



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Авиационный колледж

**Методические указания**  
к курсовой работе по  
**МКД 01.01. Технология формирования систем  
автоматического управления типовых техно-  
логических процессов, средств измерений,  
несложных мехатронных устройств и систем**

Автор  
Смирнов Ю. А.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Методические указания к курсовой работе по МКД 01.01. Технология формирования систем автоматического управления типовых технологических процессов, средств измерений, несложных мехатронных устройств и систем предназначены для студентов всех форм обучения специальностей 15.02.07. Автоматизация технологических процессов и производств

## Автор



**Кандидат технических наук,  
доцент, преподаватель 1 кате-  
гории авиационного колледжа  
ДГТУ Смирнов Юрий Алексан-  
дрович.**



## Содержание

1. Темы типовых курсовых проектов для учебной группы 3-13 АТП по МДК 01.01.....	6
2. Проекты автоматизации типовых технологических процессов и систем жилищно-коммунального хозяйства.....	8
2.1. Введение.....	8
2.2. Двухтрубная система отопления, зависимая. Закрытая система горячего водоснабжения. (Регулятор ECL Comfort 200 с картой P30).....	12
2.3. Двухтрубная система отопления, независимая. Закрытая система горячего водоснабжения. (Регулятор ECL Comfort 300 с картой C66).....	21
2.4. Двухтрубная система отопления, зависимая. Открытая система горячего водоснабжения (Регулятор ECL 9600).....	31
2.5. Системы отопления - радиаторная и напольное отопление, схема подключения - независимая. Закрытая система горячего водоснабжения. (Регулятор ECL Comfort 300 с картой C60).....	38
2.6. Двухтрубная система отопления. Закрытая система горячего водоснабжения. Теплоснабжение на основе котла (бойлера) (Регулятор ECL Comfort 300 с картой C25).....	47
2.7. Двухтрубная система отопления, независимая. Закрытая система горячего водоснабжения. (Регулятор ECL Comfort 200 с картой P30).....	58
2.8. Двухтрубная система отопления. Закрытая система горячего водоснабжения. Теплоснабжение на основе котла (бойлера) (Регулятор ECL Comfort 200 с картой P30).....	59
2.9. Двухтрубная система отопления. Закрытая система горячего водоснабжения. Теплоснабжение на основе котла (бойлера) (Регулятор ECL Comfort 300 с картой C66).....	65
2.10. Системы отопления - радиаторная и напольное отопление. Закрытая система горячего водоснабжения. Теплоснабжение на основе котла (бойлера) (Регулятор ECL Comfort 300 с картой C75).....	71
2.11. Система вентиляции с регулированием температуры приточного воздуха.....	78
2.12. Система вентиляции с регулированием постоянной температуры воздуха в помещении.....	84
2.13. Вентиляционная система с рециркуляцией вытяжно-	

го воздуха.....	92
2.14. Приточная вентиляционная установка с воздухо-нагревателем и воздухоохладителем.....	101
2.15. Вентиляционная система с утилизацией тепла вытяжного воздуха.....	108
2.16. Система с воздушно-отопительными агрегатами и регулированием постоянной температуры воздуха в помещении.....	115
2.17. Система воздушного охлаждения помещения с воздушно-охладительными агрегатами.....	122
2.18. Холодильная камера.....	128
3. Характеристика функциональной схемы типовой системы автоматизации как совокупности контуров автоматического регулирования технологического параметра.....	135
4. Математическое моделирование системы автоматического регулирования технологического параметра методом передаточных функций	
4.1. Составление упрощенных схем системы автоматического Регулирования.....	148
4.2. Передаточные функции объекта регулирования, элементов системы автоматического регулирования и ее структурной схемы.....	170
5. Компьютерные технологии решения задач управления в среде MATLAB.....	173
5.1. Задачи управления.....	173
5.2. Функции MATLAB для создания передаточных функций звеньев системы.....	174
5.3. Функция tf().....	174
5.4. Функции pole() и zero().....	176
5.5. Функция conv().....	178
5.6. Функция polyval().....	179
5.7. Операции с передаточными функциями звеньев.....	180
5.8. Сложение передаточных функций.....	180
5.9. Функция pzmap().....	182
5.10. Функция series().....	185
5.11. Функция parallel ().....	186
5.12. Функция feedback().....	187
5.13. Функция minreal().....	190
5.14. Исследование переходных процессов в системах Управления.....	191
5.15. Сложение передаточных функций	
5.16. Функция pzmap().....	182
5.17. Функция series().....	185

5.18. Функция parallel().....	186
5.19. Функция feedback().....	187
5.20. Функция minreal().....	190
5.21. Исследование переходных процессов в системах управления.....	191
5.26. Функция step().....	192
5.27. Частотные характеристики системы.....	194
5.28. Амплитудно-фазовая характеристика системы.....	196
5.29. Диаграмма Никольса.....	198
5.30. Пример анализа динамики системы управления.....	199
5.31. Образование передаточной функции разомкнутой системы.....	200
5.32. Определение нулей и полюсов передаточной функции $G(S)$ .....	201
5.32. Расположение нулей и полюсов на комплексной плоскости.....	202
5.33. Анализ устойчивости системы.....	202
5.34. Исследование качества переходного процесса.....	202
5.35. Получение передаточной функции замкнутой системы.....	203
5.36. Определение нулей и полюсов передаточной функции замкнутой системы и расположение их на комплексной плоскости.....	204
5.37. Переходные процессы замкнутой системы с жесткой отрицательной обратной связью.....	204
5.38. Исследование устойчивости и качества переходных процессов системы управления при гибкой отрицательной обратной связи.....	205
5.38. Индивидуальные задания для исследования динамики систем управления.....	205
5.39. Задание 1.....	206
5.40. Задание 2.....	210
Постановка задачи.....	210
Варианты индивидуальных заданий и передаточных функций.....	210
6. Библиографический список.....	213

## 1. Темы типовых курсовых проектов для учебной группы 3-13

### АТП по МДК 01.01

#### ТЕМАТИКА

курсового проекта студентов учебной группы 3-13 АТП по МДК 01.01. Технология формирования систем автоматического управления типовых технологических процессов, средств измерений, несложных мехатронных устройств и систем специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям) в 2017-2018 учебном году

№ п\п	Тема курсового проекта	ФИО студента Дата, подпись	Ф.И.О. руководителя
1	Автоматизация двухтрубной зависимой системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения (Регулятор серии ECL Comfort 200 с картой P30)	Якубович В. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
2	Автоматизация двухтрубной независимой системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения. (Регулятор серии ECL Comfort 300 с картой C66)	Советов Е. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
3	Автоматизация двухтрубной зависимой системы отопления и открытой системы горячего водоснабжения (Регулятор серии ECL 9600)	Снегирев А. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
4	Автоматизация радиаторной и независимой напольной систем отопления и закрытой системы горячего водоснабжения (Регулятор серии ECL Comfort 300 с картой C60)	Семенов С. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
5	Автоматизация двухтрубной системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения с теплоснабжением на основе котла (бойлера) (Регулятор серии ECL Comfort 300 с картой C25)	Самота А. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
6	Автоматизация двухтрубной независимой системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения (Регулятор серии ECL Comfort 200 с картой P30)	Садченко А. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
7	Автоматизация двухтрубной системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения с теплоснабжением на основе котла (бойлера) (Регулятор серии ECL Comfort 200 с картой P30)	Рудова В. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
8	Автоматизация двухтрубной системы отопления	Про-	Смир-

	и закрытой системы горячего водоснабжения с теплоснабжением на основе котла (бойлера) (Регулятор серии ECL Comfort 300 с картой C66)	копенко А. 19.09. 17	нов Ю.А.
9	Автоматизация радиаторной и напольной систем отопления и закрытой системы горячего водоснабжения с тепло-снабжением на основе котла (бойлера) (Регулятор серии ECL Comfort 300 с картой C75)	Просолова О. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
10	Автоматизация системы вентиляции с регулированием температуры приточного воздуха	Печковская Е. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
11	Автоматизация системы вентиляции с регулированием постоянной температуры воздуха в помещении	Осипова А. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
12	Автоматизация вентиляционной системы с рециркуляцией вытяжного воздуха	Кузнецова Е. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
13	Автоматизация приточной вентиляционной установки с воздухонагревателем и воздухоохладителем	Кудряшов Д. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
14	Автоматизация вентиляционной системы с утилизацией тепла вытяжного воздуха	Кудинова А. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
15	Автоматизация системы с воздушно-отопительными агрегатами и регулированием постоянной температуры воздуха в помещении	Костина К. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
16	Автоматизация системы воздушного охлаждения помещения с воздушно-охладительными агрегатами	Дмитриева В. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
17	Автоматизация двухтрубной зависимой системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения (Регулятор серии ECL Comfort 200 с картой P30)	Витюк Э. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
18	Автоматизация двухтрубной независимой системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения. (Регулятор серии ECL Comfort 300 с картой C66)	Артеменко А. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
19	Автоматизация двухтрубной зависимой системы отопления и открытой системы горячего водо-	Алыбина К.	Смирнов Ю.А.

	снабжения (Регулятор серии ECL 9600)	19.09. 17	
20	Автоматизация радиаторной и независимой напольной систем отопления и закрытой системы горячего водоснабжения (Регулятор серии ECL Comfort 300 с картой C60)	Алферов В. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
21	Автоматизация двухтрубной системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения с теплоснабжением на основе котла (бойлера) (Регулятор серии ECL Comfort 300 с картой C25)	Алейников Д. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.
22	Автоматизация двухтрубной независимой системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения (Регулятор серии ECL Comfort 200 с картой P30)	Агафонов П. 19.09. 17	Смирнов Ю.А.

## **2. Проекты автоматизации типовых технологических процессов и систем жилищно-коммунального хозяйства**

### **2.1. Введение**

#### **2.1.1. Задание на проект**

В первом разделе практикума представлены семнадцать базовых проектов автоматизации типовых технологических процессов систем отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха жилищно-коммунального хозяйства.

Базовые проекты автоматизации систем разработаны на основе оборудования, выпускаемого фирмой Данфосс и предлагаемых ими принципиальных схем автоматизации.

Базовые проекты оформлены в соответствии с требованиями нормативной и технической документации.

Пояснительные записки каждого базового проекта содержат задание и разделы на проект в следующем составе:

1. Исходные данные для проектирования.
  - 1.1. Характеристика систем.
  - 1.2. Обоснование разработки автоматизации систем.
  - 1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики.
2. Описание функциональной схемы автоматизации.
3. Приборы и средства автоматики .
  - 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики.



3.2. Расчет экономической эффективности установки приборов и средств автоматики.

4. Графическая часть проекта.

4.1. Функциональная схема автоматизации.

Приведенные проекты автоматизации являются базовыми для дальнейшего выполнения студентами дипломного проектирования по автоматизации систем отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха жилищно-коммунального хозяйства.

### 2.2.2. Принятые на схемах условные обозначения фирмы Данфосс

Принятые на схемах условные обозначения приведены в табл. 1.

Таблица 1

<b>Условные обозначения на схемах</b>	
Условное обозначение	Описание
<i>Радиаторные терморегуляторы</i>	
RTD	Термостатические элементы типа RTD для установки на клапаны RTD-N; RTD-G; RTD-K; RTD-KE
RTD-N RTD-K	Корпус клапана RTD-N и радиаторный элемент RTD-K для <i>двухтрубной</i> системы отопления
RTD-G RTD-KE	Корпус клапана RTD-G и радиаторный элемент RTD-KE для <i>однотрубной</i> системы отопления
RLV	Запорный клапан для отключения отопительного прибора
<i>Погодные компенсаторы серии ECL</i>	
ECL	Погодный компенсатор (электронный регулятор)
ECL Com- fort 100M и 100B	Одноканальные регуляторы для системы отопления
ECL Com- fort 200	Одноканальный регулятор для системы отопления либо системы горячего водоснабжения. Переключение с одного варианта применения на другой осуществляется с помощью кнопок и информационных карт.
ECL Com- fort 300	Универсальный двухканальный регулятор для управления системой отопления и системой ГВС, либо двумя системами отопления. Переключение с одного варианта применения на другой осуществляется автоматически за счет считывания информации с чипа, который находится на карте, соответствующей варианту применения.
ECL 2000	Трехканальный регулятор температур для двух систем отопления и одной системы ГВС
<i>Датчики для погодных компенсаторов ECL-платиновые термометры сопротивления</i>	
ESMT;	

ESMR/-F; ESM-10	Датчик температуры внутреннего или наружного воздуха
ESM-11	Датчик поверхностный для измерения температуры теплоносителя
ESMA/-U	Датчик погружной
ESMB	Датчик универсальный для установки на трубе или плоской поверхности

**Клапаны регулирующие двухходовые и трехходовые**

VS2; VM2; VB2; VF2	Клапан моторный регулирующий двухходовой, предназначен для установки с приводами AMV(E)
VF3; VMV; VRB(G)3	Клапан моторный регулирующий трехходовой, предназначен для установки с приводами AMV(E)
HRE	Трехходовой поворотный регулирующий клапан на внутренней резьбе, предназначен для установки с приводами AMB

**Электроприводы**

AMV; AME	Редукторные электроприводы для клапанов VS2; VM2; VB2; VF2; VF3; VMV; VRB(G)3. Приводы могут управляться сигналами электронных регуляторов серии ECL Comfort и ECL 2000 или других совместимых устройств. Приводы серии AMV управляются импульсным сигналом, а серии AME – модулированным сигналом по току или напряжению
----------	---

*Регуляторы прямого действия*

AVTB	Регулятор температуры для установки на трубопроводе
FJV	Регулятор температуры прямого действия (ограничитель температуры обратной воды) с внутренней резьбой
AVP, AFP IVD/IVF	Регулятор перепада давления прямого действия
AVPB; AFPB	Модифицированный регулятор перепада давления с ограничением предельного расхода теплоносителя
AVPQ; AFPQ	Модифицированный регулятор перепада давления с регулированием расхода теплоносителя
AVDO	Перепускной клапан – пружинный регулятор давления, предназначен для установки на обводной линии циркуляционных насосов или на обводной линии циркуляционных насосов небольшой системы теплоснабжения

**2.2.3. Варианты применения электронных регуляторов серий ECL Comfort и ECL 2000 фирмы Данфосс**

Таблица 2.

**Варианты применения электронных регуляторов серий ECL Comfort и ECL 2000**

Тип прибора	Варианты применения	№ карты
-------------	---------------------	---------

ра		
ECL Comfort 100M	Управление системами отопления с индивидуальным котлом (горелка, насос)	-
ECL Comfort 100B	Управление системами отопления при централизованном теплоснабжении (клапан, насос)	-
ECL Comfort 200	Управление системами ГВС при централизованном теплоснабжении со скоростным водонагревателем (клапан, насос)	P16
	Управление системами ГВС при централизованном теплоснабжении со скоростным водонагревателем и баком-аккумулятором (клапан, 2 насоса)	P17
	Управление системами отопления с индивидуальным котлом (горелка, насос)	P20
	Управление системами отопления при централизованном теплоснабжении (клапан, насос)	P30
ECL Comfort 300	Управление охлаждающей установкой (клапан, насос, вентилятор)	C13
	Управление вентиляционной установкой (клапаны, вентилятор, воздушные заслонки)	C14
	Управление системами отопления и ГВС с индивидуальным котлом и емкостным водонагревателем (горелка, 2 насоса)	C 25
	Управление системами отопления и ГВС при централизованном теплоснабжении с емкостным водонагревателем (клапан, 2 насоса)	C 35
	Управление системами отопления и ГВС при централизованном теплоснабжении с емкостным водонагревателем и баком-аккумулятором (клапан, 3 насоса)	C 37
	Управление двумя системами отопления и ГВС с индивидуальным котлом и емкостным водонагревателем (горелка, клапан, 3 насоса)	C 55
ECL Comfort 300	Управление двумя системами отопления при централизованном теплоснабжении ( 2 клапана, 2 насоса)	C 60
	Управление системами отопления и ГВС при централизованном теплоснабжении со скоростным водонагревателем (2 клапана, 2 насоса)	C 66
	Управление двумя системами отопления и ГВС с двумя индивидуальными котлами и емкостным водонагревателем (2 горелки, клапан, 3 насоса)	C 75
	Управление системами отопления с четырьмя индивидуальными котлами (4 горелки, насос)	C 80
	Управление системами отопления и ГВС с тремя индивидуальными котлами и емкостным водонагревателем (3 горелки, 2 насоса)	C 85
ECL	Управление сочетанием (17 вариантов) одной	-

2000	или двух систем отопления и системами ГВС при централизованном теплоснабжении
------	---

### 1.1. Двухтрубная система отопления, зависимая. Закрытая система горячего водоснабжения. (Регулятор ECL Comfort 200 с картой P30)

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы отопления и горячего водоснабжения: **двухтрубная система отопления, зависимая; закрытая система горячего водоснабжения.**

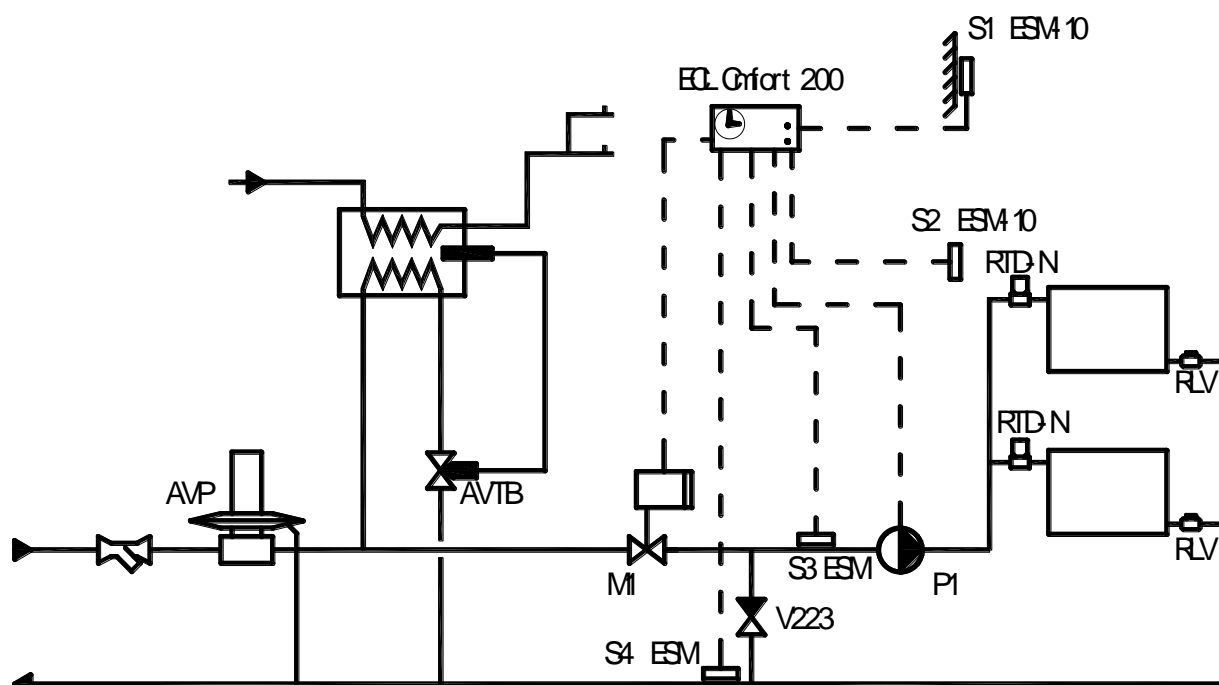


Рис. 1.1. Принципиальная схема автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Схема автоматизации с регулятором ECL-Comfort 200 с картой P30 (ПИ-регулирование S3 и S4), управляющим насосом и клапаном на системе отопления. Горячее водоснабжение регулируется клапаном прямого действия.

- Тепловая мощность системы отопления – 0, 05 Гкал/час.
- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.

- Количество отопительных приборов в здании – 39 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,05 Гкал/час

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика систем отопления и горячего водоснабжения

Теплоснабжение многоквартирного дома с непосредственным присоединением к тепловым сетям (зависимая система). В задании принята двухтрубная система отопления с нижней разводкой, схема движения теплоносителя – тупиковая, с искусственной циркуляцией теплоносителя.

Система горячего водоснабжения закрытая.

### 1.2. Обоснование автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Автоматизация системы отопления и горячего водоснабжения разработана в соответствии с требованиями [3, 4, 5].

Параметры теплоносителя и воздуха **контролируются** в следующих точках систем [3, п. 9.7]:

а) внутреннего теплоснабжения - температуру (поз.6) и давление (поз.5) теплоносителя в общих подающем и обратном трубопроводах;

б) отопления с местными отопительными приборами - температуру воздуха в контрольных помещениях, тв (поз. 4).

Показывающие манометры и термометры согласно [5, п.8.11] предусмотрены на входе и выходе трубопроводов греющей и нагреваемой воды для водоподогревателя системы горячего водоснабжения.

Показывающие манометры согласно [5, п.8.12] предусмотрены перед всасывающими и после нагнетательных патрубков насосов.

Приборы **дистанционного контроля** согласно [3, п.9.8.] предусмотрены для измерения основных параметров: температуры теплоносителя (поз.7) в общих подающем и обратном трубопроводах и температуры воздуха в контрольных помещениях, тв (поз. 9).

**Сигнализация** о работе оборудования, [3, п.9.9], предусмотрена для циркуляционных насосов системы отопления (рабочая и аварийная).

Система теплоснабжения здания запроектирована с автоматическим **регулированием** теплового потока на систему отопления, согласно требованиям [3, п.3.12\*], т.к. расчетный расход теплоты здания более 50 кВт. Регулятор температуры прямого действия поддерживает заданную температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения [5, п.8.2].

Уровень экономии тепловой энергии в системе отопления определен по данным [14]. Уровень экономии тепловой энергии, при центральном регулировании температуры теплоносителя с учетом погодных условий и автоматическом снижении температуры в ночное время составляет 21 %; при установке термостатических вентилей на нагревательных приборах дополнительно 10 % [14].

### *1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики*

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Применяемые системы автоматики электрические.

Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Контролирующая ЭВМ установлена в кабинете главного инженера.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров **регулирования** подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Регулирование температуры воздуха в помещении осуществляется радиаторным термостатом (поз.1). Принцип его действия – манометрический. Термостат поддерживает заданную температуру воздуха в помещении в соответствии с выбранной температурной настройкой, изменяя расход теплоносителя через отопительный прибор.

Центральное регулирование на вводе осуществляется регулятором температуры **ECL Comfort 200 с картой P30** (поз.2). ECL Comfort 200 – электронный цифровой регулятор температуры, который настраивается для управления системой отопления при централизованном теплоснабжении с применением карты P30. Переключение регулятора на работу с картой P30 осуществляется с помощью его кнопок. Регулятор поддерживает температуру теплоносителя (ПИ-регулирование), поступающего в систему отопления в зависимости от температуры наружного воздуха (поз.2.3) в соответствии с установленным температурным графиком. Температура теплоносителя поддерживается посредством изменения соотношения расходов теплоносителя в системе отопления с помощью двухходового клапана

(поз.2.6) с электроприводом (поз.2.7). Циркуляционный насос управляется с помощью реле.

Кроме этого, регулятор ECL Comfort 200 с картой P30 выполняет следующие функции:

- осуществляет регулирование с коррекцией по температуре воздуха в помещении (поз. 2.4);
- обеспечивает не превышение температуры обратного теплоносителя (поз.2.2) относительно графика качественного регулирования;
- поддерживает заданное снижение температуры воздуха в помещении по часам суток и дням недели;
- позволяет реализовать форсированный натоп помещений после снижения температуры внутреннего воздуха;
- автоматически отключает систему отопления на летний период при повышении температуры наружного воздуха выше заданного значения.

