУ металлорежущими станками,  
<http://de.donstu.ru/CDOCourses/7ec7b2e587114978973b2da80002f63b/1077/808/index.html>

4. Ратмиров В.А. Управление станками гибких производственных систем. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.: ил.

5. Сосонкин В.Л. Программное управление технологическим оборудованием. М.: Машиностроение, 1991