Основные настройки регулятора приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Основные настройки регулятора ECL Comfort 200 с картой P30**

Наименование	Диапазон настройки	Заводская настройка
Наклон температурного графика	От 0,2 до 3,4	1,8
Параллельное смещение температурного графика	От 9 до 9	0
Температура летнего отключения, (ПИ-регулирование), °С	От 10 до 30	18
Максимальное ограничение температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, °С	От 10 до 110	90
Минимальное ограничение температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, °С	От 10 до 110	40



Нейтральная зона, °С	От 0 до 9	3
Зона пропорциональности, °С	От 1 до 250	80
Время интегрирования, с	От 5 до 999	30
Постоянная времени клапана с электроприводом, с	От 5 до 250	35

Регулятор температуры прямого действия **AVTB** (поз.5) поддерживает постоянной температуру на горячее водоснабжения за счёт изменения расхода греющего теплоносителя. Комплект клапана AVTB состоит из термобаллона с капиллярной трубкой и клапана с регулирующей рукояткой.

Регулятор перепада давления на магистралях **AVP**, (поз. 8) является регулятором прямого действия для поддержания постоянства перепада давления на вводе. Регулятор закрывается при повышении перепада давления. Комплект AVP содержит клапан, регулируемую диафрагму, рукоятку для настройки перепада давления и медная импульсная трубка.

#### Система диспетчеризации и связи

В электронный регулятор ECL-Comfort 200 могут быть встроены коммуникационные модули для обеспечения связи с компьютером через LON и RS232.

Основные функции системы диспетчеризации и связи следующие:

- отображение мнемосхемы системы и её основных параметров ( $t_n$ ;  $t_b$ ;  $t_r$ ;  $t_o$ );
- мнемосхемы работы и дистанционного управления циркуляционными насосами системы отопления;
- графики (тренды) изменения параметров ( $t_n$ ;  $t_b$ ;  $t_r$ ;  $t_o$ );

- предоставление специализированной информации и формирование отчетов главному инженеру:
  - аварийная информация,
  - тренды реального времени,
  - значения критических уставок.

### 3. Приборы и средства автоматике

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматике

Спецификация на приборы и средства автоматике с указанием их стоимости в ценах на январь 2005 года приведена в табл. 1.2.

Таблица 1.2.

#### Спецификация на приборы и средства автоматике

№	Прибор	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель (продавец)
1	Радиаторный терморегулятор в комплекте:				
	1.1. Термостатический элемент 3120 с защитой от неуме лого обращения, со встроенным датчиком, с защитой от мороза и устройством для ограничения и фиксирования температурной настройки. Диапазон настройки 6-26°C	17,33			Данфосс
	1.2 Корпус клапана RTD-N15 прямой никелированный. Пропускная способность 0,04-0,63 м <sup>3</sup> /ч	9,4			
	ИТОГО:	26,73	39	1042,47	

2	Регулятор температуры ECL-Comfort 200 с кар-той P30 в комплекте:				
	2.1. Датчик температуры ESMU на общем трубопроводе погружной с гильзой	75,6 63,6			
	2.2. Датчик температуры ESMU на общем трубопроводе погружной с гильзой	75,6 63,6			
	2.3. Датчик температуры наружного воздуха ESMT	46,1			
	2.4. Датчик температуры внутреннего воздуха ESM-10	46,1			
	2.5. Регулятор ECL Comfort 200 с картой P30	340 23,1			
	2.6. Регулирующий клапан VS2 D15 $K_v=0,63$ м <sup>3</sup> /ч для применения с электроприводом AMV	91			
	2.7. Электропривод AMV для клапана VS2 D15...25мм	314,7			
	ИТОГО:	1139,4	1	1139,4	
3	Встроенные коммуникационные модули	300,0	1	300,0	
4	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический -50...+50, ТБ-1	20,7	1	20,7	АРК Энергосервис
5	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6;; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	8	111,84	WIKА, Германия; (Термия)
6	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	6	132	Тесоfi; Франция (Термия)
7	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
8	Регулятор перепада давления AVP	479,3	1	479,3	Данфосс
9	Датчик температуры для	14,3	1		Теплоком

	дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ			14,3	
10	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло		1	1 274	Теплоприбор
11	Регулятор температуры прямого действия AVTB-15 Kv=1,9 м <sup>3</sup> /ч	242,4	1	242,4	Данфосс

### 3.2. Определение экономической эффективности установки приборов и средств автоматики

А. Оценка экономической эффективности установки регулятора температуры ECL-Comfort 200 с картой P30:

Стоимость регулятора температуры ECL-Comfort 200 с картой P30 в комплекте в рублях:

$$C_{\text{рег.}} = 1139,4 \text{€} \cdot 36 \text{ руб/€} \cdot 1,18 = 48\,402 \text{ руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии (тариф на тепловую энергию  $Ст=792 \cdot 1,18 \text{ руб./Гкал}$ ) при уровне экономии тепловой энергии в системе отопления 21% [14]:

$$Q_{\text{год.1}} = 0,21 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot Ст = 0,21 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п.}} / t_{\text{в}} - t_{\text{в}}) \cdot Ст =$$

$$= 0,21 \cdot 24 \cdot 0,05 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 792 \cdot 1,18 = 28\,970 \text{ руб/год}$$

Срок окупаемости регулятора температуры:

$$T = C_{\text{рег.}} / Q_{\text{год.1}} = 48\,402 / 28\,970 = 1,7 \text{ года.}$$

В. Оценка экономической эффективности установки радиаторных терморегуляторов:

Стоимость радиаторных терморегуляторов в комплекте в рублях:

$$C_{\text{рад.рег.}} = 1042,47 \text{ €} \cdot 36 \text{ руб/€} \cdot 1,18 = 44\,280 \text{ руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии (тариф на тепловую энергию  $C_t=792 \cdot 1,18$  руб./Гкал) при уровне экономии тепловой энергии при установка термостатических вентилей на нагревательных приборах – 10 % [14] от остатка:

$$Q_{\text{год.2}} = 0,1 \cdot 0,79 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot C_t = 0,1 \cdot 0,79 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_v - t_{\text{от.п.}} / t_v - t_v) \cdot C_t = 0,1 \cdot 0,79 \cdot 24 \cdot 0,05 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 792 \cdot 1,18 = 10\,900 \text{ руб/год}$$

Срок окупаемости радиаторных терморегуляторов:

$$T = C_{\text{рад.рег}} / Q_{\text{год.2}} = 44\,280 / 10\,900 = 4,0 \text{ года.}$$

## 1.2. Двухтрубная система отопления, независимая. Закрытая система горячего водоснабжения. (Регулятор ECL Comfort 300 с картой С66)

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы отопления и горячего водоснабжения: **двухтрубная система отопления, независимая; закрытая система горячего водоснабжения.**

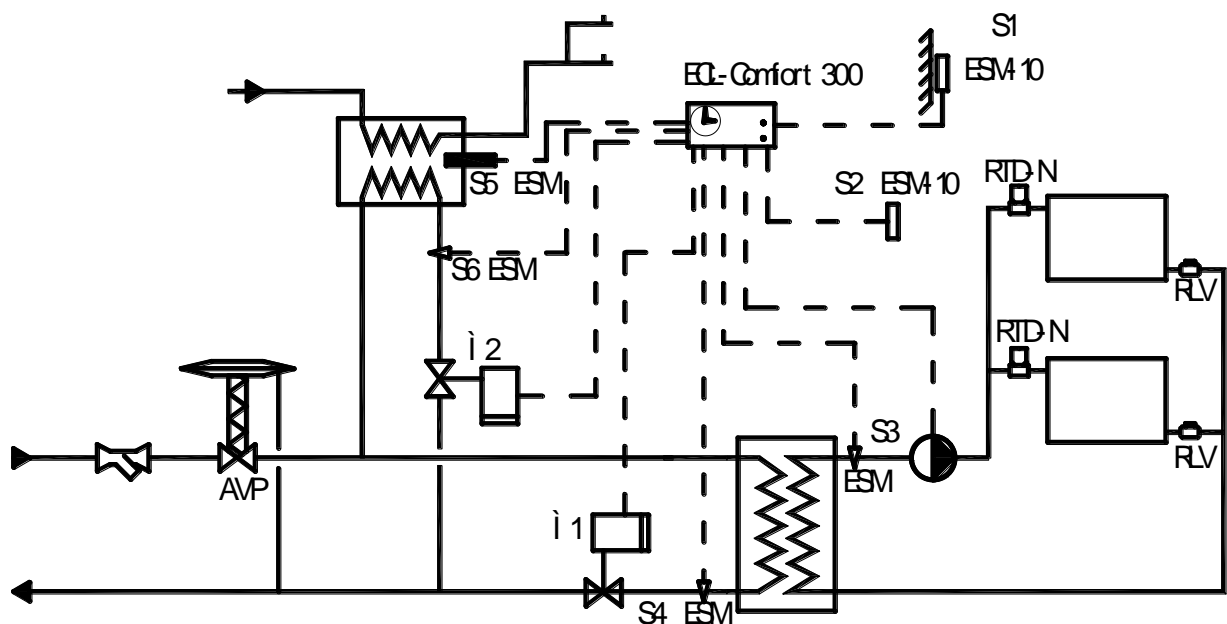


Рис. 2. Принципиальная схема автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Схема автоматизации с регулятором ECL-Comfort 300 с картой С66 (ПИ-регулирование S3 и S5), управляющим клапаном и насосом на системе отопления и клапаном на системе горячего водоснабжения.

- Тепловая мощность системы отопления – 0, 1 Гкал/час.
- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.
- Количество отопительных приборов в здании – 77 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,1 Гкал/час.

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика систем отопления и горячего водоснабжения

Система отопления: водяная; независимая; двухтрубная; с нижней разводкой; тупиковая.

Система ГВС: закрытая.

### 1.2. Обоснование автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Автоматизация системы отопления и горячего водоснабжения разработана в соответствии с требованиями [3, 4, 5].

Параметры теплоносителя и воздуха **контролируются** в следующих точках систем [3, п. 9.7]:

а) внутреннего теплоснабжения - температуру (поз.6) и давление (поз.5) теплоносителя в общих подающем и обратном трубопроводах;

б) отопления с местными отопительными приборами - температуру воздуха в контрольных помещениях, тв (поз. 4).

Показывающие манометры и термометры согласно [5, п.8.11] предусмотрены на входе и выходе трубопроводов греющей и нагреваемой воды для водоподогревателей систем отопления и горячего водоснабжения.

Показывающие манометры согласно [5, п.8.12] предусмотрены перед всасывающими и после нагнетательных патрубков насосов.

Приборы **дистанционного контроля** согласно [3, п.9.8.] предусмотрены для измерения основных параметров: температуры теплоносителя (поз.7) в общих подающем и обратном трубопроводах и температуры воздуха в контрольных помещениях, тв (поз. 9).

**Сигнализация** о работе оборудования, [3, п.9.9], предусмотрена для циркуляционных насосов системы отопления (рабочая и аварийная).

Система теплоснабжения здания запроектирована с автоматическим **регулированием** теплового потока на систему отопления, согласно требованиям [3, п.3.12\*], т.к. расчетный расход теплоты здания более 50 кВт. Система автоматики поддерживает заданную температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения [5, п.8.2].

Уровень экономии тепловой энергии в системе отопления определен по данным [14]. При централизованном регулировании температуры теплоносителя на источнике с учётом погодных условий уровень экономии энергии составляет 26%, при установке термостатических тилей на нагревательных приборах дополнительно ещё 10 % [14].

### 1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Применяемые системы автоматики электрические.

Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Контролирующая ЭВМ установлена в кабинете главного инженера.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров **регулирования** подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Регулирование температуры воздуха в помещении осуществляется радиаторным термостатом (поз.1). Принцип его действия – манометрический. Термостат изменяет расход теплоносителя через отопительный прибор в зависимости от температуры воздуха в помещении. Диапазон настройки температуры 6... 26 $^{\circ}\text{C}$ , что позволяет применять радиаторные термостаты в помещениях различного назначения.

Центральное регулирование на вводе осуществляется регулятором температуры **ECL Comfort 300 с картой C66** (поз.2).

Электронный регулятор ECL-Comfort 300 универсальный двухканальный регулятор, предназначенный для одновременного управления системой отопления и системой ГВС. Настройка регулятора осуществляется автоматически за счет считывания ин-



формации с чипа, который находится на карте, соответствующей варианту применения.

Контур регулирования:

**1-й.** Система ГВС. Регулятор температуры ECL-Comfort 300 с картой С66 (поз.2.7) поддерживает заданную температуру воды, поступающей в систему горячего водоснабжения (поз.2.5) посредством изменения расхода греющего теплоносителя двухходовым клапаном (поз.2.8) с электроприводом (поз.2.9) и отслеживает температуру теплоносителя (поз. 2.6), возвращаемого на источник теплоты.

**2-й.** Система отопления. Регулятор (поз. 2.7) поддерживает температуру теплоносителя (ПИ-регулирование), поступающего в систему отопления (поз.2.1) в зависимости от температуры наружного воздуха (поз.2.3) в соответствии с установленным температурным графиком с коррекцией по температуре внутреннего воздуха (поз.2.4). Регулятор обеспечивает не превышение температуры обратного теплоносителя (поз.2.2) относительно графика качественного регулирования.

Кроме этого, регулятор ECL Comfort 300 с картой С66 выполняет следующие функции:

- поддерживает заданное снижение температуры воздуха в помещении и горячей воды в системе ГВС по часам суток и дням недели;
- позволяет реализовать форсированный натоп помещений после снижения температуры внутреннего воздуха;
- автоматически отключает систему отопления на летний период при повышении температуры наружного воздуха выше заданного значения.

Основные настройки регулятора приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Основные настройки регулятора ECL Comfort 300 с картой С66**

Наименование	Диапазон настройки	Заводская настройка
Наклон температурного графика	От 0,2 о 3,4	1,8
Параллельное смещение температурного графика	От 9 до9	0
Температура летнего отключения, (ПИ-регулирование), °С	От 10 до 30	18
Максимальное ограничение температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, °С	От 10 до 110	90
Минимальное ограничение температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, °С	От 10 до 110	40
Ограничение температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть, °С	От 10 до 110	40
Нейтральная зона, °С	От 0 до 9	3
Зона пропорциональности, °С	От 1 до 250	80
Время интегрирования, с	От 5 до 999	30
Постоянная времени клапана с электроприводом, с	От 5 до 250	35

Регулятор перепада давления на магистралях **AVP**, (поз. 8) является регулятором прямого действия для поддержания постоянства перепада давления на вводе. Регулятор закрывается при повышении перепада давления. Комплект AVP содержит клапан, регулирующую диафрагму, рукоятку для настройки перепада давления и медная импульсная трубка.

*Система диспетчеризации и связи*

Электронный регулятор ECL-Comfort 300 используется как контроллер в системе дистанционного компьютерного управления [35] в структурной схеме контроллера Comfort Com.

*Основные функции системы диспетчеризации и связи следующие:*

- Отображение мнемосхемы системы и её основных параметров ( $t_n$ ;  $t_B$ ;  $t_r$ ;  $t_{ГВС}$ ;  $t^0_{ГВС}$ ;  $t^0$ );
- Мнемосхемы работы и дистанционного управления циркуляционными насосами системы;
- Графики (тренды) изменения параметров ( $t_n$ ;  $t_B$ ;  $t_r$ ;  $t_{ГВС}$ ;  $t^0_{ГВС}$ ;  $t^0$ );
- Предоставление специализированной информации и формирование отчетов главному инженеру:
  - аварийная информация;
  - тренды реального времени;
  - значения критических уставок.

### 3. Приборы и средства автоматизации

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматизации

Спецификация на приборы и средства автоматизации с указанием их стоимости в ценах на январь 2005 года приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

#### Спецификация на приборы и средства автоматизации

№	Прибор	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель (продавец)
1	Радиаторный терморегулятор в комплекте:				
	1.1. Термостатический элемент 3120 с защитой от неумелого обращения, со встроенным датчиком, с защитой от мороза и устройством для ограничения и фиксирования температурной настройки. Диапазон настройки 6-26°C	17,33			Данфосс
	1.2 Корпус клапана RTD-N15 прямой	9,4			

	никелированный. Пропускная способность 0,04-0,63 м <sup>3</sup> /ч				
	ИТОГО:	26,73	77	2058,21	
2	Регулятор температуры ECL-Comfort 300 с кар-той C66 в комплекте:				
	2.1 Датчик температуры ESMU на подающем трубопроводе погружной с гильзой	75,6 63,6			
	2.2 Датчик температуры ESMU на обратном трубопроводе погружной с гильзой	75,6 63,6			
	2.3 Датчик температуры наружного воздуха ESMT	46,1			
	2.4 Датчик температуры внутреннего воздуха ESM- 10	46,1			
	2.5 Датчик температуры ESMU на ГВС погружной с гильзой	75,6 63,6			
	2.6 Датчик температуры ESMU на обратном трубопроводе ГВС погружной с гильзой	75,6 63,6			
	2.7 Регулятор ECL Comfort 300 с картой C66	376,2 130,5			
	2.8 Регулирующий клапан VS2 D15 K <sub>v</sub> =1,6 м <sup>3</sup> /ч для применения с электроприводом AMV	91			
	2.9 Электропривод AMV для клапана VS2 D15...25мм	314,7			
	2.10 Регулирующий клапан ГВС VS2 D15 K <sub>v</sub> =0,63 м <sup>3</sup> /ч для применения с электроприводом AMV	91			
	2.11. Электропривод AMV для клапана ГВС VS2 D15...25мм	314,7			
	ИТОГО:	1967,1	1	1967,1	
3	Комплект контроллера Comfort Com:	300,0	1	300,0	

	3.1. I-7188 3.2. Базовое программное обеспечение (Среда исполнения коммуникационного контроллера) 3.3. I-7017, 8-канальный модуль аналогового ввода 0-10В (4-20мА) 3.4. I-7041D, 14-канальный модуль дискретного ввода 0-24В, с встроенными индикаторами состояния входов 3.5. I-7042, 13-канальный модуль дискретного вывода 0-24В 3.6. Коммуникационный контроллер				
4	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический -50...+50, ТБ-1	20,7	1	20,7	АРК Энергосервис
5	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6;; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	8	111,84	WIKА, Германия; (Термия)
6.	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	6	132	Тесофи; Франция (Термия)
7.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
8.	Регулятор перепада давления АVP	479,3	1	479,3	Данфосс
9.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	14,3	Теплоком
10.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с		1	1 274	Теплоприбор

цифровой индикацией на табло				
---------------------------------	--	--	--	--

### 3.2. Определение экономической эффективности установки приборов и средств автоматики

А. Оценка экономической эффективности установки регулятора температуры ECL-Comfort 300 картой С66:

Стоимость регулятора температуры ECL-Comfort 300 картой С66 в комплекте в рублях:

$$C_{\text{рег.}} = 1967,1\text{€} \cdot 36 \text{ руб/€} \cdot 1,18 = 83\,560 \text{ руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии (тариф на тепловую энергию  $C_T=792 \cdot 1,18$  руб./Гкал) при уровне экономии тепловой энергии в системе отопления 21% [14]:

$$Q_{\text{год.1}} = 0,26 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot C_T = 0,26 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п.}} / t_{\text{в}} - t_{\text{в}}) \cdot C_T =$$

$$= 0,26 \cdot 24 \cdot 0,1 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 792 \cdot 1,18 = 71\,730 \text{ руб/год.}$$

Срок окупаемости регулятора температуры:

$$T = C_{\text{рег.}} / Q_{\text{год.1}} = 83\,560 / 71\,730 = 1,2 \text{ года.}$$

В. Оценка экономической эффективности установки радиаторных терморегуляторов:

Стоимость радиаторных терморегуляторов в комплекте в рублях:

$$C_{\text{рад.рег.}} = 2058,21\text{€} \cdot 36 \text{ руб/€} \cdot 1,18 = 87\,430 \text{ руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии (тариф на тепловую энергию  $C_T=792 \cdot 1,18$  руб./Гкал) при уровне экономии тепловой энергии при установка термостатических вентилей на нагревательных приборах – 10 % [14] от остатка:

$$Q_{\text{год.2}} = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot C_t = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п.}} / t_{\text{в}} - t_{\text{в}}) \cdot C_t = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot 0,1 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 792 \cdot 1,18 = 20\,415 \text{ руб/год.}$$

Срок окупаемости радиаторных терморегуляторов:

$$T = C_{\text{рад.рег}} / Q_{\text{год.2}} = 87\,430 / 20\,415 = 4,3 \text{ года.}$$

### 1.3. Двухтрубная система отопления, зависимая. Открытая система горячего водоснабжения (Регулятор ECL 9600)

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы отопления и горячего водоснабжения: **двухтрубная система отопления, зависимая; открытая система горячего водоснабжения.**

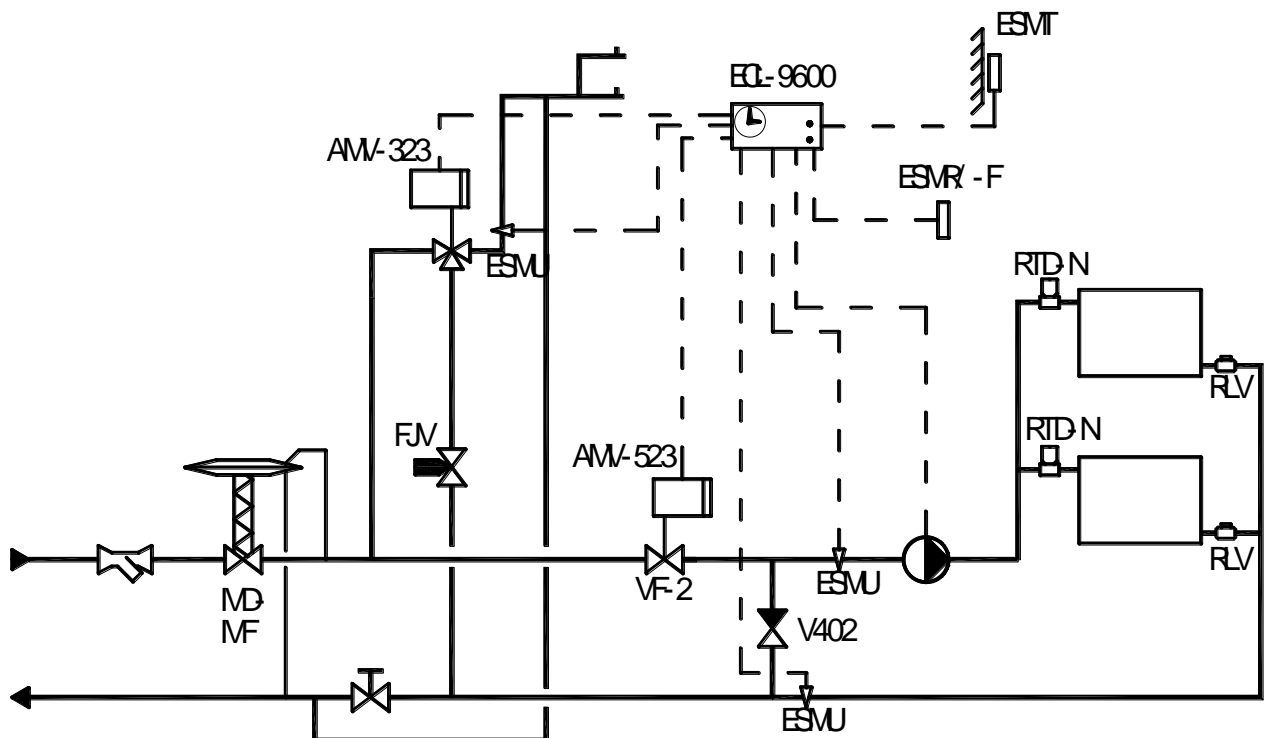


Рис. 3. Принципиальная схема автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Схема автоматизации с регулятором ECL-9600, управляющим насосом на системе отопления, клапаном на узле смешения и клапаном на системе отопления.

- Тепловая мощность системы отопления – 0,15 Гкал/час.

- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.
- Количество отопительных приборов в здании – 116 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,15 Гкал/час

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика систем отопления и горячего водоснабжения

Система отопления: водяная; зависимая; двухтрубная; с нижней разводкой; тупиковая.

Система ГВС: открытая; циркуляционная.

### 1.2. Обоснование автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Автоматизация системы отопления и горячего водоснабжения разработана в соответствии с требованиями [3, 4, 5].

Параметры теплоносителя и воздуха **контролируются** в следующих точках систем [3, п. 9.7]:

а) внутреннего теплоснабжения - температуру (поз.6) и давление (поз.5) теплоносителя в общих подающем и обратном трубопроводах;

б) отопления с местными отопительными приборами - температуру воздуха в контрольных помещениях, тв (поз. 4).

Показывающие манометры и термометры согласно [5, п.8.11] предусмотрены на входе и выходе трубопроводов греющей и нагреваемой воды для водоподогревателей систем отопления и горячего водоснабжения.



Показывающие манометры согласно [5, п.8.12] предусмотрены перед всасывающими и после нагнетательных патрубков насосов.

Приборы **дистанционного контроля** согласно [3, п.9.8.] предусмотрены для измерения основных параметров: температуры теплоносителя (поз.7) в общих подающем и обратном трубопроводах и температуры воздуха в контрольных помещениях, тв (поз. 9).

**Сигнализация** о работе оборудования, [3, п.9.9], предусмотрена для циркуляционных насосов системы отопления (рабочая и аварийная).

Система теплоснабжения здания запроектирована с автоматическим **регулированием** теплового потока на систему отопления, согласно требованиям [3, п.3.12\*] т.к. расчетный расход теплоты здания более 50 кВт. Система автоматики поддерживает заданную температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения [5, п.8.2].

Уровень экономии тепловой энергии в системе отопления определен по данным [14]. При централизованном регулировании температуры теплоносителя на источнике с учётом погодных условий уровень экономии энергии составляет 26%, при установке термостатических тилей на нагревательных приборах дополнительно ещё 10 % [14].

### 1.3.Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют

нормируемым значениям ( $t_v = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_v$  до 75%). Применяемые системы автоматики электрические.

Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Контролирующая ЭВМ установлена в кабинете главного инженера.

### 3. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматизации в спецификации.

Индивидуальное регулирование температуры воздуха осуществляется радиаторным термостатом (1). Принцип его действия – манометрический. Термостат поддерживает заданную температуру воздуха в помещении в соответствии с выбранной температурной настройкой, автоматически изменяя расход теплоносителя через отопительный прибор.

Центральное регулирование осуществляется регулятором температуры (2.6), путём поддержания температуры теплоносителя в подающем трубопроводе (датчик 2.1) согласно графику качественного регулирования с коррекцией по температуре внутреннего воздуха, которое реализуется посредством изменения расхода теплоносителя в системе отопления при помощи двухходового клапана (2.8) с электроприводом (2.7) или с помощью насосов, которые также обеспечивают постоянный подмес воды из обратного трубопровода и циркуляцию воды в системе. Кроме того, регулятор температуры (2.6) поддерживает постоянной температуру на горячее водоснабжение (датчик 2.4) за счёт изменения соотношения расходов смешиваемого

теплоносителя при помощи трёхходового клапана (2.10) с электроприводом (2.9).

Также в схеме присутствует регулятор перепада давления (3), который обеспечивает постоянный перепад давления на вводе, независимо от колебаний давления перед ним, тем самым обеспечивая стабильное регулирование в системе.

Индивидуальное регулирование температуры внутреннего воздуха осуществляется для двухтрубной системы с помощью радиаторных термостатов RTD-N (поз.1) и регулирующим трехходовым клапаном VMV 15(поз. 3,9) с электроприводом AMB-123 (поз.3.8) для системы напольного отопления. Принцип работы манометрический. Термостаты поддерживают заданную температуру воздуха в помещении в соответствии с выбранной температурной настройкой, изменяя расход теплоносителя через отопительный прибор.

Регулятор температуры ECL-9600 (поз.3) автоматически поддерживает параметры температуры по двум контурам: система отопления с местными отопительными приборами и система напольного отопления. Получая информацию о температуре внутреннего воздуха от датчика температуры внутреннего воздуха (поз.3.2) поддерживает заданное значение путем регулирования расхода сетевой воды на гребенке, при помощи двухходового клапана(поз.3.7) с электроприводом (поз.3.6). Получая информацию о температуре горячей воды от датчика температуры на подающем трубопроводе системы напольного отопления поддерживает ее температуру путем регулирования расхода сетевой воды при помощи трехходового клапана (поз.3.9) с электроприводом (поз.3.8). Датчик температуры для системы горячего водоснабжения установлен после водоподогревателя и связан с регулятором температуры AVTB (поз.5), который регулирует

ет расход сетевой воды через теплообменник, тем самым обеспечивая расчетную температуру теплоносителя на подающем трубопроводе системы ГВС.

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на декабрь 2004 года приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

#### Спецификация на приборы и средства автоматики

№	Наименование прибора	За единицу USA	Итого за единицу	Кол. на объект	Стоим. по объекту
1	<p>Радиаторный терморегулятор в комплекте:</p> <p>1.1 Термостатический элемент RTD-3120. Защищённый от неумелого обращения, со встроенным датчиком, с защитой от мороза и устройством для ограничения и фиксации температуры настройки</p> <p>1.2 Корпус клапана RTD-N прямой никелированный. Пропускная способность 0,04-0,63 м<sup>3</sup>/ч</p>	17,33			
		9,40			
2	<p>Регулятор температуры на систему отопления ECL-9600 в комплекте:</p> <p>2.1 Датчик температуры на подающем трубопроводе (теплоносителя) ESMU-100</p> <p>2.2 Датчик температуры обратной воды ESMU-100</p> <p>2.3 Датчик температуры наружного воздуха ESMT</p> <p>2.4 Датчик температуры на ГВС ESMU-100</p> <p>2.5 Датчик температуры внутреннего воздуха ESMR/F</p> <p>2.6 Регулятор ESL 9600</p> <p>2.7 Реверсивный привод регулирующего клапана серии AMV-523</p> <p>2.8 Клапан VF-2</p>				

	2.9 Реверсивный привод регулирующего клапана серии AMV-323				
3	Регулирующий блок с настроечным элементом IVD для установки на корпусе клапана IVF. 3.1 Регулирующий блок IVF Корпус клапана IVF				
4	Термометр				

### 3.2. Определение экономической эффективности установки приборов и средств автоматизации

А. Оценка экономической эффективности установки регулятора температуры ECL 9550.

Стоимость сэкономленной тепловой энергии ( $C_{т}=760$  руб./Гкал):

$$Q_{\text{год.1}} = 0,26 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot C_{т} = 0,26 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п.}} / t_{\text{в}} - t_{\text{v}}) \cdot C_{т} = 0,26 \cdot 24 \cdot 0,3 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 760 = 237850 \text{ руб/год.}$$

Стоимость регулятора температуры в рублях:

$$C_{\text{рег.}} = 3336 \text{ у.е.} \cdot 31 \text{ руб/у.е.} = 103\,416 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости регулятора температуры:

$$T = C_{\text{рег.}} / Q_{\text{год.1}} = 103416 / 237850 = 0,4 \text{ года.}$$

В. Оценка экономической эффективности установки радиаторных терморегуляторов:

Стоимость сэкономленной тепловой энергии ( $C_{т}=760$  руб./Гкал):

$$Q_{\text{год.1}} = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot C_{т} = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п.}} / t_{\text{в}} - t_{\text{v}}) \cdot C_{т} = 0,1 \cdot 0,69 \cdot 24 \cdot 0,3 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 760 = 46\,440 \text{ руб/год.}$$

Стоимость радиаторных терморегуляторов в рублях:

$$C_{\text{рег.}} = 7474 \text{ у.е.} \cdot 31 \text{ руб/у.е.} = 231\,694 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости радиаторных терморегуляторов:

$$T = C_{\text{рег.}} / Q_{\text{год.1}} = 231694 / 46\,440 = 4,9 \text{ года.}$$

### 1.4. Системы отопления - радиаторная и напольное отопле- ние, схема подключения - независимая. Закрытая систе- ма горячего водоснабжения. (Регулятор ECL Comfort 300 с картой С60)

*Задание №4:* Разработать проект автоматизации заданной си-  
 стемы отопления и горячего водоснабжения: **системы отопле-  
 ния - радиаторная и напольное отопление, схема подклю-  
 чения – независимая; закрытая система горячего водо-  
 снабжения.**

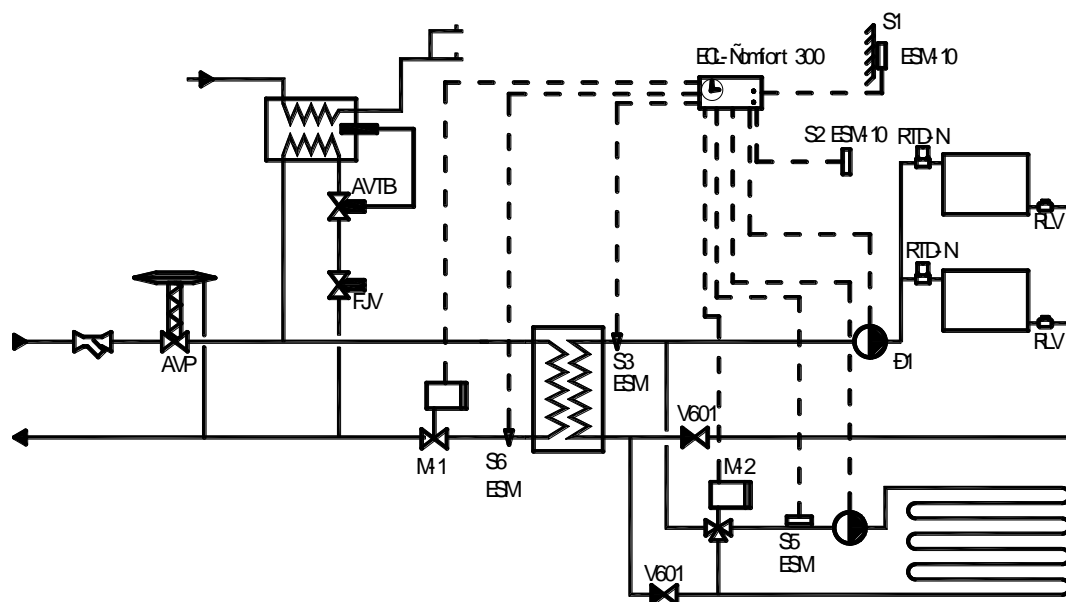


Рис. 4. Принципиальная схема автоматизации систем отопления и  
 горячего водоснабжения

Схема автоматизации с регулятором ECL-Comfort 300 с картой С60 (ПИ-  
 регулирование S3 и S5), управляющим клапаном перед  
 теплообменником, насосом на системе радиаторного отопления,  
 смесительным клапаном и насосом на системе напольного отопления.  
 Система горячего водоснабжения регулируется клапаном прямого  
 действия.

- Тепловая мощность системы отопления – 0,2 Гкал/час.
- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.

- Количество отопительных приборов в здании – 155 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,2 Гкал/час

## **1. Исходные данные для проектирования**

### **1.1. Характеристика системы отопления**

Теплоснабжение многоквартирного дома/коттеджа, присоединенного к тепловым сетям через теплообменник.

Дом оснащен двухтрубной системой водяного отопления с нижней разводкой, тупиковой, с независимым присоединением к тепловым сетям через теплообменник. Система насосная. Используется система «Теплый пол».

Система горячего водоснабжения закрытая. Присоединение к тепловым сетям осуществляется через водоподогреватель.

### **1.2. Обоснование разработки автоматизации системы отопления**

Автоматизация системы отопления разрабатывается в соответствии с требованиями [3]. Уровень автоматизации и контроля систем выбираются в зависимости от технологических требований, экономической целесообразности и согласно п.9.6[3].

Параметры теплоносителя и воздуха необходимо контролировать в следующих системах (согласно п.9.7[3]):

а) внутреннего теплоснабжения – температура и давление теплоносителя в общем подающем (поз. 8,9) и обратном (поз.10,11) трубопроводах; температуру на выходе из теплообменных устройств (поз. 13,14).

б) отопления с местными отопительными приборами - температуру воздуха в контрольных помещениях (поз.7).

Система теплоснабжения здания проектируется с автоматическим регулированием теплового потока при расчетном расходе теплоты зданием 50 кВт и более ( $Q=0.4$  Гкал./час=465,2 кВт).

### 1.3. Описание условий эксплуатации системы автоматики

Системы автоматического регулирования параметров установлены во взрывопожаробезопасном помещении. Доступ в помещение, где установлены приборы автоматики, имеет только квалифицированный персонал, который следит за состоянием оборудования, арматуры, контрольно-измерительных приборов и за соблюдением правил техники безопасности.

Операторы обязаны знать последовательность операций при аварийной остановке оборудования и грамотно устранять последствия.

Помещение не должно загромождаться посторонними предметами.

Регулирование параметров осуществляется согласно требований к параметрам внутри помещения и параметрам теплоносителя, изложенным в СНиП 2.04.05-91\* п.2 и п.3:

– Температура внутреннего воздуха должна находиться в пределах оптимальных значений от 5 до 25<sup>0</sup>С в зависимости от назначения обслуживаемого помещения и расчетных параметров наружного воздуха;

– Влажность внутреннего воздуха также должна лежать в пределах от 30 до 75% в зависимости от назначения обслуживаемого помещения и расчетных параметров наружного воздуха.



Контроллеры установлены на щитах управления в тепловом пункте, а сигнализация и дистанционный контроль выведены в диспетчерскую для более удобной эксплуатации систем.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров **регулирования** подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Регулирование температуры воздуха в помещении осуществляется радиаторным термостатом (поз.1). Принцип его действия – манометрический. Термостат изменяет расход теплоносителя через отопительный прибор в зависимости от температуры воздуха в помещении. Диапазон настройки температуры 6... 26°C, что позволяет применять радиаторные термостаты в помещениях различного назначения.

Центральное регулирование на вводе осуществляется регулятором температуры **ECL Comfort 300 с картой C60** (поз.2).

Электронный регулятор ECL-Comfort 300 универсальный двухканальный регулятор, предназначенный для одновременного управления системой отопления и системой ГВС. Настройка регулятора осуществляется автоматически за счет считывания информации с чипа, который находится на карте, соответствующей варианту применения.

Контур регулирования:

**1-й.** Система ГВС. Регулятор температуры ECL-Comfort 300 с картой C60 (поз.2.7) поддерживает заданную температуру воды, поступающей в систему горячего водоснабжения (поз.2.5.) посредством изменения расхода греющего теплоносителя двухходовым клапаном (поз.2.8) с электроприводом (поз.2.9) и отслеживает тем-

температуру теплоносителя (поз. 2.6), возвращаемого на источник теплоты.

**2-й.** Система отопления. Регулятор (поз. 2.7) поддерживает температуру теплоносителя (ПИ-регулирование), поступающего в систему отопления (поз.2.1) в зависимости от температуры наружного воздуха (поз.2.3) в соответствии с установленным температурным графиком с коррекцией по температуре внутреннего воздуха (поз.2.4). Регулятор обеспечивает не превышение температуры обратного теплоносителя (поз.2.2) относительно графика качественного регулирования.

Кроме этого, регулятор ECL Comfort 300 с картой C60 выполняет следующие функции:

- поддерживает заданное снижение температуры воздуха в помещении и горячей воды в системе ГВС по часам суток и дням недели;
- позволяет реализовать форсированный натоп помещений после снижения температуры внутреннего воздуха;
- автоматически отключает систему отопления на летний период при повышении температуры наружного воздуха выше заданного значения.

Основные настройки регулятора приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Основные настройки регулятора ECL Comfort 300 с картой C60**

Наименование	Диапазон настройки	Заводская настройка
Наклон температурного графика	От 0,2 до 3,4	1,8
Параллельное смещение температурного графика	От 0,9 до 9	0
Температура летнего отключения, (ПИ-	От 10 до 30	18

регулирование), °С		
Максимальное ограничение температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, °С	От 10 до 110	90
Минимальное ограничение температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления, °С	От 10 до 110	40
Ограничение температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловую сеть, °С	От 10 до 110	40
Нейтральная зона, °С	От 0 до 9	3
Зона пропорциональности, °С	От 1 до 250	80
Время интегрирования, с	От 5 до 999	30
Постоянная времени клапана с электроприводом, с	От 5 до 250	35

Регулятор перепада давления на магистралях **AVP**, (поз. 8) является регулятором прямого действия для поддержания постоянства перепада давления на вводе. Регулятор закрывается при повышении перепада давления. Комплект AVP содержит клапан, регулирующую диафрагму, рукоятку для настройки перепада давления и медная импульсная трубка.

#### Система диспетчеризации и связи

Электронный регулятор ECL-Comfort 300 используется как контроллер в системе дистанционного компьютерного управления [35] в структурной схеме контроллера Comfort Com.

Основные функции системы диспетчеризации и связи следующие:

1. Отображение мнемосхемы системы и её основных параметров ( $t_n$ ;  $t_B$ ;  $t_r$ ;  $t_{ГВС}$ ;  $t_{ГВС}^0$ ;  $t^0$ ).
2. Мнемосхемы работы и дистанционного управления циркуляционными насосами системы.
3. Графики (тренды) изменения параметров ( $t_n$ ;  $t_B$ ;  $t_r$ ;  $t_{ГВС}$ ;  $t_{ГВС}^0$ ;  $t^0$ )

4. Предоставление специализированной информации и формирование отчетов главному инженеру:

- аварийная информация;
- тренды реального времени;
- значения критических уставок.

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на декабрь 2004 года приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.2.

#### Спецификация на приборы и средства автоматики

Поз	Наименование	Це на за ед- цу, у.е	Ит ого за ед-цу	К ол-во на объект	Ст- ть по объекту	И того, у. е.
1	Радиаторный терморегулятор RTD-N					
	1.1 Термостатический элемент RTD 3100 со встроенным датчиком с защитой от мороза и устойчивом для ограничения и фиксации температурной настройки.	11, 50				
	1.2 Корпус клапана RTD-N-10 прямой $K_v=0.04-0.05$ м <sup>3</sup> /ч	8,9 0	20, 40	30 8	628 3	6 283
2	Клапан ручной RLV для монтажа	1,8 0	1,8 0	2	3,6 0	6 287

	на обратной под- водке отопительно- го прибора, $T_{\max}=120^{\circ}$ , $dP_{\max}=0,6\text{бар}$ , $P_y=10\text{бар}$ . RLV-10- прямой $K_v=1.8\text{м}^3/\text{ч}$					
3	Электронные регуляторы темпе- ратуры серии ELC 9600 в комплекте					
	3.1 Датчик температуры наружного воздуха ESMT	47, 00		1		
	3.2 Датчик температуры внут- реннего воздуха ESMT-F	47, 00		1		
	3.3 Датчик температуры теп- лоносителя ESMU	87, 00		2		
	3.4 Датчик температуры теп- лоносителя ESMA	47, 00		1		
	3.5 Регулятор ELC 9600	580 ,00		1		
	3.6 Редуктор- ный электропривод AMV-523	79, 00		1		
	3.7 Сальник тарельчатый кла- пан VF-2, фланце- вый $T_{\max}=200^{\circ}\text{C}$ , $dP_{\max}=16\text{бар}$ , $P_y=16\text{бар}$ , $K_{vs}=0,25$ $\text{м}^3/\text{ч}$	305 ,00		2		
	3.8 Редуктор- ный электропривод AMB-123	630 ,00		1		

	3.9 Клапан регулирующей трехходовой VMV 15 dPmax=0,4-0,7 бар, Ру=16бар	93,00	1915,90	1	1915,90	8203
4	Клапан обратный V 601	80,50	80,50	2	161,00	8364
5	Регулятор температуры AVTB 15, диапазон 30-100°C, Kv=1,6м³/ч, Tmax=130°C	232,00	232,00	1	232,00	8596
6	Термометр холодной воды в системе ГВС			1		
7	Термометр для определения температуры внутреннего воздуха			1		
8	Термометр на подающем трубопроводе из тепловых сетей			1		
9,11	Электропривод			2		
10	Термометр для определения температуры на обратном трубопроводе			1		
12	Термометр показывающий					
13	Манометр показывающий					
ИТОГО						8596

### 3.2. Расчет экономической эффективности установки

ПСА

Стоимости сэкономленной тепловой энергии определяется по формуле:

$$\begin{aligned} C_T &= 0.21 * Q_{\text{год}} * 24 * Z_{\text{от}} * K * T = 0.21 * 0.4 * 24 * 205 * \\ &0.57 * 720 = \\ &= 178560 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Стоимость регулятора температуры  $C_T = 57450$  (руб).

Срок окупаемость установки составил:

$$T = \frac{C_T}{\text{Э}} = \frac{57450}{178560} = 0.32(\text{год}) = 4 \text{ мес.}$$

Определим срок окупаемости установленных термостатических вентилей:

$$\text{Количество приборов: } N = \frac{Q_{\text{ч}}}{q_{\text{пр}}} = \frac{0,4 * 1,163 * 10^3}{1,5} = 309_{\text{шт}}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии на 1 прибор :

$$\begin{aligned} C_T &= 0.21 * Q_{\text{год}} * 24 * Z_{\text{от}} * K * T = 0.7 * 0.4 * 24 * 205 \\ &* 0.57 * 720 = 595123 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Стоимость 309 термостатов:  $C_T$  (RTD-N) = 188490 (руб).

$$\text{Срок окупаемости : } T = \frac{C_T}{\text{Э}} = \frac{595123}{188490} = 4 \text{ (мес).}$$

### **1.5. Двухтрубная система отопления. Закрытая система горячего водоснабжения. Теплоснабжение на основе котла (бойлера) (Регулятор ECL Comfort 300 с картой C25)**

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы отопления и горячего водоснабжения: **двухтрубная система отопления; закрытая система горячего водоснабжения; теплоснабжение на основе котла (бойлера)**

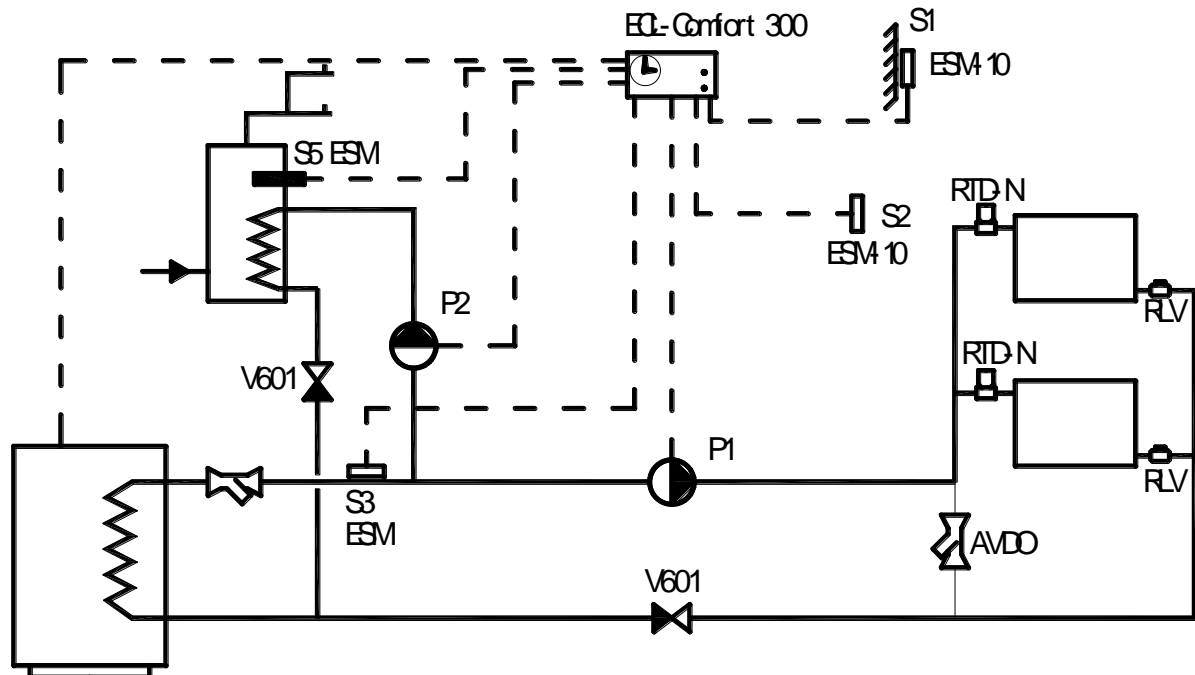


Рис. 5. Принципиальная схема автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Схема автоматизации с регулятором ECL-Comfort 300 с картой C25. Управление горелочным устройством котла и насосами в системе отопления и ГВС емкостным водоподогревателем. Тип регулирования ВКЛ./ВЫКЛ.

- Тепловая мощность системы отопления – 0, 025 Гкал/час.
- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.
- Количество отопительных приборов в здании – 20 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,025 Гкал/час

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика систем отопления и горячего водоснабжения

Система отопления: двухтрубная; с нижней разводкой; тупиковая.

Система ГВС: закрытая.



## 1.2. Обоснование автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Автоматизация системы отопления и горячего водоснабжения разработана в соответствии с требованиями [3, 4, 5].

Параметры теплоносителя и воздуха **контролируются** в следующих точках систем [3, п. 9.7]:

а) внутреннего теплоснабжения - температуру (поз.6) и давление (поз.5) теплоносителя в общих подающем и обратном трубопроводах;

б) отопления с местными отопительными приборами - температуру воздуха в контрольных помещениях, тв (поз. 4).

Показывающие манометры и термометры согласно [5, п.8.11] предусмотрены на входе и выходе трубопроводов греющей и нагреваемой воды для водоподогревателя системы горячего водоснабжения.

Показывающие манометры согласно [5, п.8.12] предусмотрены перед всасывающими и после нагнетательных патрубков насосов.

Приборы **дистанционного контроля** согласно [3, п.9.8.] предусмотрены для измерения основных параметров: температуры теплоносителя (поз.7) в общих подающем и обратном трубопроводах и температуры воздуха в контрольных помещениях, тв (поз. 9).

**Сигнализация** о работе оборудования, [3, п.9.9], предусмотрена для насосов ( рабочая и аварийная).

Система теплоснабжения здания запроектирована с автоматическим **регулированием** теплового потока на систему отопления, согласно требованиям [3, п.3.12\*], т.к. расчетный расход теплоты здания более 50 кВт. Система автоматики поддерживает за-

данную температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения [5, п.8.2].

Уровень экономии тепловой энергии в системе отопления определён по данным [14]. При централизованном регулировании температуры теплоносителя на источнике с учётом погодных условий уровень экономии энергии составляет 26%, установка термостатических вентилей на нагревательных приборах – 10 % [14].

### 1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматизации

Приборы и средства автоматизации размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Применяемые системы автоматизации электрические.

Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Контролирующая ЭВМ установлена в кабинете главного инженера.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров **регулирования** подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматизации в спецификации.

Радиаторный терморегулятор типа RTD (поз.1). Радиаторный терморегулятор предназначен для автоматического индивидуального регулирования теплоотдачи отопительного прибора системы водяного

отопления с целью поддержания оптимальных температурных условий в отапливаемом помещении и экономии тепловой энергии.

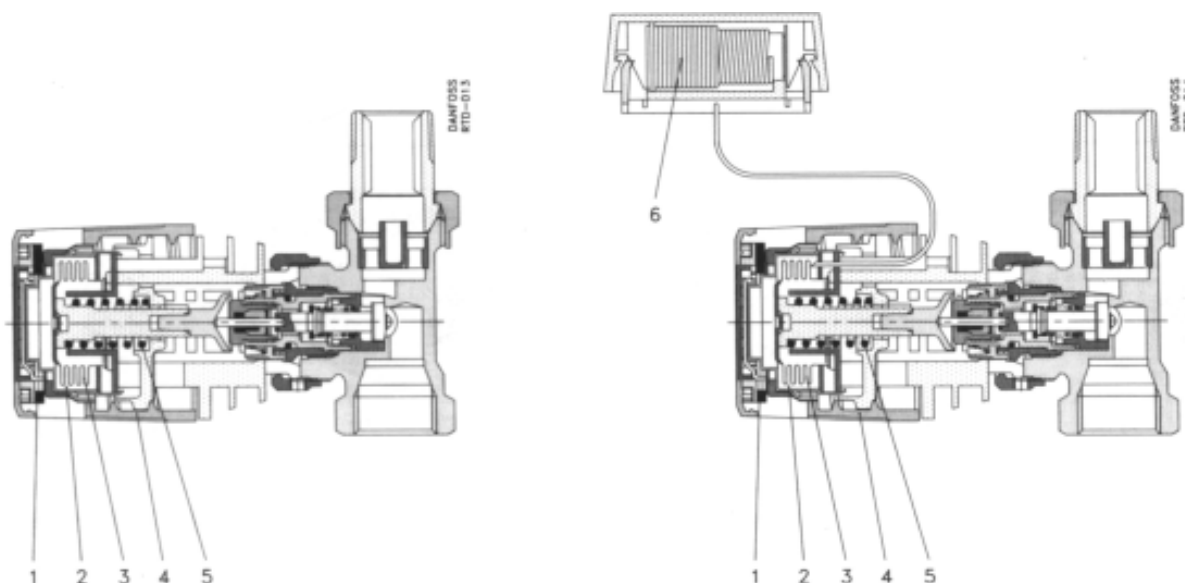
Радиаторный терморегулятор типа RTD состоит из двух частей:

- 1) термостатический элемент серии RTD (поз. 1.1);
- 2) регулирующий клапан RTD-N (поз. 1.2).

Основным устройством термостатического элемента является сильфон, который обеспечивает пропорциональное регулирование. Датчик термоэлемента воспринимает изменение температуры окружающего воздуха. Сильфон и датчик заполнены легко испаряющейся жидкостью и её парами. Выверенное давление в сильфоне соответствует температуре его зарядки. Это давление сбалансировано силой сжатия настроечной пружины. При повышении температуры воздуха вокруг датчика часть жидкости испаряется и давление паров в сильфоне увеличивается. При этом сильфон растягивается, перемещая конус клапана в сторону закрытия отверстия для протока теплоносителя в радиатор до тех пор, пока не будет достигнуто равновесие между силой пружины и давлением паров. При понижении температуры воздуха пары конденсируются, давление в сильфоне уменьшается, что приводит к его сокращению и перемещению конуса клапана в сторону открытия до положения, при котором вновь установится равновесие системы.

Устройство радиаторного терморегулятора показано на рис. 5.2.

Рис. 5.2. Устройство радиаторного терморегулятора  
 1- ограничительные кольца; 2- температурный датчик; 3- сильфон, 4- шкала настройки;



5 - настроечная пружина; 6- дистанционный датчик

Регулятор температуры ECL-Comfort 300 с картой C25 (поз.2).  
Электронный регулятор ECL-Comfort 300 с картой C25 предназначен для управления горелочным устройством котла и насосами в системе отопления и ГВС с ёмкостным водоподогревателем.

В комплект регулятора входят датчики температуры: теплоносителя на общем трубопроводе (поз. 2.1), теплоносителя на систему ГВС (поз. 2.2), температуры наружного (поз. 2.3) и внутреннего (поз. 2.4) воздуха. Датчики являются первичными приборами автоматики, которые преобразуют информацию о текущем значении температур в сигнал, передаваемый на расстоянии на вторичный прибор – регулятор ECL-Comfort 300 (поз.2.5.).

Контур регулирования:

**1-й.** В зависимости от температуры наружного воздуха (поз.2.3.) поддерживается график качественного регулирования на выходе из котла в общем трубопроводе (поз.2.1.) путем изменения расхода топлива на горелке котла.

**2-й.** Система ГВС. Регулятор температуры ECL-Comfort 300 с картой C25 поддерживает заданную температуру воды, поступающей в систему горячего водоснабжения. Сигнал от датчика температуры воды на ГВС (поз.2.2.) передается на регулятор температуры ECL Comfort 300 (поз.2.5), где сравнивается с требуемым значением. В случае отклонения текущего значения температуры на ГВС от заданного, сигнал от вторичного прибора (регулятора) подаётся на оконечное устройства (приводы циркуляционных насо-

сов), которые изменяют расход греющего теплоносителя на теплообменнике в системе ГВС.

**3-й.** Система отопления. Регулятор температуры ECL-Comfort 300 с картой C25 поддерживает заданную температуру воздуха в контрольном помещении (поз.2.4.) путем изменения расхода теплоносителя циркуляционными насосами системы отопления.

#### *Система диспетчеризации и связи*

Электронный регулятор ECL-Comfort 300 используется как контроллер в системе дистанционного компьютерного управления [35] в структурной схеме контроллера Comfort Com.

Основные функции системы диспетчеризации и связи следующие:

- Отображение мнемосхемы системы и её основных параметров ( $t_n$ ;  $t_b$ ;  $t_r$ ;  $t_{гвс}$ );
- Мнемосхемы работы и дистанционного управления механизмами – котлом, циркуляционным насосом системы отопления, циркуляционным насосом системы горячего водоснабжения;
- Графики (тренды) изменения параметров ( $t_n$ ;  $t_b$ ;  $t_r$ ;  $t_{гвс}$ );
- Предоставление специализированной информации и формирование отчетов главному инженеру:
  - аварийная информация,
  - тренды реального времени,
  - значения критических уставок.

Параметры программирования (возможные уставки):

- 1) уставка температуры подачи I  $t_r^{\min}$  ;
- 2) уставка температуры подачи II  $t_r^{\max}$  ;
- 3) наклон графика I;
- 4) смещение графика I ( $t_n^{\min}$   $t_n^{\max}$  );

- 5) комнатная температура задание день I;
- 6) комнатная температура задание ночь II;
- 7) температура ГВС.

### 3. Приборы и средства автоматизи

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматизи

Спецификация на приборы и средства автоматизи с указанием их стоимости в ценах на январь 2005 года приведена в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

#### Спецификация на приборы и средства автоматизи

№	Прибор	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель (продавец)
1	Радиаторный терморегулятор в комплекте:				
	1.1. Термостатический элемент RTD-3640. Защищённый от неумелого обращения, со встроенным датчиком, с защитой от мороза и устройством для ограничения и фиксации температурной настройки	11,5			Данфосс
	1.2. Корпус клапана RTD-N15 прямой никелированный. Пропускная способность 0,04-0,63 м <sup>3</sup> /ч	9,4			

	ИТОГО:	20,9	20	418	
2	Регулятор температуры ECL-Comfort 300 с картой C25 в комплекте:				
	2.1. Датчик температуры ESMU на общем трубопроводе погружной с гильзой	75,6 63,6			
	2.2 Датчик температуры ESMB на систему ГВС универсальный	61,1			
	2.3 Датчик температуры наружного воздуха ESMT	46,1			
	2.4 Датчик температуры внутреннего воздуха ESM-10	46,1			
	Регулятор ECL-Comfort 300 с картой C25	376,2 130,5*			
	ИТОГО:	799,2	1	799,2	
	Комплект контроллера Comfort Com: 3.1. I-7188 3.2. Базовое программное обеспечение (Среда исполнения коммуникационного контроллера) 3.3. I-7017, 8-канальный модуль аналогового ввода 0-10В (4-20мА) 3.4. I-7041D, 14-канальный модуль дискретного ввода 0-24В,	300,0	1	300,0	

	с встроенными индикаторами состояния входов 3.5. I-7042, 13-канальный модуль дискретного вывода 0-24В 3.6. Коммуникационный контроллер				
4	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический –50...+50, ТБ-1	20,7	1	20,7	АРК Энергосервис
5	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6;; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	8	111,84	WIKА, Германия; (Термия)
6	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	6	132	Тесофи; Франция (Термия)
7	Подобранная пара термпреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
8	Перепускной клапан AVDO 25. диапазон настройки 0,05...0,5 бар	86,6	1	86,6	Данфосс
9	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	14,3	Теплоком
10	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измере-		1	1 274	Теплоприбор



	ния от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло				
--	---	--	--	--	--

### 3.2. Определение экономической эффективности установки приборов и средств автоматики

А. Оценка экономической эффективности установки регулятора температуры ECL-Comfort 300 с картой C25.

Стоимость регулятора температуры ECL-Comfort 300 с картой C25 в комплекте в рублях:

$$C_{\text{рег.}} = 799,20 \text{ €} \cdot 36 \text{ руб/€} \cdot 1,18 = 33\,950 \text{ руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии (тариф на тепловую энергию  $Ст=792 \cdot 1,18$  руб./Гкал) при уровне экономии тепловой энергии в системе отопления 26% [14]:

$$Q_{\text{год.1}} = 0,26 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot Ст = 0,26 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п.}} / t_{\text{в}} - t_{\text{в}}) \cdot Ст = 0,26 \cdot 24 \cdot 0,025 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 792 \cdot 1,18 = 17\,932 \text{ руб/год.}$$

Срок окупаемости регулятора температуры:

$$T = C_{\text{рег.}} / Q_{\text{год.1}} = 33\,950 / 17\,932 = 1,9 \text{ года.}$$

В. Оценка экономической эффективности установки радиаторных терморегуляторов:

Стоимость радиаторных терморегуляторов в комплекте в рублях:

$$C_{\text{рад.рег.}} = 418 \text{ €} \cdot 36 \text{ руб/€} \cdot 1,18 = 17\,756,64 \text{ руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии (тариф на тепловую энергию  $Ст=792 \cdot 1,18$  руб./Гкал) при уровне экономии тепловой энергии при установка термостатических вентилей на нагревательных приборах – 10 % [14] от остатка:

$$Q_{\text{год.2}} = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot C_T = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_v - t_{\text{от.п.}} / t_v - t_v) \cdot C_T = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot 0,025 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 792 \cdot 1,18 = 5\,104 \text{ руб/год}$$

Срок окупаемости радиаторных терморегуляторов:

$$T = C_{\text{рад.рег}} / Q_{\text{год.2}} = 17\,756,64 / 5\,104 = 3,5 \text{ года.}$$

### 1.6. Двухтрубная система отопления, независимая. Закрытая система горячего водоснабжения. (Регулятор ECL Comfort 200 с картой P30)

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы отопления и горячего водоснабжения: двухтрубная система отопления, независимая; закрытая система горячего водоснабжения.

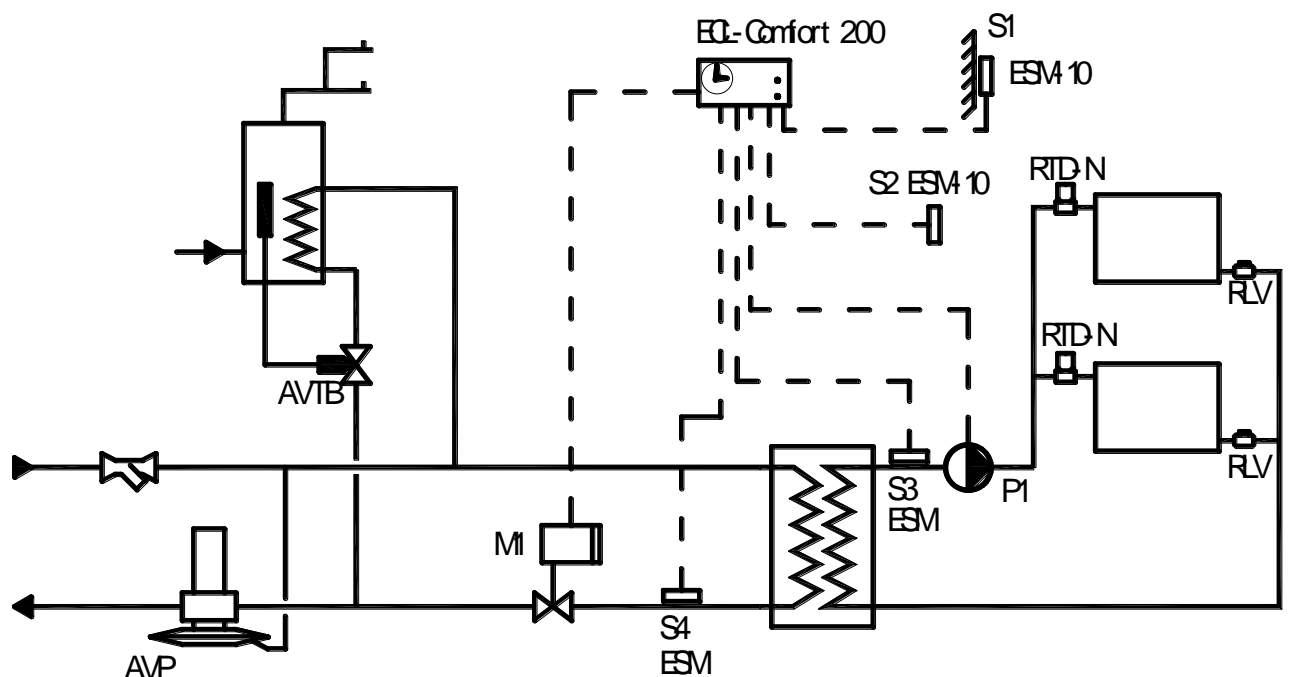


Рис. 6. Принципиальная схема автоматизации системы отопления и горячего водоснабжения

Схема автоматизации с регулятором ECL-Comfort 200 с картой P30 (ПИ-регулирование S3), управляющим клапаном перед

теплообменником. Горячее водоснабжение регулируется клапаном прямого действия.

- Тепловая мощность системы отопления – 0,3 Гкал/час.
- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.
- Количество отопительных приборов в здании – 233 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,3 Гкал/час

### 1.7. Двухтрубная система отопления. Закрытая система горячего водоснабжения. Теплоснабжение на основе котла (бойлера) (Регулятор ECL Comfort 200 с картой P30)

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы отопления и горячего водоснабжения: **двухтрубная система отопления; закрытая система горячего водоснабжения; теплоснабжение на основе котла (бойлера) .**

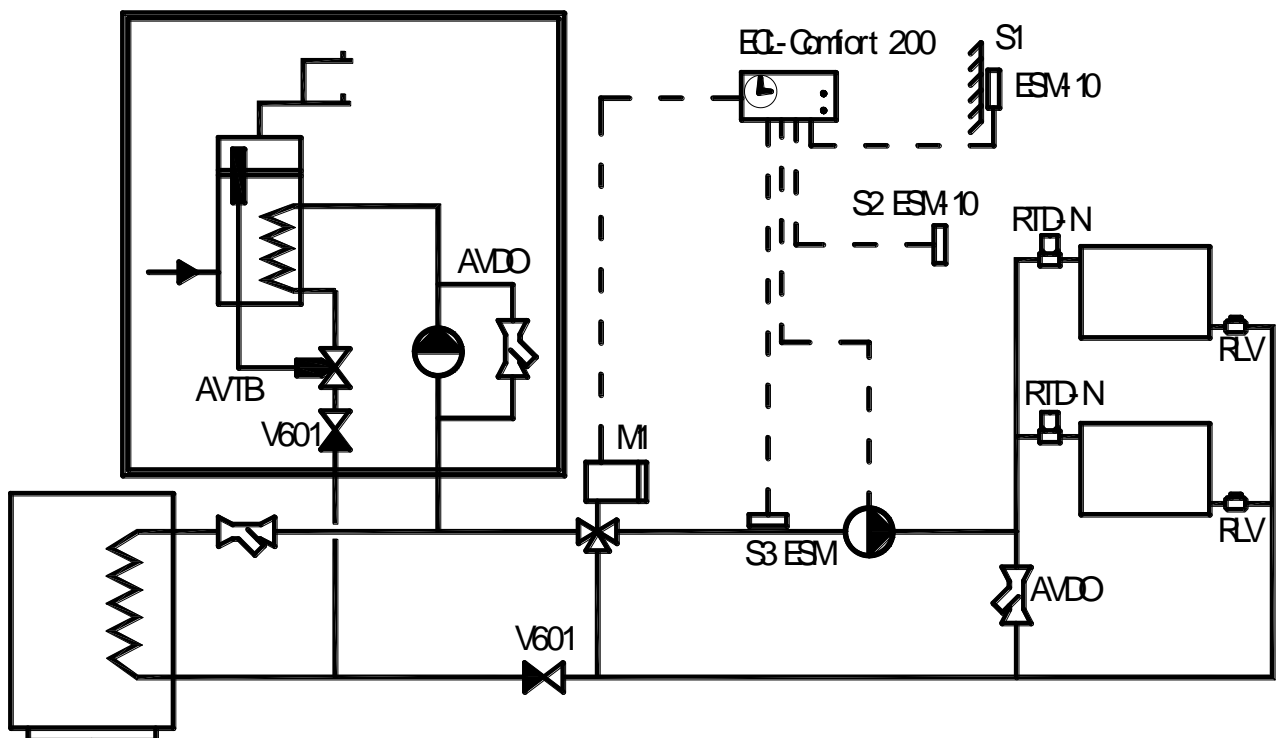


Рис. 7. Принципиальная схема автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения

Схема автоматизации с регулятором ECL-Comfort 200 (ПИ-регулирование S3), управляющим клапаном на отопление. Горячее водоснабжение регулируется клапаном прямого действия.

- Тепловая мощность системы отопления – 0,035 Гкал/час.
- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.
- Количество отопительных приборов в здании – 27 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,035 Гкал/час

## **1. Исходные данные для проектирования**

### *1.1. Краткая характеристика систем теплоснабжения*

Система водяного отопления – двухтрубная с нижней разводкой и тупиковым движением теплоносителя. Схема присоединения – независимая.

Расчетная тепловая нагрузка на систему отопления 0,07 Гкал/год.

Система горячего водоснабжения – закрытая с нижней разводкой и тупиковым движением горячей воды.

### *1.2 Обоснование разработки автоматизации систем*

Автоматизация системы отопления разработана в соответствии с требованиями СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Согласно п. 9.6 уровень автоматизации и контроля систем выбраны в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Параметры теплоносителя и воздуха контролируются в следующих системах, п. 9.7:

- а) внутреннего теплоснабжения - температуру на подающем тру-

бопроводе (датчик 2.1);

б) отопления с местными отопительными приборами - температуру воздуха в контрольных помещениях (датчик 2.3).

Рабочая и аварийная сигнализация работы оборудования, п.9.9, предусмотрена для насосов системы отопления. В схеме обвязки насосов использованы:

- запорная арматура до и после насоса;
- обратный клапан на нагнетательной линии;
- резервный насос;
- блокировка рабочего и резервного насоса;
- сигнализация для рабочего и резервного насоса;
- автоматический пуск и остановка.

Согласно п. 9.12 датчики контроля и регулирования параметров воздуха размещены в характерных точках помещения, в местах, где они не подвергаются влиянию нагретых или охлажденных поверхностей.

Согласно п. 3.12 система теплоснабжения здания запроектирована с автоматическим регулированием теплового потока, т.к. расчётный расход теплоты зданием составляет более 50 кВт.

Уровень экономии тепловой энергии определен в соответствии с дан-ными «Аналитической справки ИНФОРМприбор»:

- при центральном регулировании с учетом погодных условий – 26 % ;
- при регулировании температуры в помещении с помощью комнатного термостата с часовым механизмом для снижения температуры в ночное время - 13%.

### 1.3. Описание условий эксплуатации системы автоматики

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях.

Внутренняя температура и влажность соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Контролеры установлены на щитах в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую.

Применяемые системы автоматики электрические.

## **2. Описание функциональной схемы автоматизации**

Индивидуальное регулирование температуры воздуха осуществляется радиаторным термостатом (1). Принцип его действия – манометрический. Термостат поддерживает заданную температуру воздуха в помещении в соответствии с выбранной температурной настройкой, изменяя расход теплоносителя через отопительный прибор.

Регулирование осуществляется регулятором температуры (2.4), путём поддержания температуры теплоносителя в подающем трубопроводе на постоянном уровне (датчик 2.1) с коррекцией по температуре внутреннего воздуха (датчик 2.3), которая реализуется посредством изменения расхода теплоносителя в системе с помощью циркуляционных насосов или при помощи клапана (2.5) с электроприводом (2.6). Кроме того, в схеме присутствует регулятор постоянства расхода на магистралях (3).

Регулятор прямого действия (4) поддерживает постоянной температуру (датчик 4.3) на горячее водоснабжения за счёт изменения

расхода воды. Также в схеме присутствует регулятор постоянства расхода на магистрали (5).

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на декабрь 2004 года приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1.

#### Спецификация на приборы и средства автоматики

№	Наименование прибора	За ед-цу USA с НДС	Итого за единицу	Кол. на объект	Стоим. по объект
1	Двухтрубная система отопления Радиаторный терморегулятор в комплекте: 1.1 Термостатический элемент RTD-3120 со встроенным датчиком, с защитой от мороза и устройством для ограничения и фиксирования температуры. Диапазон настройки 6-26 °C 1.2 Корпус клапана RTDN-15 прямой. Пропускная способность 0,04-0,6 м³/ч 1.3 Клапан ручной запорный RLV-15 прямой.	20,8			
2	Регулятор температуры на систему отопления ECL-9300 в комплекте: 2.1 Датчик температуры теплоносителя ESMA. 2.2 Датчик температуры наружного воздуха ESMТ. 2.3 Датчик температуры внутреннего воздуха ESMR. 2.4 Регулятор одноканальный ECL 9300 – управление насосом и клапаном контура отопления. 2.5 Тарельчатый клапан VMO-15. Пропускная способность 1,6 м³/ч. 2.6 Термогидравлический привод ABV.	11,3 6,6 56,4 56,4	38,7	54	2089,8
	Регулятор постоянства расхода AVDO25. Tmax=120°C, Pmax=0,5 бар, Ру=10 бар. Диапазон настройки перепада давления 0,05-0,5 бар. Поставляется в комплекте с уплотнительными фитингами и нипелем Dн=10 мм для присоединения.	56,4 4 444 333,6	1313	1	1313
3	Горячее водоснабжение Регулятор прямого действия RAVI комплек-те : 4.1 Термостатический элемент типа RAVI. Tmax=70°C. Диапазон капиллярной трубки 2 м. 4.2 Корпус клапана RAV8, Tmax=120°C, Pmax=0,8 бар,	366	132,78	1	132,78

4	Рy=10 бар. RAV25/8, прямой. Диапазон настройки 2°C. 4.3 Датчик погружной ESMU.				
	Регулятор постоянства расхода AVDO25. Tmax=120°C, Pmax=0,5 бар, Рy=10 бар. Диапазон настройки перепада давления 0,05-0,5 бар. Поставляется в комплекте с уплотнительными фитингами и нипелем Дн=10 мм для присоединения. Стоимость ПСА с учетом НДС:	132,78			
		158,4			
		54			
		121,2	333,6	1	333,6
5		132,78			
			132,78	1	132,78
					4002

### 3.2. Оценка экономической эффективности автоматики

#### А. Оценка экономической эффективности регулятора температуры

Стоимость регулятора температуры составила  $C_{пр} = 39390$  руб.

Стоимость сэкономленной тепловой энергии составила:

$$C_T = 0,26 * Q_{год} * C_T = 0,26 * Q_{час} * 24 * Z_{о.п.} * (t_v - t_{о.п.}) / (t_v - t^5) * C_T =$$

$$= 0,26 * 0,07 * 24 * 205 * (20 + 10,1) / (20 + 31) * 402 = 21245,1 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости составил:  $T = C_{пр} / C_T = 39390 / 21245,1 = 1,85$  года.

При сроке окупаемости 1,85 года целесообразно применение регулятора температуры, следовательно прибор рекомендуется к внедрению.

#### В. Оценка экономической эффективности терморегуляторов

Стоимость терморегуляторов составила  $C_{пр} = 62694$  руб. (54 шт.)



Стоимость сэкономленной тепловой энергии составила

$$C_T = (81711,92 - 21245,1) \cdot 0,13 = 7860,7 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости составил:  $T = C_{пр} / C_T = 62694 / 7860,7 = 7,97$   
 года

При сроке окупаемости 7,97 года применение прибора целесообразно при условии длительной эксплуатации объекта и внедряется при желании заказчика.

### 1.8. Двухтрубная система отопления. Закрытая система горячего водоснабжения. Теплоснабжение на основе котла (бойлера) (Регулятор ECL Comfort 200 с картой С66)

Задание: Разработать проект автоматизации заданной системы отопления и горячего водоснабжения: **двухтрубная система отопления; закрытая система горячего водоснабжения; теплоснабжение на основе котла (бойлера) .**

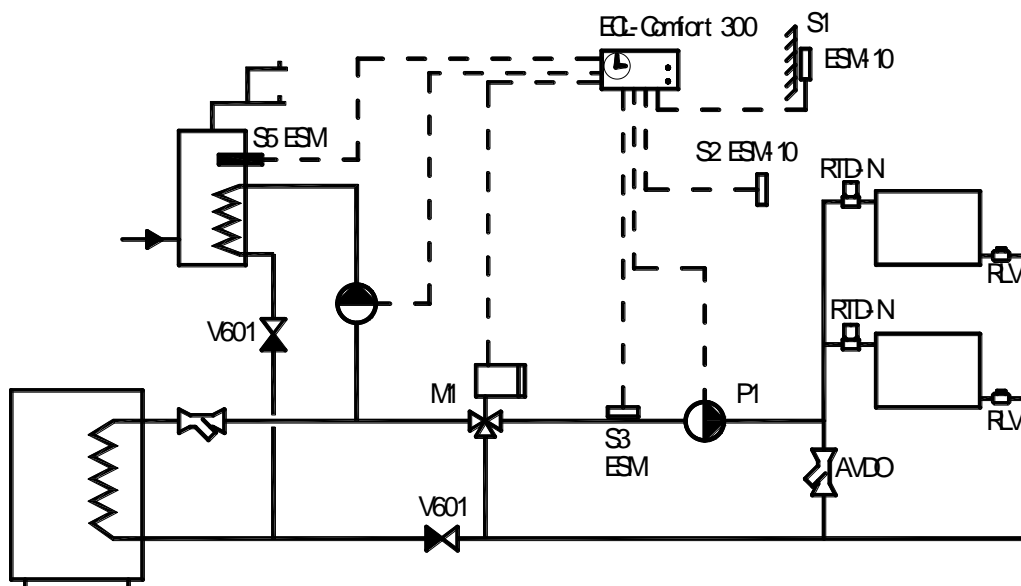


Рис. 8. Принципиальная схема автоматизации системы отопления

Теплоснабжение коттеджа на одну, несколько семей на основе котла/бойлера. Схема автоматизации с регулятором ECL-Comfort 300 с

картой С66 (ПИ-регулирование S3 и S5), управляющим клапаном и насосом на отопление и насосом на горячее водоснабжение.

- Тепловая мощность системы отопления – 0,04 Гкал/час.
- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.
- Количество отопительных приборов в здании – 31 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,04 Гкал/час

## **1. Исходные данные для проектирования**

### *1.1. Краткая характеристика систем теплопотребления*

Система отопления:

- водяная;
- с местным нагревательным прибором;
- двухтрубная;
- с нижней разводкой;
- тупиковая;

Система ГВС:

- закрытая.

### 1.2 Обоснование разработки автоматизации систем

Автоматизация системы отопления разработана в соответствии с требованиями [3].

Уровень автоматизации и контроля систем выбираются в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности в соответствии с п. 9.6

Согласно п. 9.12 датчики контроля и регулирования параметров воздуха размещены в характерных точках помещения, в местах, где

они не подвергаются влиянию нагретых или охлажденных поверхностей.

Согласно п. 3.12 система теплоснабжения здания запроектирована с автоматическим регулированием потока т.к. расчётный расход теплоты зданием составляет более 50 кВт.

Автоматизация системы отопления разработана в соответствии с [11]. В тепловых пунктах предусмотрено размещение оборудования, арматуры, приборов контроля, управления и автоматизации, посредством которых осуществляется:

- преобразование параметров теплоносителя;
- контроль параметров теплоносителя;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты;
- отключение систем потребления теплоты;
- защита местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя;

Уровень экономии тепловой энергии определен в соответствии с данными [10]:

- при центральном регулировании с учетом погодных условий – 26 %.

### 1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики

Приборы и средства автоматики размещены во взрывопожаробезопасных помещениях. Температура и влажность соответствуют нормируемым значениям

$$(t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}, \varphi_{в} \text{ до } 75\%).$$

Регуляторы, контроллеры установлены на щитах по месту в тепловом пункте. Применяемые системы автоматические.

## 2. Описание функциональной схемы

Индивидуальное регулирование температуры воздуха осуществляется радиаторным термостатом (1) принцип его действия – манометрический. Термостат поддерживает заданную температуру воздуха в помещении в соответствии с выбранной температурной настройкой, изменяя расход теплоносителя через отопительный прибор.

Регулирование осуществляется регулятором температуры (2.4), с коррекцией по температуре внутреннего воздуха, которая реализуется посредством изменения расхода Gг теплоносителя в системе с помощью циркуляционных насосов или при помощи трёхходового клапана(2.7) с электроприводом (2.6). Кроме того, регулятор температуры (2.4) поддерживает постоянной температуру на горячее водоснабжения (датчик 2.5) за счёт изменения расхода греющей воды с помощью насосов. Также в схеме присутствует регулятор постоянства расхода на магистралях (3).

## 3. Приборы и средства автоматики

### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на декабрь 2004 года приведена в табл. 8.1.

Таблица 8.1.

**Спецификация на приборы и средства автоматики**

№	Наименование прибора	За ед-	Итого за еди-	Кол. на объ-	Стоим. по
---	----------------------	--------	---------------	--------------	-----------

		цу USA	ницу	екте	объект
1	<p>Радиаторный терморегулятор в комплекте:</p> <p>1.1 Термостатический элемент RTD-3100 со встроенным датчиком, с защитой от мороза и устройством для ограничения и фиксирования температуры. Диапазон настройки 6-26 °С</p> <p>1.2 Корпус клапана RTDN-20 прямой никелированный. Пропускная способность 0,1 м<sup>3</sup>/ч</p>				
2	<p>Регулятор температуры на систему отопления ECL-9350 в комплекте:</p> <p>2.1 Датчик температуры теплоносителя поверхностный ESMA.</p> <p>2.2 Датчик температуры наружного воздуха ESMT.</p> <p>2.3 Датчик температуры внутреннего воздуха</p>				

	ESMR. 2.4 Регулятор ECL 9350. 2.5 Датчик температуры горячей воды универсальный ESMB 2.6 Реверсивный привод регулирующего клапана АМВ-123 2.7 Клапан трехходовой регулирующей VF-2 на внутренней резьбе для установки с приводами АМВ.				
3	Регулятор постоянства расхода AVDO. Диапазон настройки 0,05-0,5 м <sup>3</sup> /ч.				

### 3.2. Оценка экономической эффективности установки приборов и средств автоматики

А. Оценка экономической эффективности регулятора температуры

Стоимость регулятора температуры составила  $C_{пр} = 37857$  руб.

Стоимость сэкономленной тепловой энергии составила

$$\begin{aligned}
 C_{пр}^{PT} &= 0,26 \cdot Q_{год} \cdot C_T = 0,26 \cdot Q_{час} \cdot 24 \cdot Z_{o.п} \cdot C_T \cdot (t_B - t_{o.п.}) / (t_B - t^5) = \\
 &= 0,26 \cdot 0,08 \cdot 24 \cdot 205 \cdot 402 \cdot (20 + 10,1) / (20 + 31) = 24280,12 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

Срок окупаемости составил:  $T = C_{пр} / C_{пр}^{PT} = 37857 / 24280,12 = 1,56$  года. При данном сроке окупаемости регулятор температуры рекомендуется к установке.

В. Оценка экономической эффективности радиаторных терморегуляторов.

Стоимость терморегуляторов составила  $C_{пр} = 53202,6$  руб.(1773 у.е.).

Стоимость сэкономленной тепловой энергии составила

$$C_{ТРТ} = 0,74 * 0,08 * 24 * 205 * 402 * (20 + 10,1) / (20 + 31) * 0,13 = 8983,64 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости составил  $T = C_{пр} / C_{ТРТ} = 53202,6 / 8983,64 = 5,9$  года.

При данном сроке окупаемости радиаторные терморегуляторы устанавливаются только при согласовании с инвестором (заказчиком).

### 1.9. Системы отопления - радиаторная и напольное отопление. Закрытая система горячего водоснабжения. Теплоснабжение на основе котла (бойлера) (Регулятор ECL Comfort 300 с картой C75)

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы отопления и горячего водоснабжения: **системы отопления - радиаторная и напольное отопление; закрытая система горячего водоснабжения; теплоснабжение на основе котла (бойлера).**

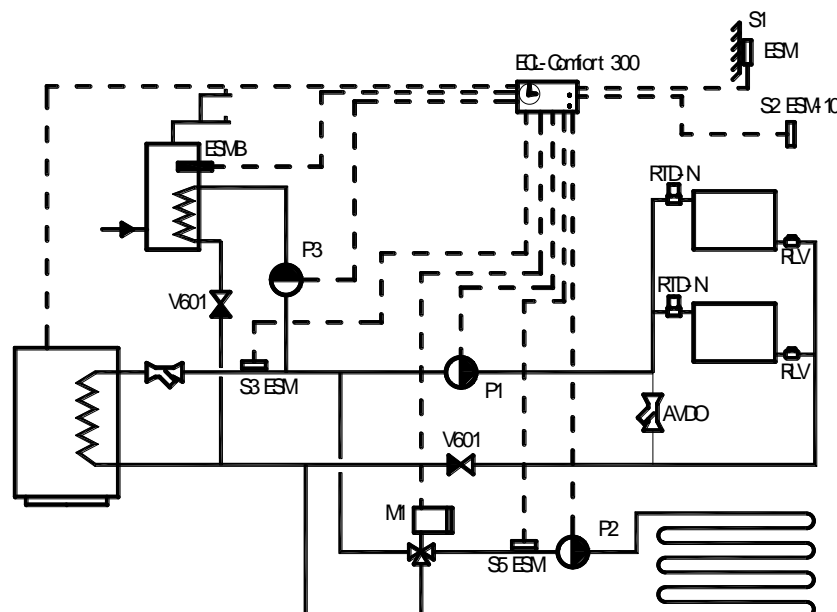


Рис.9. Принципиальная схема автоматизации системы отопления.

Схема автоматизации с регулятором ECL-Comfort 300 с картой C75, управляющим клапаном и насосом на системе напольного отопления, насосами на системах радиаторного отопления, горячего водоснабжения и котлом. Тип регулирования ВКЛ./ВЫКЛ и ПИ-регулирование.

- Тепловая мощность системы отопления – 0,045 Гкал/час.
- Тепловая мощность отопительного прибора – 1500 Вт.
- Расход теплоносителя на нагревательный прибор – 52 кг/ч.
- Количество отопительных приборов в здании – 35 шт.
- Тепловая мощность системы горячего водоснабжения – 0,045 Гкал/час.

## **1. Исходные данные для проектирования**

### 1.2. Характеристика систем теплоснабжения

Система отопления:

- двухтрубная;
- нижняя разводка;
- тупиковая.

Система ГВС: закрытая.

### 1.2. Обоснование автоматизации систем

Автоматизация систем разработана в соответствии с требованиями [3]. Уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности [3, п. 9.6.].



Параметры теплоносителя и воздуха контролируются в следующих точках систем, [3,п. 9.7]:

- а) внутреннего теплоснабжения – температура на выходе из котла  $t_k$ , (поз.3.);
- б) отопления с местными отопительными приборами – температуру воздуха в контрольных помещениях,  $t_v$  (поз. 3).

Сигнализация работы оборудования [3,п.9.9] предусмотрена в системе отопления для насосов (рабочая и аварийная).

Система теплоснабжения здания запроектирована с автоматическим регулированием теплового потока согласно требованиям [3,п.3.12\*], т.к. расчетный расход теплоты здания более 50 кВт ( $Q_f = 1046$  кВт).

Уровень экономии тепловой энергии в системе отопления определен по данным [16]. При централизованном регулировании температуры теплоносителя на источнике с учётом погодных условий уровень экономии энергии составляет 26%, установка термостатических вентилях на нагревательных приборах – 10 % [16].

### 1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях. Температура и влажность соответствуют нормируемым значениям ( $t_v = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_v$  до 75%). Регулятор температуры расположен на щите в тепловом пункте. Применяемые системы автоматики электрические.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматизации в спецификации.

Радиаторный терморегулятор типа RTD (поз.1) .

Радиаторный терморегулятор предназначен для автоматического индивидуального регулирования теплоотдачи отопительного прибора системы водяного отопления с целью поддержания оптимальных температурных условий в отапливаемом помещении и экономии тепловой энергии.

Радиаторный терморегулятор типа RTD состоит из двух частей:

- 1) термостатический элемент серии RTD (поз. 1.1);
- 2) регулирующий клапан RTD-N (поз. 1.2).

Регулятор температуры на систему отопления ECL-9550 (поз.2).

Электронный регулятор ECL-9550 предназначен для поддержания температуры теплоносителя в системах водяного отопления (система отопления и система «теплый пол») в зависимости от температуры наружного воздуха согласно графика качественного регулирования и постоянной температуры воды в системе горячего водоснабжения.

В комплект регулятора входят датчики температуры: теплоносителя системы отопления TSMA (поз. 2.2), теплоносителя на систему ГВС TSMB (поз. 2.3), теплоносителя на систему «теплый пол» TSMA (поз. 2.4), температуры наружного ESMT (поз. 2.6) и внутреннего ESMR/-F (поз. 2.9) воздуха. Датчики являются первичными приборами автоматики, которые преобразуют информацию о текущем значении температур в сигнал, передаваемый на расстоянии на вторичный прибор – регулятор ECL-9550 (поз.2.5.). Регулятор сравнивает текущее значение с требуемым и в случае необходимости передаёт сигнал на

оконечные устройства: в системе ГВС и отопления – на насосы с электроприводом, в системе «тёплый пол» – на насос с трёхходовым клапаном VMV (поз.2.8) и реверсивным электроприводом АМВ-123 (поз.2.7) .

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на декабрь 2004 года приведена в табл. 9.1.

Таблица 9.1.

#### Спецификация на приборы и средства автоматики

№	Наименование прибора	За ед-цу, у.е.	Итого за единицу у.е.	Кол-во на объекте	Стоим. по объ-екту, у.е.
1	Радиаторный терморегулятор в комплекте: 1.1 Термостатический элемент RTD-3120. Защищённый от неумелого обращения, со встроенным датчиком, с защитой от мороза и устройством для ограничения и фикси-рования темперой настройки 1.2 Корпус клапана RTD-N прямой никелированный. Пропускная способность 0,04-0,63 м³/ч	17,33  9,40	26,73	698	18 658
2	Регулятор температуры на систему отопления ECL-9550 в комплекте: 2.1. Датчик температуры теплоносителя на систему отопления наружного контура TSMA 2.2. Датчик температуры теплоносителя на систему отопления внутрен. контура TSMA 2.3. Датчик температуры теплоносителя на систему ГВС TSMB 2.4. Датчик температуры теплоносителя на систему «теплый пол» TSMA 2.5. Регулятор ESL-9550 2.6. Датчик температуры наружного воздуха ESMT 2.7. Реверсивный привод регулирующего	47  47  62,5 47 580 47 305 93	1530,6	1	1530,6

3	привода серии AMB-123 АМАН	47			
	2.8. Клапан VMV 2.9. Датчик температуры внутреннего воздуха ESMR/-F Термометр	-	-	-	-

### 3.2. Определение экономической эффективности установки приборов и средств автоматизации

А. Оценка экономической эффективности установки регулятора температуры ECL 9550.

Стоимость сэкономленной тепловой энергии (Ст=760 руб./Гкал):

$$Q_{\text{год.1}} = 0,26 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot \text{Ст} = 0,26 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п.}} / t_{\text{в}} - t_{\text{в}}) \cdot \text{Ст} = 0,26 \cdot 24 \cdot 0,9 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 760 = 524\,980 \text{ руб/год.}$$

Стоимость регулятора температуры в рублях:

$$C_{\text{рег.}} = 1530,6 \text{ у.е.} \cdot 31 \text{ руб/у.е.} = 47\,450 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости регулятора температуры:

$$T = C_{\text{рег.}} / Q_{\text{год.1}} = 47450 / 524\,980 = 0,09 \text{ года.}$$

В. Оценка экономической эффективности установки радиаторных терморегуляторов:

Стоимость сэкономленной тепловой энергии (Ст=760 руб./Гкал):

$$Q_{\text{год.1}} = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot K_t \cdot \text{Ст} = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot Q_{\text{час}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п.}} / t_{\text{в}} - t_{\text{в}}) \cdot \text{Ст} = 0,1 \cdot 0,74 \cdot 24 \cdot 0,9 \cdot 205 \cdot 0,6 \cdot 760 = 149\,418 \text{ руб/год.}$$

Стоимость радиаторных терморегуляторов в рублях:

$$C_{\text{рег.}} = 18\,658 \text{ у.е.} \cdot 31 \text{ руб/у.е.} = 578\,398 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости радиаторных терморегуляторов:

$$T = C_{\text{рег.}} / Q_{\text{год.1}} = 578\,398 / 149\,418 = 3,9 \text{ года.}$$

## 1.10. Библиографический список по системам отопления и горячего водоснабжения

1. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.- Москва, 1985 .- 18 с.
2. Калмаков А.А., Кувшинов Ю.Я. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. - М.: Стройиздат, 1986. – 479 с.
3. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция, кондиционирование / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.-64 с.
4. СНиП 2.04.07-86\*. Тепловые сети. Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1994.- 63 с.
5. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. – Свод правил по проектированию и строительству к СНиП 2.04.07-86\* «Тепловые сети».- 100 с.
6. Средства регулирования и управления для систем кондиционирования, отопления и горячего водоснабжения.- Аналитическая справка Информприбор, 1991 г. – 40 с.
7. Прайс-лист Данфосс, 2004 г. – АВТОМАТ \1. Каталоги фирм Автоматика \1. Danfoss 2004\ Прайс- лист EURO 2004.
8. Термостатические элементы RTD, 2000.- 40 с. -- АВТОМАТ \1. Каталоги фирм Автоматика\1. Danfoss-2004\ Радиаторные терморегуляторы типа RTD\Техническое описание регуляторов\ Техническое описание RTD Inova.
9. Радиаторные терморегуляторы RTD, 2000.- 40 с. -- АВТОМАТ \1. Каталоги фирм Автоматика\1. Danfoss-2004\ Радиаторные терморегуляторы типа RTD\Техническое описание регуляторов.
10. Применение средств автоматизации «Данфосс» в системах водяного отопления зданий. Пособие, 2004 г. - 42 с. – АВТОМАТ

- \1. Каталоги фирм Автоматика\1. Danfoss-2004\Применение средств автоматизации Данфосс в ВСО\RB 00 I1 50 а.
11. Автоматизация систем теплоснабжения индивидуальных жилых зданий и помещений. Пособие, 2004 г. - 36 с. – АВТОМАТ \1. Каталоги фирм Автоматика\1. Danfoss-2004\Автоматизация систем теплоснабжения ИЖЗ. отопительного котла и узла подготовки горячей воды).
12. Каталог автоматических регуляторов для систем теплоснабжения зданий, 170 с. – 2001 г. – АВТОМАТ \1. Каталоги фирм Автоматика\1. Danfoss-2004\Автоматика регулирования для тепловых пунктов\Каталоги\Каталог автоматических регуляторов\vk 00m7.
13. Каталог балансировочных клапанов, 2002 г. - 58 с. – АВТОМАТ \1. Каталоги фирм Автоматика\1. Danfoss-2004\Балансировочные клапана\Каталог балансировочных клапанов\RC 08 A3 50.

Перечень действующих каталогов различных фирм на приборы и средства автоматики приведен на сайте кафедры ТТГВ по адресу <http://tgv.khstu.ru>.

### **1.11. Система вентиляции с регулированием температуры приточного воздуха**

Задание: *Разработать проект автоматизации заданной системы вентиляции: **система вентиляции с регулированием температуры приточного воздуха**. Выполнение проекта рекомендуется начать с изучения нормативных требований к автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха [3]. Расход теплоносителя на теплоснабжение калориферной установки 2,0 т/ч.*

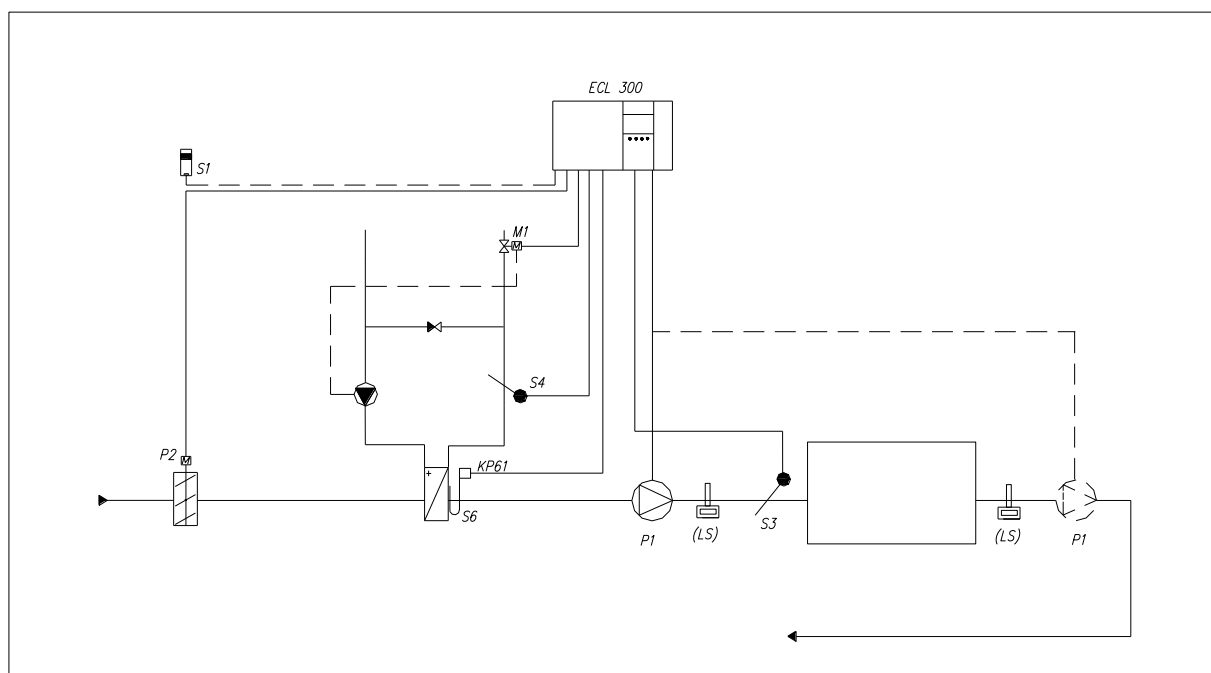


Рис.1.1. Принципиальная схема автоматизации системы вентиляции с регулированием температуры приточного воздуха.

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Краткая характеристика системы

Приточная вентиляционная установка с регулированием температуры приточного воздуха путем управления подачей теплоносителя в воздухонагреватель.

### 1.2 Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1,3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров теплоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены:

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры и давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры наружного, приточного воздуха и температуры воздуха в контрольном помещении.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры (5) и давления теплоносителя (6) и температуры приточного воздуха (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3]:

- для открывания и закрывания клапанов наружного воздуха при включении и отключении вентилятора;
- для включения резервного циркуляционного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе вентилятора и циркуляционных насосов.

Согласно п. 9.18 [3] предусмотрена автоматическая защита от замерзания воды в воздухонагревателях, т.к. температура наружного воздуха для рассматриваемого района в холодный период ниже минус 5°C.

Предусмотрено автоматическое регулирование температуры приточного воздуха на требуемом уровне согласно требованиям п. 9.11. [3], а также не превышение температуры обратного



теплоносителя относительно графика качественного регулирования. Автоматическая защита от замерзания воды в воздухонагревателях и регулирование параметров осуществлено с помощью регулятора ECL-300 (поз. 1.5) с картой С-14.

### *1.3 Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики*

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматики электрические.

## **2. Описание функциональной схемы автоматизации**

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средства автоматики в спецификации.

Автоматическое регулирование системы вентиляции осуществляется регулятором температуры ECL comfort 300 (1.5). ECL comfort 300 – электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты С-14. Карта С-14 позволяет выполнять следующие функции:

- 1) регулирование температуры приточного воздуха;
- 2) включение и выключение установки в заданное время;
- 3) осуществление прогрева воздухонагревателя в период пуска;

#### 4) защита воздухонагревателя от замерзания по температуре обратного теплоносителя у нагревателя.

В комплект регулятора входят датчики: температуры наружного воздуха; температуры приточного воздуха, температуры обратного теплоносителя в контуре регулирования и датчик температуры обратного теплоносителя в контуре защиты калорифера от замерзания. Датчики являются первичными приборами автоматики, получающие информацию о текущем значении температур и формирующие сигнал на вторичный прибор – регулятор ECL-300.

PI-регулирование температуры приточного воздуха (1.1) на заданном уровне осуществляется регулятором температуры (1.5) путем изменения подачи теплоносителя в воздухонагреватель с помощью клапана (1.6) с электроприводом (1.7).

В системе предусмотрена защита калориферов от замерзания. Когда температура воды в обратном трубопроводе снижается ниже 20°C, сигнал от датчика (1.4) поступает на температурное реле (1.5). При данной температуре обратного теплоносителя происходит остановка вентилятора, закрывается заблокированный с ним клапан наружного воздуха и полностью открывается двухходовой клапан (1.6.) для максимального увеличения расхода теплоносителя. Таким образом, движение холодного воздуха прекращается, а циркуляция теплоносителя через калорифер продолжается. Вследствие отсутствия теплосъема, температура охлажденного теплоносителя начинает повышаться. При достижении температуры теплоносителя 50°C (заводская настройка регулятора) вентилятор включается, клапан наружного воздуха открывается, и работа воздухонагревателя возобновляется.

Функциональная схема автоматизации представлена на рис.

## 1.2. Приборы и средства автоматики

### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики указанием их стоимости

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Спецификация на приборы и средства автоматики**

№	Наименование прибора	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель (продавец)
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECL Comfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.1. Датчик температуры приточного воздуха (S3) погружной для систем вентиляции типа ESMU	75			
	1.2. Датчик температуры наружного воздуха (S1) типа ESM-10	42			
	1.3. Датчик температуры обратной воды в схеме обвязки калориферов (S4) типа ESMU	69			
	1.4. Датчик защиты от замерзания (S6) поверхностный типа ESM	42			
	1.5. Регулятор ECL 300 с картой C-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. T <sub>max</sub> =120°C, P <sub>y</sub> =16 бар. Ду=15 мм, Kvs=2,5 м <sup>3</sup> /ч.	225			
	1.7. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
	<b>ИТОГО:</b>	<b>1183</b>	<b>1</b>	<b>1183</b>	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический -50...+50, ТБ-1	20,7	4	82,8	АРК Энерго-сервис
3.	Манометр для измерения	13,98	2		WIKА, Герма-

	давления теплоносителя класс точности 1,6;; 1/2"; 100 мм, 16 бар			27,96	ния; (Термия)
4.	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	2	44	Тесофи; Франция (Термия)
5.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
6.	Датчик давления ПДИ-1 для дистанционного измерения давления теплоносителя	66	2	132	Теплоком
7.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	14,3	Теплоком
8.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло		1	1 274	Теплоприбор

Рис. 1.2. Функциональная схема системы вентиляции с регулированием температуры приточного воздуха

### 1.12. Система вентиляции с регулированием постоянной температуры воздуха в помещении

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы вентиляции: **система вентиляции с регулированием постоянной температуры воздуха в помещении.** Выполнение проекта рекомендуется начать с изучения нормативных требований к автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха [3].

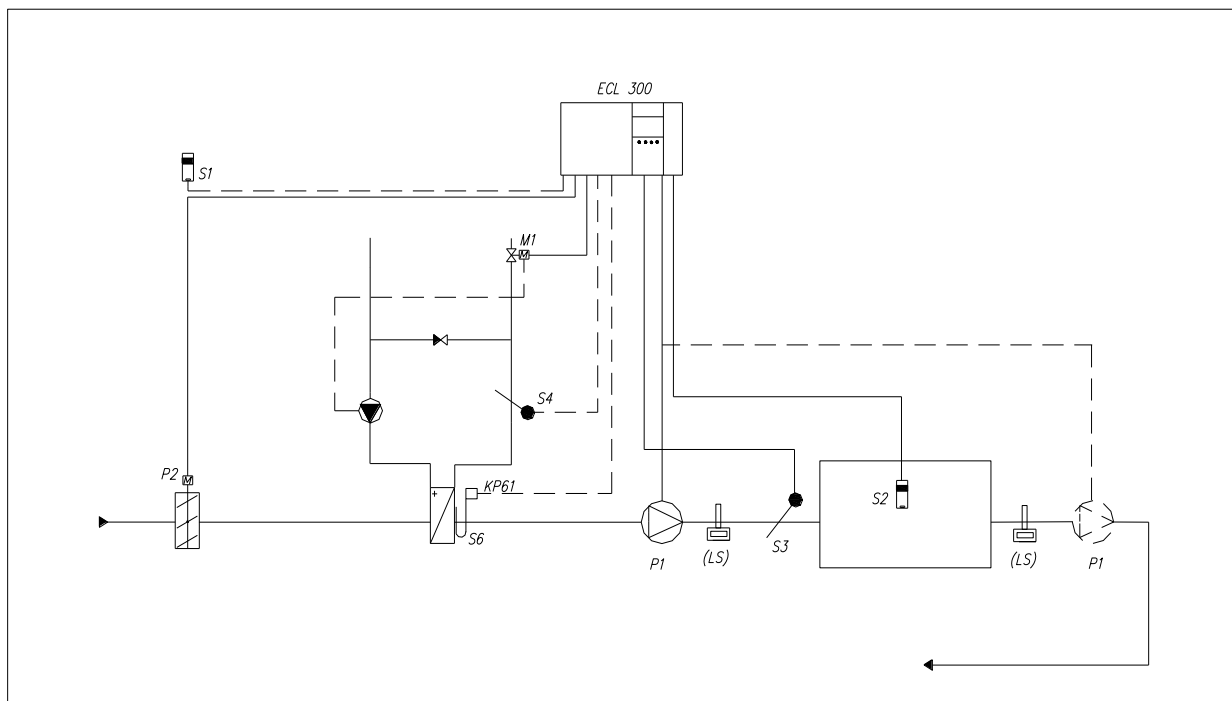


Рис. 2.1. Принципиальная схема автоматизации приточной системы вентиляции с регулированием постоянной температуры воздуха в помещении

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика системы вентиляции

Приточная система вентиляции с регулированием температуры воздуха в помещении путем изменения подачи теплоносителя в воздухонагреватель.

### 1.2 . Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1] и [3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров теплоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены:

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры и давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры наружного, температуры воздуха после калорифера, приточного воздуха и температуры воздуха в контрольном помещении.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры (5) и давления теплоносителя (6) и температуры внутреннего воздуха (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3]:

- 1) для открывания и закрывания клапанов наружного воздуха при включении и отключении вентилятора;
- 2) для включения резервного циркуляционного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе вентилятора и циркуляционных насосов.

Согласно п. 9.18 [3] предусмотрена автоматическая защита от замерзания воды в воздухонагревателях, т.к. температура наружного воздуха для рассматриваемого района в холодный период ниже минус 5°C.

Предусмотрено автоматическое регулирование температуры внутреннего воздуха на требуемом уровне согласно требованиям п. 9.11. [3], а также не превышение температуры обратного

теплоносителя относительно графика качественного регулирования. Автоматическая защита от замерзания воды в воздухонагревателях и регулирование параметров осуществлено с помощью регулятора ECL-300 (поз. 1.5) с картой С-14.

### *1.3 Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики*

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_{в}$  до 75%). Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматики электрические.

## **2. Описание функциональной схемы автоматизации**

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Автоматическое регулирование системы вентиляции осуществляется регулятором температуры ECL comfort 300 (1.5). ECL comfort 300 – электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты С-14. Карта С-14 позволяет выполнять следующие функции:

- 1) регулирование температуры внутреннего воздуха;
- 2) включение и выключение установки в заданное время;

- 3) осуществление прогрева воздухонагревателя в период пуска;
- 4) защита воздухонагревателя от замерзания по температуре обратного теплоносителя у нагревателя.

В комплект регулятора входят датчики: температуры наружного воздуха; температуры внутреннего воздуха, температуры приточного воздуха; температуры обратного теплоносителя в контуре регулирования и датчик температуры обратного теплоносителя в контуре защиты калорифера от замерзания. Датчики являются первичными приборами автоматики, получающими информацию о текущем значении температур и формирующими сигнал на вторичный прибор – регулятор ECL-300.

PI-регулирование температуры приточного (1.1) и P-регулирование внутреннего воздуха (датчик 1.0) осуществляется регулятором температуры (1.5) путем изменения подачи теплоносителя в воздухонагреватель с помощью клапана (1.6) с электроприводом (1.7)

В системе предусмотрена защита калориферов от замерзания. Когда температура воды в обратном трубопроводе снижается ниже 20°C, сигнал от датчика (1.4) поступает на температурное реле (1.5). При данной температуре обратного теплоносителя происходит остановка вентилятора, закрывается заблокированный с ним клапан наружного воздуха и полностью открывается двухходовой клапан (1.6.) для максимального увеличения расхода теплоносителя. Таким образом, движение холодного воздуха прекращается, а циркуляция теплоносителя через калорифер продолжается. Вследствие отсутствия теплосъема, температура охлажденного теплоносителя начинает повышаться. При достижении температуры тепло-



носителя 50°C (заводская настройка регулятора) вентилятор включается, клапан наружного воздуха открывается и работа воздухонагревателя возобновляется.

Функциональная схема автоматизации представлена на рис.

2.2.

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

#### Спецификация на приборы и средства автоматики

№	Наименование прибора	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель (продавец)
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECL Comfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.0. Датчик температуры воздуха в помещении (S2) типа ESM-10	42			
	1.1. Датчик температуры приточного воздуха (S3) погружной для систем вентиляции типа ESMU	75			
	1.2. Датчик температуры наружного воздуха (S1) типа ESM-10	42			
	1.3. Датчик температуры обратной воды в схеме обвязки калориферов (S4) типа ESMU	69			
	1.4. Датчик защиты от замерзания (S6) поверхностный типа ESM	42			

	1.5. Регулятор ECL 300 с картой С-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. T <sub>max</sub> =120°C, P <sub>y</sub> =16 бар. Ду=15 мм, Kvs=2,5 м <sup>3</sup> /ч.	225			
	1.7. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
ИТОГО:		1225	1	1225	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический -50...+50, ТБ-1	20,7	4	82,8	АРК Энергосервис
3.	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	2	27,96	WIKА, Германия; (Термия)
4.	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	2	44	Тесофи; Франция (Термия)
5.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
6.	Датчик давления ПДИ-1 для дистанционного измерения давления теплоносителя	66	2	132	Теплоком
7.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	14,3	Теплоком
8.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло	1 274	1	1 274	Теплоприбор

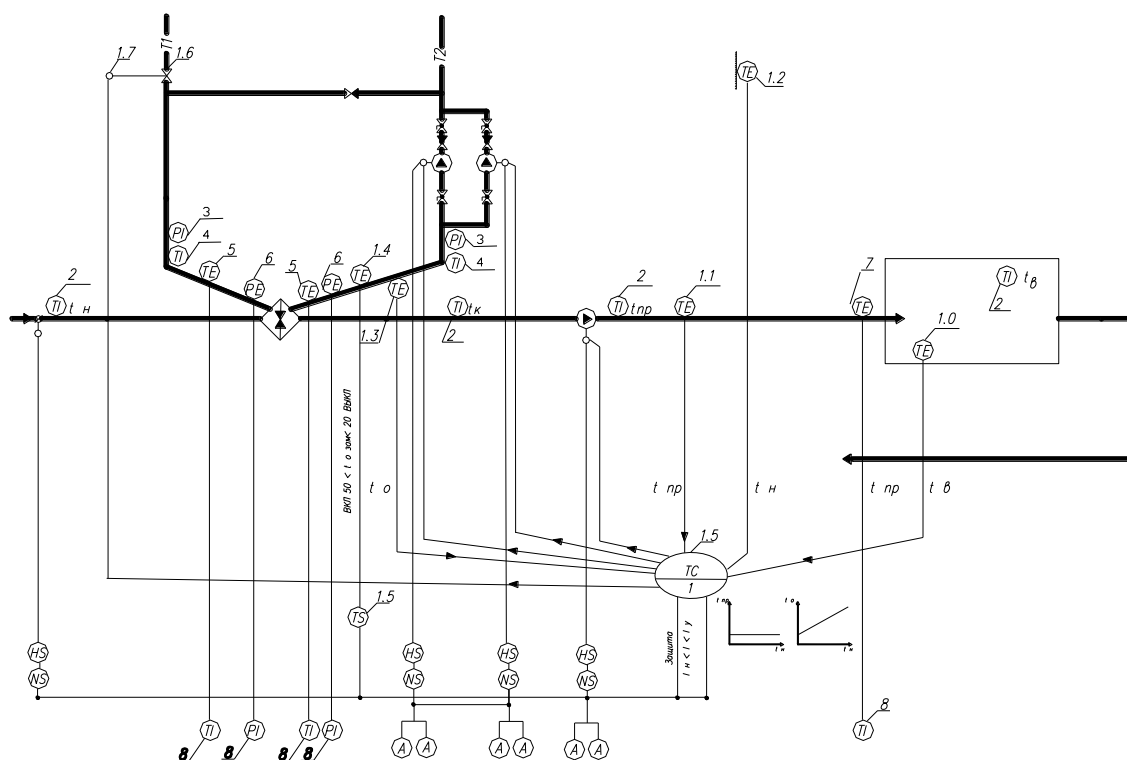


Рис. 2.2. Функциональная схема автоматизации системы вентиляции с регулированием постоянной температуры воздуха в помещении

### 1.13. Вентиляционная система с рециркуляцией вытяжного воздуха

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы вентиляции: **вентиляционная система с рециркуляцией вытяжного воздуха**. Выполнение проекта рекомендуется начать с изучения нормативных требований к автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха [3].

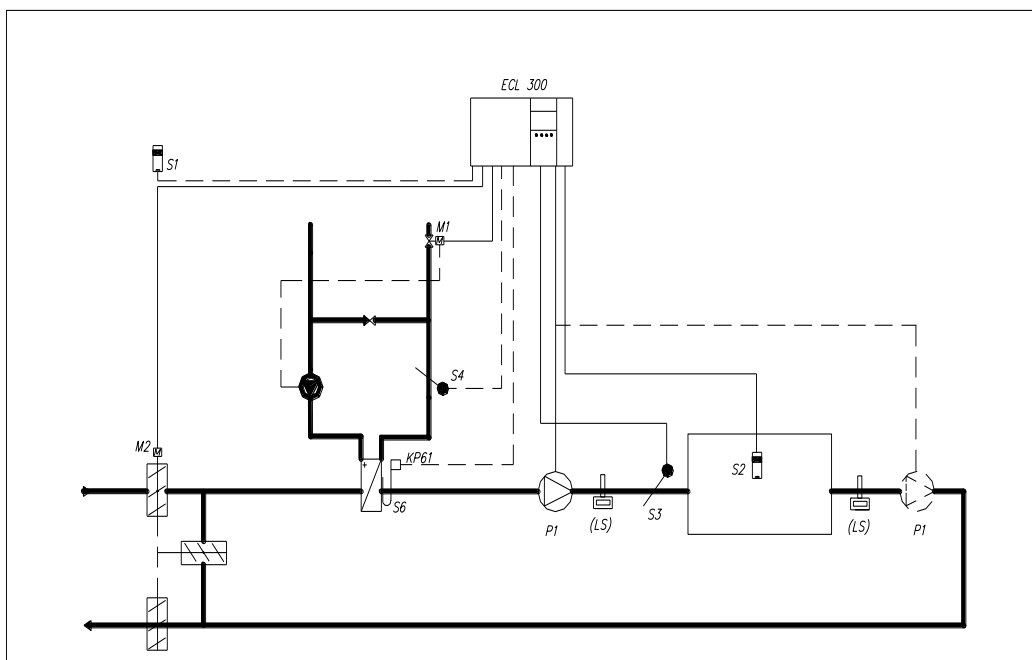


Рис. 3.1. – Принципиальная схема автоматизации системы вентиляции с рециркуляцией вытяжного воздуха

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика системы вентиляции

Приточная вентиляционная установка с рециркуляцией внутреннего воздуха до калорифера с регулированием температуры воздуха в приточном воздуховоде или воздуха в помещении путем последовательного управления заслонками и подачей теплоносителя в воздухонагреватель.

### 1.2 Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1] и [3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров теплоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены:

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры и давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры наружного, приточного, рециркуляционного воздуха и температуры воздуха в контрольном помещении.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры (5) и давления теплоносителя (6) и температуры приточного воздуха (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3]:

- 1) для открывания и закрывания клапанов наружного воздуха при включении и отключении вентилятора,
- 2) открывания и закрывания клапана наружного и рециркуляционного воздуха системы вентиляции;
- 3) для включения резервного циркуляционного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе оборудования – вентилятора и циркуляционных насосов.

Согласно п. 9.18 [3] предусмотрена автоматическая защита от замерзания воды в воздухонагревателях, т.к. температура наружного воздуха для рассматриваемого района в холодный период ниже минус 5°C.

Предусмотрено автоматическое регулирование температуры приточного воздуха на требуемом уровне согласно требованиям п. 9.11. [3], а также не превышение температуры обратного теплоносителя относительно графика качественного регулирования. Автоматическая защита от замерзания воды в воздухонагревателях и регулирование параметров осуществлено с помощью регулятора ECL-300 (поз. 1.5) с картой С-14.

### 1.3 Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Регулятор тем-

температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматики электрические.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Автоматическое регулирование системы вентиляции осуществляется регулятором температуры ECL comfort 300 (1.5). ECL comfort 300- электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты С-14. Карта С-14 позволяет выполнять следующие функции:

- 1) регулирование температуры приточного и внутреннего воздуха;
- 2) включение и выключение установки в заданное время;
- 3) изменение режимов регулирования по времени с помощью встроенного таймера;
- 4) осуществление прогрева воздухонагревателя в период пуска;
- 5) изменение режима регулирования при переходе температуры наружного воздуха через определенный рубеж;
- 6) защита воздухонагревателя от замерзания по температуре обратного теплоносителя у нагревателя.

В комплект регулятора входят датчики: температуры наружного воздуха; температуры внутреннего воздуха, температуры приточного воздуха; температуры обратного теплоносителя в контуре регу-

лирования и датчик температуры обратного теплоносителя в контуре защиты калорифера от замерзания. Датчики являются первичными приборами автоматики, получающие информацию о текущем значении температур и формирующие сигнал на вторичный прибор - регулятор ECL-300.

Возможные режимы работы системы вентиляции:

- полная рециркуляция воздуха;
- отсутствие рециркуляции;
- частичная рециркуляция воздуха.

Полная рециркуляция воздуха возможна, например, в ночное время при использовании системы в режиме дежурного отопления. Регулирование в ночное время осуществляется по температуре внутреннего воздуха путем изменения подачи теплоносителя в воздухонагреватель с помощью клапана (1.6) с электроприводом (1.7). Переключение на режим ночного регулирования по времени осуществляется с помощью встроенного таймера.

Регулирование температуры приточного воздуха (датчик 1.1) на заданном уровне осуществляется регулятором температуры (1.5) следующим образом:

- 1) при приточной схеме - путем изменения подачи теплоносителя в воздухонагреватель с помощью клапана (1.6) с электроприводом (1.7) при любых значениях температуры наружного воздуха;
- 2) при рециркуляционной схеме (рециркуляция до первого подогрева):
- 3) при  $t_n^p < t_n < t_{см}$  - путем изменения соотношения расходов наружного и рециркуляционного воздуха с помощью клапанов наружного и рециркуляционного воздуха по



сигналу от регулятора ECL-300 к электроприводам клапанов наружного и рециркуляционного воздуха;

- 4) при  $t_{см} < t_H < t_K$  путем изменения подачи теплоносителя в воздухонагреватель с помощью клапана (1.6) с электроприводом (1.7). Данная функция выполняется посредством передачи сигнала от регулятора ECL-300 к электроприводу клапана.

Режим регулирования изменяется при температуре наружного воздуха равной температуре смеси  $t_H = t_{см}$ . ECL-300 переключается с одного варианта применения на другой автоматически за счет считывания информации с чипа, который находится на карте С-14.

В системе предусмотрена защита калориферов от замерзания. Когда температура воды в обратном трубопроводе снижается ниже  $20^{\circ}\text{C}$ , сигнал от датчика (1.4) поступает на температурное реле (1.5). При данной температуре обратного теплоносителя происходит остановка вентилятора, закрывается сблокированный с ним клапан наружного воздуха и полностью открывается двухходовой клапан (1.6.) для максимального увеличения расхода теплоносителя. Таким образом, движение холодного воздуха прекращается, а циркуляция теплоносителя через калорифер продолжается. Вследствие отсутствия теплосъема, температура охлажденного теплоносителя начинает повышаться. При достижении температуры теплоносителя  $50^{\circ}\text{C}$  (заводская настройка регулятора) вентилятор включается, клапан наружного воздуха открывается и работа воздухонагревателя возобновляется.

Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 3.2.

### 3. Приборы и средства автоматизи

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматизи с указанием их стоимости

Спецификация на приборы и средства автоматизи с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

#### Спецификация на приборы и средства автоматизи

№	Наименование прибора	Цена, EURO без НДС	Кол- во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма- изготовитель
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECL Comfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.0. Датчик температуры воздуха в помещении (S2) типа ESM-10	42			
	1.1. Датчик температуры приточного воздуха (S3) погружной для систем вентиляции типа ESMU	75			
	1.2. Датчик температуры наружного воздуха (S1) типа ESM-10	42			
	1.3. Датчик температуры обратной воды в схеме обвязки калориферов (S4) типа ESMU	69			
	1.4. Датчик защиты от замерзания (S6) поверхностный типа ESM	42			
	1.5. Регулятор ECL 300 с картой C-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. Tmax=120°C, Pу=16 бар. Ду=15 мм, Kvs=2,5 м³/ч.	225			
	1.7. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
ИТОГО:		1225	1	1225	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический -50...+50,	20,7	4	82,8	АРК Энерго-сервис

	ТБ-1				
3.	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	2	27,96	WIKА, Германия; (Термия)
4.	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	2	44	Тесофи; Франция (Термия)
5.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
6.	Датчик давления ПДИ-1 для дистанционного измерения давления теплоносителя	66	2	132	Теплоком
7.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	14,3	Теплоком
8.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло		1	1 274	Теплоприбор

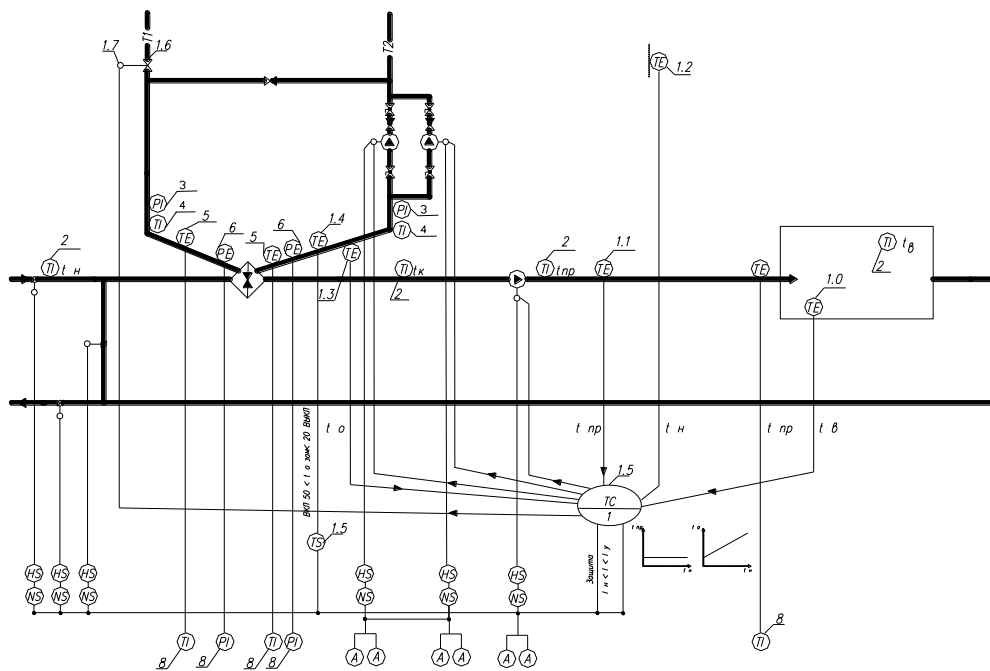


Рис. 3.2. Функциональная схема автоматизации вентиляционной системы с рециркуляцией вытяжного воздуха

## 1.14. Приточная вентиляционная установка с воздухонагревателем и воздухоохладителем

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы вентиляции: **приточная вентиляционная установка с воздухонагревателем и воздухоохладителем.** Выполнение проекта рекомендуется начать с изучения нормативных требований к автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха [3].

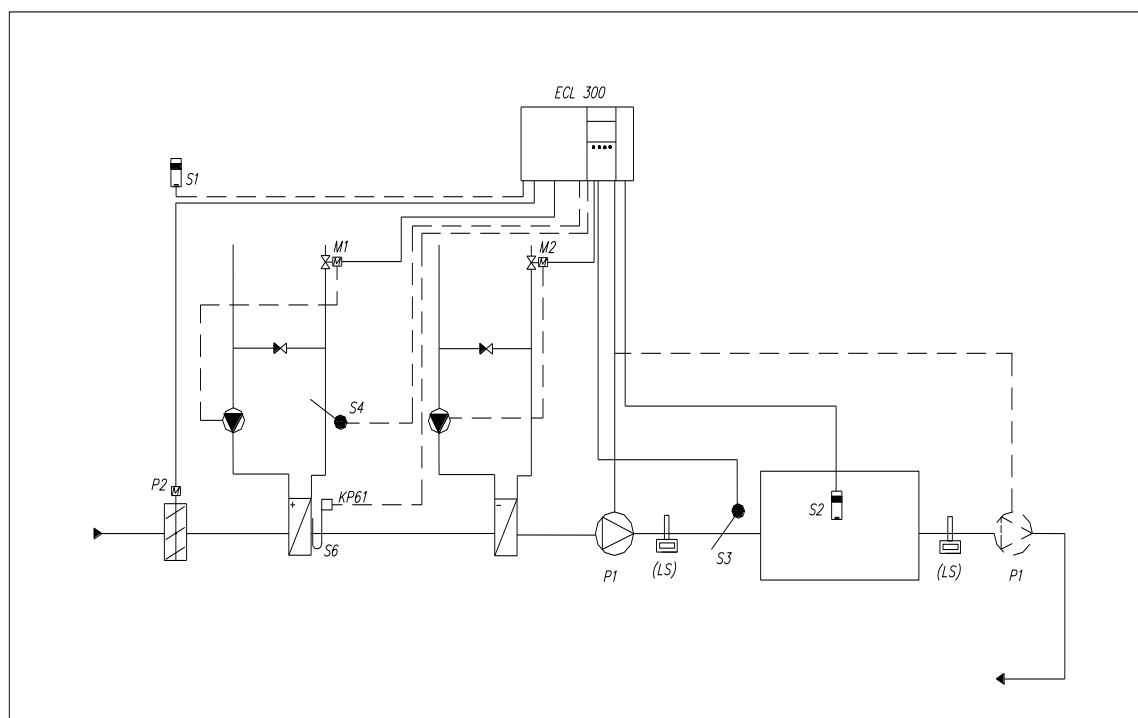


Рис.4.1. Принципиальная схема системы автоматики приточной вентиляционной установки с воздухонагревателем и воздухоохладителем

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика системы вентиляции

Приточная вентиляционная установка с воздухонагревателем для холодного периода года и воздухоохладителем для теплого периода года.

### *1.2 Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции*

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1] и [3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров теплоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены :

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры и давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры наружного, приточного и температуры воздуха в контрольном помещении.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры (5) и давления теплоносителя (6) и температуры приточного воздуха (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3]:

- 1) для открывания и закрывания клапанов наружного воздуха при включении и отключении вентилятора,
- 2) для включения резервного циркуляционного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе вентилятора и циркуляционных насосов.

Согласно п. 9.18 [3] предусмотрена автоматическая защита от замерзания воды в воздухонагревателях, т.к. температура наружного воздуха для рассматриваемого района в холодный период ниже минус 5°C.

Предусмотрено автоматическое регулирование температуры приточного воздуха на требуемом уровне согласно требованиям п. 9.11. [3], а также не превышение температуры обратного теплоносителя относительно графика качественного регулирования. Автоматическая защита от замерзания воды в воздухонагревателях и регулирование параметров осуществлено с помощью регулятора ECL-300 (поз. 1.5) с картой С-14.

### *1.3 Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматизации*

Приборы и средства автоматизации размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{\text{в}} = 5\text{-}25^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_{\text{в}}$  до 75%). Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматизации электрические.

## **2. Описание функциональной схемы автоматизации**

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматизации в спецификации.

Автоматическое регулирование системы вентиляции осуществляется регулятором температуры ECL comfort 300 (1.5). ECL comfort 300- электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты С-14. Карта С-14 позволяет выполнять следующие функции:

- 1) регулирование температуры приточного и внутреннего воздуха;
- 2) включение и выключение установки в заданное время;
- 3) изменение режимов регулирования по времени с помощью встроенного таймера;
- 4) осуществление прогрева воздухонагревателя в период пуска;
- 5) изменение режима регулирования при переходе температуры наружного воздуха через определенный рубеж;
- 6) защита воздухонагревателя от замерзания по температуре обратного теплоносителя у нагревателя.

В комплект регулятора входят датчики: температуры наружного воздуха; температуры внутреннего воздуха, температуры приточного воздуха; температуры обратного теплоносителя в контуре регулирования и датчик температуры обратного теплоносителя в контуре защиты калорифера от замерзания. Датчики являются первичными приборами автоматики, получающие информацию о текущем значении температур и формирующие сигнал на вторичный прибор - регулятор ECL-300.

PI-регулирование температуры приточного воздуха (датчик 1.1) и P-регулирование температуры внутреннего воздуха (датчик 1.0) с нейтральной зоной (в диапазоне температур наружного воздуха  $t_o^3$  до  $t_o^л$ ) между работой воздухонагревателя и воздухоохла-



дителя осуществляется регулятором температуры (1.5) следующим образом:

- 1) в зимний период температура поддерживается на постоянном уровне путем изменения подачи теплоносителя в воздухонагреватель с помощью клапана (1.6) с электроприводом (1.7);
- 2) в теплый период температура поддерживается на постоянном уровне путем изменения подачи холодоносителя в воздухоохладитель с помощью клапана (1.8) с электроприводом (1.9).

Режим регулирования изменяется при температуре наружного воздуха равной температуре  $t_0^3$  и  $t_0^1$ . ECL-300 переключается с одного варианта применения на другой автоматически за счет считывания информации с чипа, который находится на карте C-14.

В системе предусмотрена защита калориферов от замерзания. Когда температура воды в обратном трубопроводе снижается ниже  $20^{\circ}\text{C}$ , сигнал от датчика (1.4) поступает на температурное реле (1.5). При данной температуре обратного теплоносителя происходит остановка вентилятора, закрывается заблокированный с ним клапан наружного воздуха и полностью открывается двухходовой клапан (1.6.) для максимального увеличения расхода теплоносителя. Таким образом, движение холодного воздуха прекращается, а циркуляция теплоносителя через калорифер продолжается. Вследствие отсутствия теплосъема, температура охлажденного теплоносителя начинает повышаться. При достижении температуры теплоносителя  $50^{\circ}\text{C}$  (заводская настройка регулятора) вентилятор включается, клапан наружного воздуха открывается, и работа воздухонагревателя возобновляется.

Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 4.2.

### 3. Приборы и средства автоматизации

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматизации с указанием их стоимости

Спецификация на приборы и средства автоматизации с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 4.1.

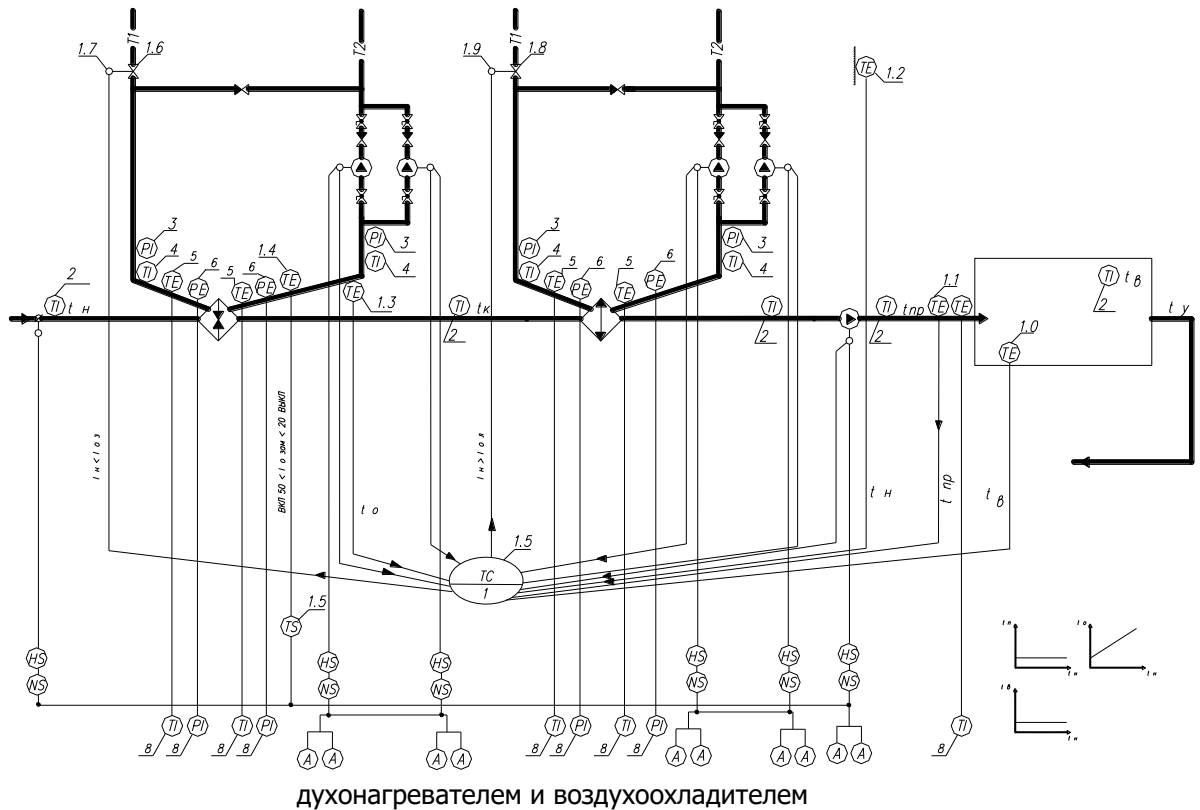
Таблица 4.1

#### Спецификация на приборы и средства автоматизации

№	Наименование прибора	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECL Comfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.0. Датчик температуры воздуха в помещении (S2) типа ESM-10	42			
	1.1. Датчик температуры приточного воздуха (S3) погружной для систем вентиляции типа ESMU	75			
	1.2. Датчик температуры наружного воздуха (S1) типа ESM-10	42			
	1.3. Датчик температуры обратной воды в схеме обвязки калориферов (S4) типа ESMU	69			
	1.4. Датчик защиты от замерзания (S6) поверхностный типа ESM	42			
	1.5. Регулятор ECL 300 с картой C-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. T <sub>max</sub> =120°C, P <sub>y</sub> =16 бар. Ду=15 мм, Kvs=2,5 м³/ч.	225			

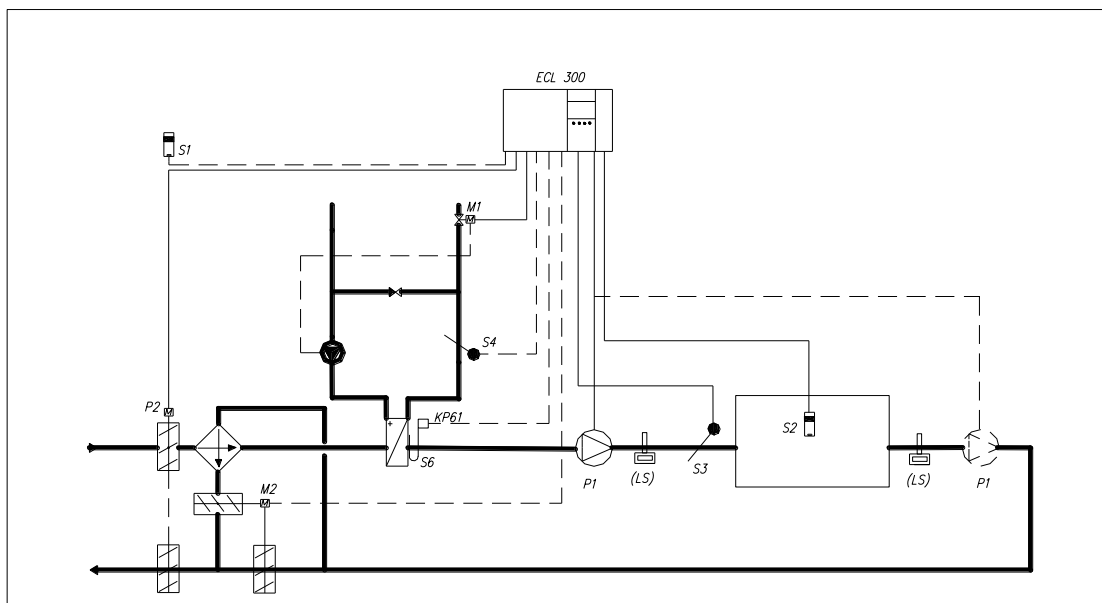
	1.7. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
	1.8. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. $T_{max}=120^{\circ}C$ , $P_y=16$ бар. $D_y=15$ мм, $Kvs=2,5$ м <sup>3</sup> /ч.	225			
	1.9. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
ИТОГО:		1801	1	1801	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический $-50...+50$ , ТБ-1	20,7	5	103,5	АРК Энергосервис
3.	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	4	55,92	WIKА, Германия; (Термия)
4.	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	4	88	Тесофи; Франция (Термия)
5.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	2	64,2	Теплоком
6.	Датчик давления ПДИ-1 для дистанционного измерения давления теплоносителя	66	4	264	Теплоком
7.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	14,3	Теплоком
8.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-160 с двенадцатью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло	1394	1	1394	Теплоприбор

Рис. 4.2. Функциональная схема автоматизации приточной вентиляционной установки с воз-



### 1.15. Вентиляционная система с утилизацией тепла вытяжного воздуха

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы вентиляции: **вентиляционная система с утилизацией тепла вытяжного воздуха**. Выполнение проекта рекомендуется начать с изучения нормативных требований к автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха [3].



**Рис. 5.1. Принципиальная схема автоматизации системы вентиляции с утилизацией тепла вытяжного воздуха**

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика системы вентиляции

Приточная вентиляционная установка с воздухонагревателем и теплоутилизатором с нейтральной зоной между работой воздухонагревателя и заслонок на теплоутилизаторе.

### 1.2. Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1] и [3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров теплоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены:

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры и давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры наружного, приточного и температуры воздуха в контрольном помещении.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры (5) и давления теплоносителя (6) и температуры внутреннего воздуха (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3] для включения резервного циркуляционного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе циркуляционных насосов.

Предусмотрено автоматическое PI-регулирование температуры теплоносителя и P-регулирование температуры воздуха в помещении, а также не превышение температуры обратного теплоносителя относительно графика качественного регулирования. Автоматическое регулирование параметров осуществлено с помощью регулятора ECL-300 (поз. 1.5) с картой С-14.

### 1.3 Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматизации

Приборы и средства автоматизации размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_{в}$  до 75%). Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматизации электрические.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Автоматическое регулирование системы вентиляции осуществляется регулятором температуры ECL comfort 300 (1.5). ECL comfort 300- электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты С-14. Карта С-14 позволяет выполнять следующие функции:

- 1) регулирование температуры приточного и внутреннего воздуха;
- 2) включение и выключение установки в заданное время;
- 3) изменение режимов регулирования по времени с помощью встроенного таймера;
- 4) осуществление прогрева воздухонагревателя в период пуска;
- 5) изменение режима регулирования при переходе температуры наружного воздуха через определенный рубеж;
- 6) защита воздухонагревателя от замерзания по температуре обратного теплоносителя у нагревателя.

В комплект регулятора входят датчики: температуры наружного воздуха; температуры внутреннего воздуха, температуры приточного воздуха; температуры обратного теплоносителя в контуре регулирования и датчик температуры обратного теплоносителя в контуре защиты калорифера от замерзания. Датчики являются первичными приборами автоматики, получающие информацию о текущем значе-

нии температур и формирующие сигнал на вторичный прибор – регулятор ECL-300.

PI-регулирование температуры приточного воздуха (1.1) и P-регулирование температуры внутреннего воздуха (1.0) с нейтральной зоной между работой воздухонагревателя и теплоутилизатора осуществляется регулятором температуры (1.4) следующим образом:

- 1) при  $t_n < t_{\text{пер.реж}}$  температура поддерживается на постоянном уровне путем изменения подачи теплоносителя в воздухонагреватель с помощью клапана (1.6) с электроприводом (1.7);
- 2) при  $t_n \geq t_{\text{пер.реж}}$  температура поддерживается на постоянном уровне путем изменения положения заслонок с электроприводами (1.8) на теплоутилизаторе.

Режим регулирования изменяется при температуре наружного воздуха равной температуре переключения режимов  $t_{\text{пер.реж}}$ . ECL-300 переключается с одного варианта применения на другой автоматически за счет считывания информации с чипа, который находится на карте С-14.

В системе предусмотрена защита калориферов от замерзания. Когда температура воды в обратном трубопроводе снижается ниже  $20^{\circ}\text{C}$ , сигнал от датчика (1.4) поступает на температурное реле (1.5). При данной температуре обратного теплоносителя происходит остановка вентилятора, закрывается сблокированный с ним клапан наружного воздуха и полностью открывается двухходовой клапан (1.6.) для максимального увеличения расхода теплоносителя. Таким образом, движение холодного воздуха прекращается, а циркуляция теплоносителя через калорифер продолжается. Вслед-



ствии отсутствия теплосъема, температура охлажденного теплоносителя начинает повышаться. При достижении температуры теплоносителя 50°C (заводская настройка регулятора) вентилятор включается, клапан наружного воздуха открывается и работа воздухонагревателя возобновляется.

Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 5.2.

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Спецификация на приборы и средства автоматики**

№	Наименование прибора	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECL Comfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.0. Датчик температуры воздуха в помещении (S2) типа ESM-10	42			
	1.1. Датчик температуры приточного воздуха (S3) погружной для систем вентиляции типа ESMU	75			
	1.2. Датчик температуры наружного воздуха (S1) типа ESM-10	42			
	1.3. Датчик температуры обратной воды в схеме обвязки калориферов (S4) типа ESMU	69			

	1.4. Датчик защиты от замерзания (S6) поверхностный типа ESM	42			
	1.5. Регулятор ECL 300 с картой C-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. T <sub>max</sub> =120°C, P <sub>y</sub> =16 бар. Ду=15 мм, K <sub>vs</sub> =2,5 м <sup>3</sup> /ч.	225			
	1.7. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
ИТОГО:		1225	1	1225	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический - 50...+50, ТБ-1	20,7	4	82,8	АРК Энергосервис
3.	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	2	27,96	WIKА, Германия; (Термия)
4.	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	2	44	Тесофи; Франция (Термия)
5.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
6.	Датчик давления ПДИ-1 для дистанционного измерения давления теплоносителя	66	2	132	Теплоком
7.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	14,3	Теплоком
8.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло	1 274	1	1 274	Теплоприбор

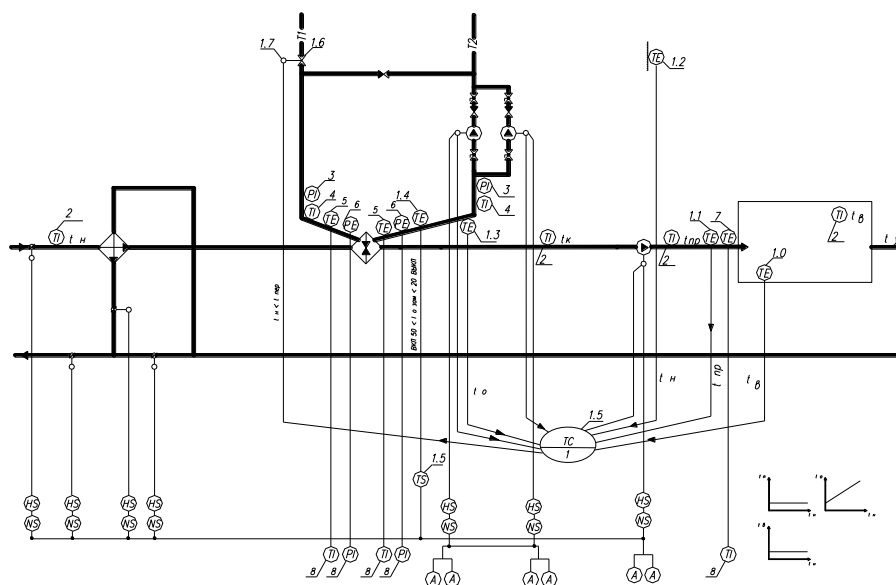


Рис. 5.2. Функциональная схема автоматизации вентиляционной системы с утилизацией тепла вытяжного воздуха

### 1.16. Система с воздушно- отопительными агрегатами и регулированием постоянной температуры воздуха в помещении

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной системы с воздушно- отопительными агрегатами и регулированием постоянной температуры воздуха в помещении. Выполнение проекта рекомендуется начать с изучения нормативных требований к автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха [3].

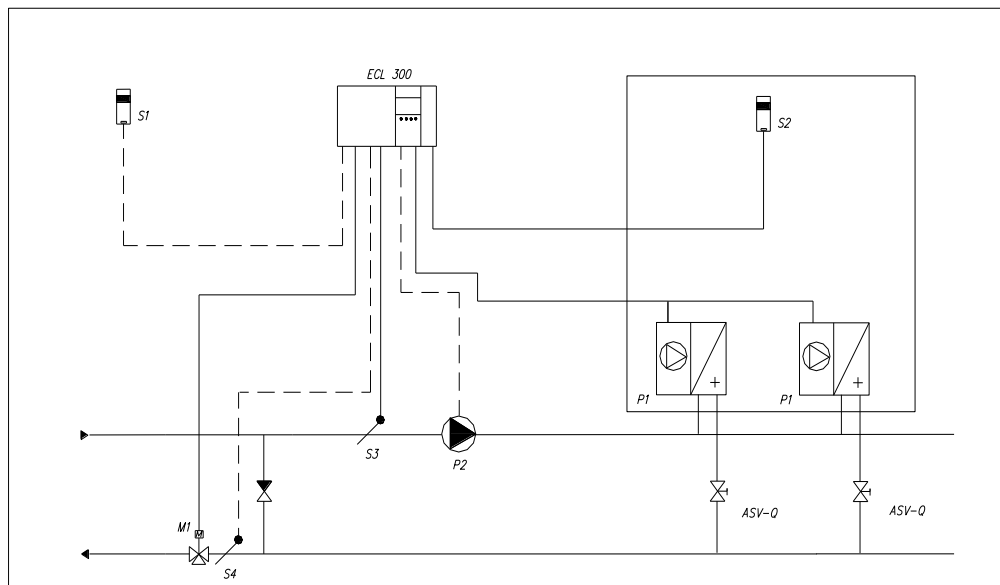


Рис. 6.1. Принципиальная схема автоматизации системы с воздушно- отопительными агрегатами и регулированием постоянной температуры воздуха в помещении

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика системы вентиляции

Система с воздушно-отопительными агрегатами и регулированием постоянной температуры воздуха в помещении.

### 1.2 Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1] и [3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров теплоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены :

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры и давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры наружного воздуха и температуры воздуха в контрольном помещении.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры (5) и давления теплоносителя (6) и температуры внутреннего воздуха (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3] для включения резервного циркуляционного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе вентиляторов воздушно-отопительных агрегатов и циркуляционных насосов.

Предусмотрено автоматическое регулирование температуры внутреннего воздуха на требуемом уровне согласно требованиям п. 9.11. [3], а также не превышение температуры обратного теплоносителя относительно графика качественного регулирования. Автоматическое регулирование параметров осуществлено с помощью регулятора ECL-300 (поз. 1.5) с картой С-14.

### 1.3 Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматике

Приборы и средства автоматике размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматике электрические.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматике в спецификации.

Автоматическое регулирование системы вентиляции осуществляется регулятором температуры ECL comfort 300 (1.5). ECL comfort 300- электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты С-14. Карта С-14 позволяет выполнять следующие функции:

- 1) регулирование температуры внутреннего воздуха;
- 2) регулирование температуры теплоносителя;
- 3) включение и выключение установки в заданное время;
- 4) изменение режимов регулирования по времени с помощью встроенного таймера.

В комплект регулятора входят датчики температуры: наружного воздуха; внутреннего воздуха; температуры подающего и обратного теплоносителя. Датчики являются первичными приборами автомати-

ки, получающие информацию о текущем значении температур и формирующие сигнал на вторичный прибор – регулятор ECL-300.

PI-регулирование температуры теплоносителя (1.4) и P-регулирование температуры внутреннего воздуха (1.1) осуществляется регулятором температуры (1.5) следующим образом:

- температура теплоносителя поддерживается на постоянном уровне путем изменения соотношения расходов горячего и охлажденного теплоносителя с помощью клапана (1.6) с электроприводом (1.7);
- температура внутреннего воздуха поддерживается на постоянном уровне путем изменения расхода теплоносителя циркуляционным насосом.

Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 6.2.

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

#### Спецификация на приборы и средства автоматики

№	Наименование прибора	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECL Comfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.1. Датчик температуры воздуха в помещении (S2) типа ESM-10	42			

	1.2. Датчик температуры наружного воздуха (S1) типа ESM-10	42			
	1.3. Датчик температуры теплоносителя (S3) типа ESM-11	42	2		
	1.4. Датчик температуры обратной воды в схеме обвязки калориферов (S4) типа ESMU	69	2		
	1.5. Регулятор ECL 300 с картой C-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. T <sub>max</sub> =120°C, P <sub>y</sub> =16 бар. Ду=15 мм, K <sub>vs</sub> =2,5 м <sup>3</sup> /ч.	225			
	1.7. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
ИТОГО:		1261	1	1261	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический - 50...+50, ТБ-1	20,7	1	20,7	АРК Энерго-сервис
3.	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	6	83,88	WIKА, Германия; (Термия)
4.	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	4	88	Тесофи; Франция (Термия)
5.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
6.	Датчик давления ПДИ-1 для дистанционного измерения давления теплоносителя	66	2	132	Теплоком
7.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	14,3	Теплоком
8.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий	1 274	1		



прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло			1 274	Теплоприбор
--	--	--	-------	-------------

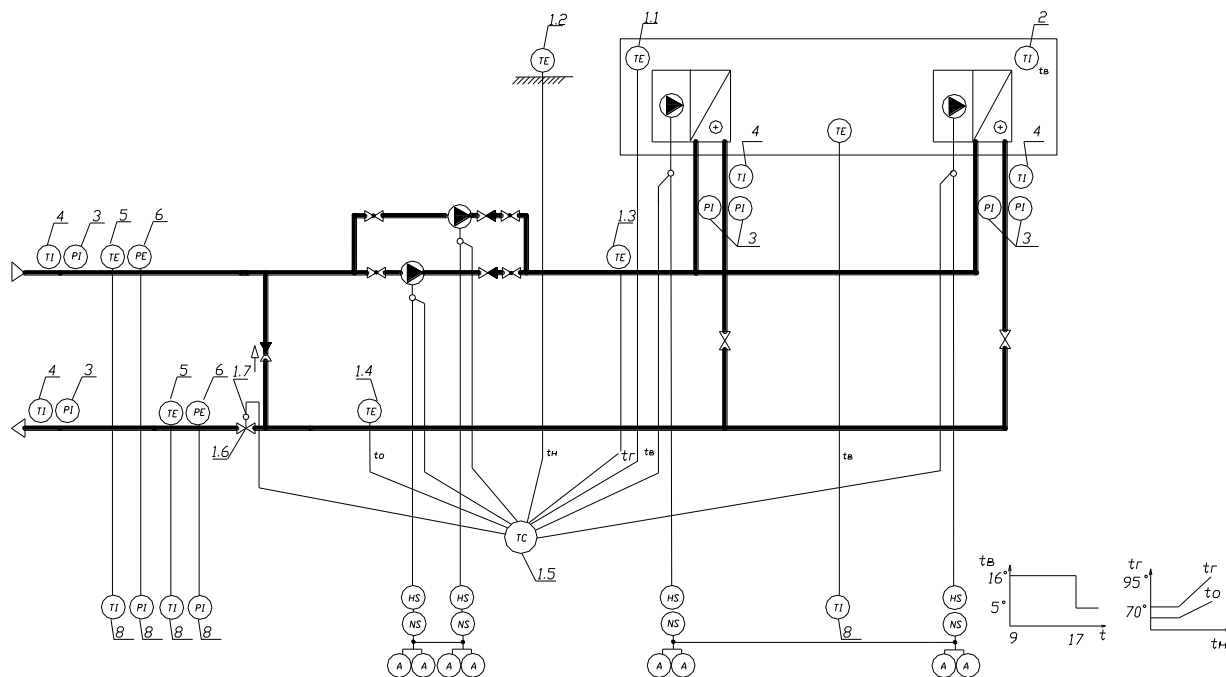


Рис. 6.2. Функциональная схема системы с воздушно-отопительными агрегатами и регулированием постоянной температуры воздуха в помещении

### 1.17. Система воздушного охлаждения помещения с воздушно-охладительными агрегатами

*Задание:* Разработать проект автоматизации заданной **системы** **воздушного** **охлаждения** **помещения** **с** **воздушно-** **охладительными** **агрегатами**. Выполнение проекта рекомендуется начать с изучения нормативных требований к автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха [3].

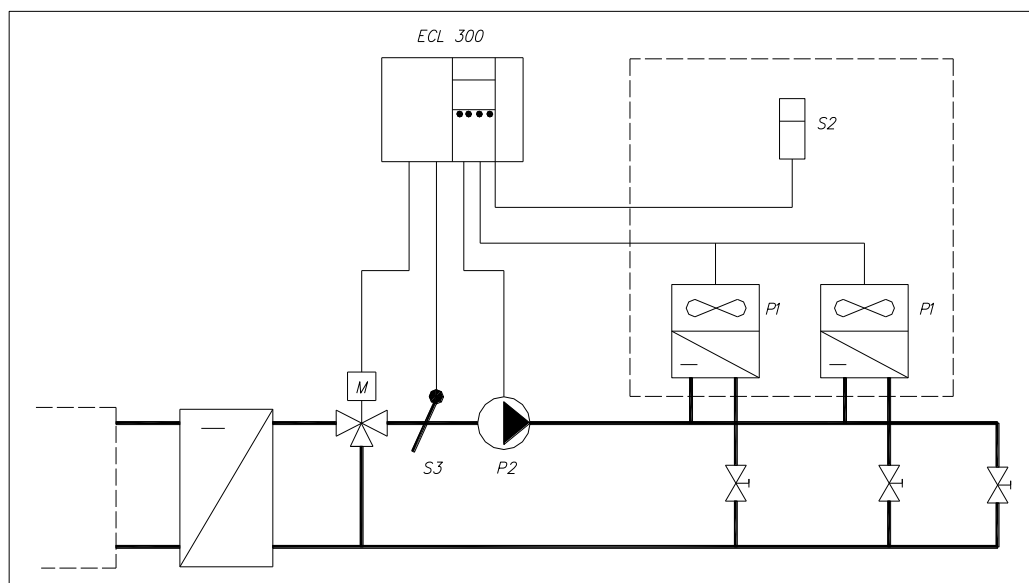


Рис. 7.1. Принципиальная схема автоматизации системы воздушного охлаждения помещения с воздушно-охладительными агрегатами.

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика системы вентиляции

Система с воздушно-охладительными агрегатами и поддержанием постоянной температуры воздуха в помещении.

### 1.2 Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1] и [3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров теплоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены :

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры холодоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры наружного и температуры воздуха в контрольном помещении.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры (5) и давления хладоносителя (6) и температуры внутреннего воздуха (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3] для включения резервного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе циркуляционных насосов.

Предусмотрено автоматическое PI-регулирование температуры охлажденной воды и P-регулирование температуры воздуха в помещении. Автоматическое регулирование системы осуществляется регулятором температуры ECL 300 с картой C-14 (поз.1.5), который осуществляет управление воздушно-охладительными агрегатами и циркуляционным насосом.

### 1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматики электрические.

## 2. Описание функциональной схемы автоматизации

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Автоматическое регулирование системы вентиляции осуществляется регулятором температуры ECL comfort 300 (1.5). ECL comfort 300-электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты C-14. Карта C-14 позволяет выполнять следующие функции:

- 1) регулирование температуры внутреннего воздуха;
- 2) регулирование температуры хладоносителя;
- 3) включение и выключение установки в заданное время;

4) изменение режимов регулирования по времени с помощью встроенного таймера.

В комплект регулятора входят датчики температуры: наружного воздуха (1.2); внутреннего воздуха (1.1); температуры подающего (1.3) и обратного (1.4) холодоносителя. Датчики являются первичными приборами автоматики, получающие информацию о текущем значении температур и формирующие сигнал на вторичный прибор – регулятор ECL-300.

PI-регулирование температуры холодоносителя (1.3) и P-регулирование температуры внутреннего воздуха (1.1) осуществляется регулятором температуры (1.4) следующим образом:

- температура холодоносителя поддерживается на постоянном уровне путем изменения соотношения расходов подающего и обратного холодоносителя с помощью трехходового клапана (1.6) с электроприводом (1.7);
- температура внутреннего воздуха поддерживается на постоянном уровне путем изменения расхода холодоносителя циркуляционным насосом.

Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 7.2.

### **3. Приборы и средства автоматики**

#### **3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости**

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1

#### **Спецификация на приборы и средства автоматики**

№	Наименование прибора	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECL Comfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.1. Датчик температуры воздуха в помещении (S2) типа ESM-10	42			
	1.2. Датчик температуры наружного воздуха (S1) типа ESM-10	42			
	1.3. Датчик температуры теплоносителя (S3) типа ESM-11	42	2		
	1.4. Датчик температуры обратной воды в схеме обвязки калориферов (S4) типа ESMU	69	2		
	1.5. Регулятор ECL 300 с картой C-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. T <sub>max</sub> =120°C, P <sub>y</sub> =16 бар. Ду=15 мм, Kvs=2,5 м³/ч.	225			
	1.7. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
ИТОГО:		1150	1	1150	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический - 50...+50, ТБ-1	20,7	2	41.	АРК Энерго-сервис
3.	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	6	83,88	WIKА, Германия; (Термия)
4.	Термометр для измерения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	4	88	Тесофи; Франция (Термия)
5.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-	32,1	1	32,1	Теплоком

	Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя				
6.	Датчик давления ПДИ-1 для дистанционного измерения давления теплоносителя	66	2	132	Теплоком
7.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	34	Теплоком
8.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло	1 274	1	1 274	Теплоприбор

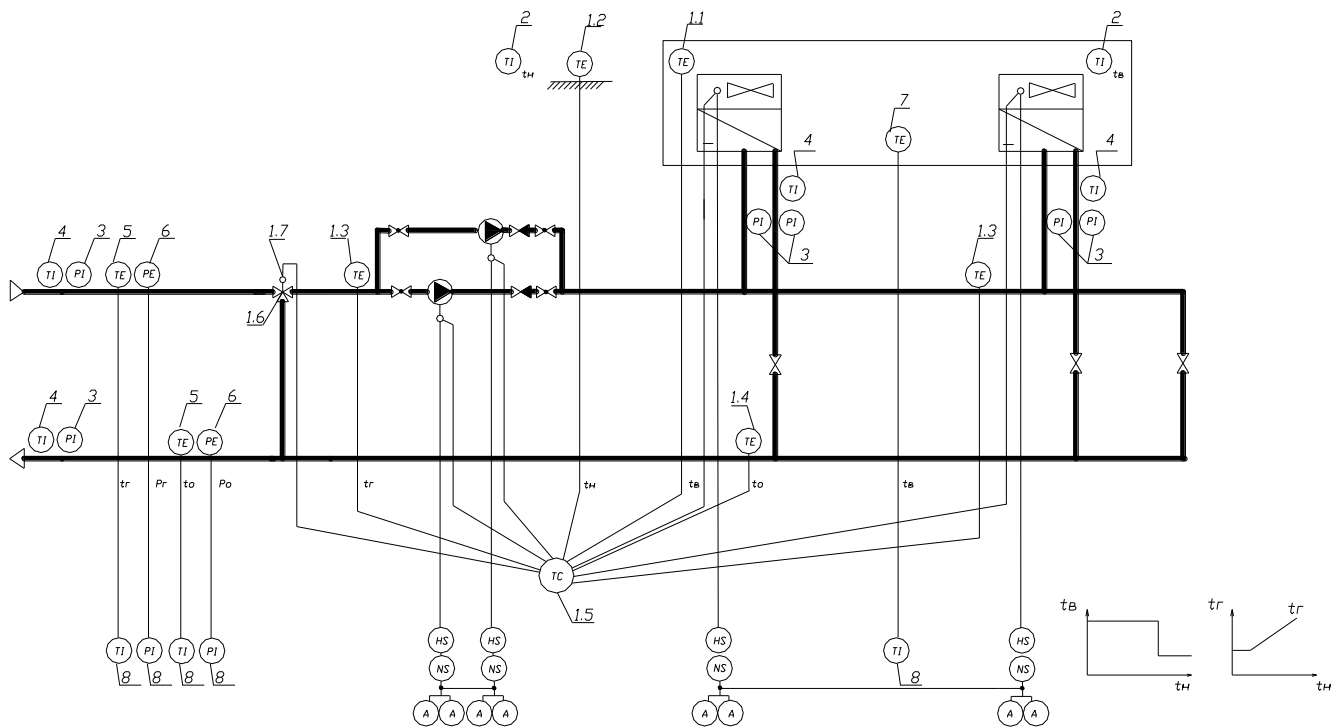


Рис. 7.2. Функциональная схема автоматизации системы воздушного охлаждения помещения с воздушно-охладительными агрегатами

## 1.18. Холодильная камера

*Задание:* Разработать проект автоматизации **холодильной камеры**. Выполнение проекта рекомендуется начать с изучения нормативных требований к автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха [3].



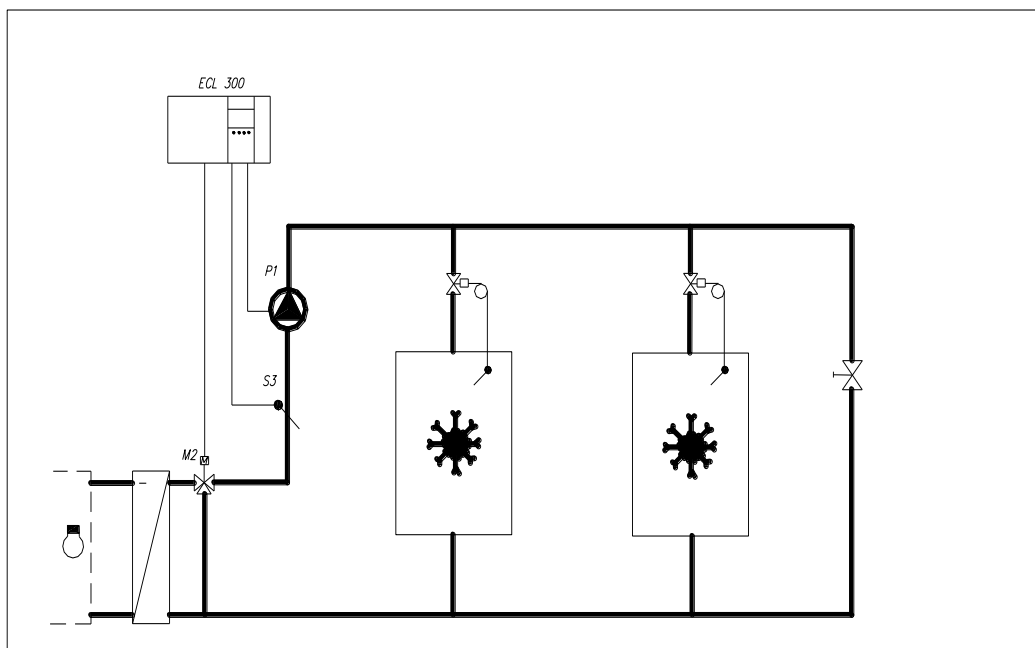


Рис.8.1. Принципиальная схема автоматизации холодильной камеры

## 1. Исходные данные для проектирования

### 1.1. Характеристика системы вентиляции

Холодильные камеры с поддержанием постоянной температуры охлажденной воды регулятором температуры ECL comfort –300 и температуры воздуха в камерах с помощью регуляторов прямого действия.

### 1.2 Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1] и [3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров холодоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены :

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры и давления холодоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры воздуха в холодильной камере.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры воздуха в холодильной камере (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3] для включения резервного циркуляционного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе циркуляционных насосов.

Предусмотрено автоматическое PI-регулирование температуры охлажденной воды регулятором температуры ECL 300 с картой C-14 (поз.1.5). Температура воздуха в холодильной камере поддерживается регулятором прямого действия.

### 1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасном помещении, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в}$  до 75%). Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный

контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматики электрические.

## **2. Описание функциональной схемы автоматизации**

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Автоматическое регулирование осуществляется регулятором температуры ECL comfort 300 (1.4). ECL comfort 300- электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты С-14. Карта С-14 позволяет выполнять следующие функции:

- 1) регулирование температуры холодоносителя;
- 2) включение и выключение установки в заданное время.

PI-регулирование температуры охлажденной воды (датчик 1.3) осуществляется регулятором температуры (1.4) следующим образом: температура охлажденной воды поддерживается на постоянном уровне путем изменения соотношения расходов подающего и обратного холодоносителя с помощью трехходового клапана (1.6) с электроприводом (1.5).

Температура воздуха в холодильной камере поддерживается на постоянном уровне путем изменения расхода холодоносителя регулятором температуры прямого действия (8).

Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 8.2.

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 8.1.

Таблица 8.1

#### Спецификация на приборы и средства автоматики

№	Наименование прибора	Цена, EURO без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECL Comfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.3. Датчик температуры холодоносителя (S3) типа ESM-11	42			
	1.5. Регулятор ECL 300 с картой C-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 3-х ходовой VF-3 фланцевый. T <sub>max</sub> =120°C, P <sub>y</sub> =16 бар. Ду=15 мм, Kvs=4,0 м <sup>3</sup> /ч.	401			
	1.7. Электропривод AMV-123 для клапана VF, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	422			
ИТОГО:		1244	1	1244	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический -50...+50, ТБ-1	20,7	4	82,8	АРК Энерго-сервис
3.	Манометр для измерения давления холодоносителя класс точности 1,6; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,98	2	27,96	WIKА, Германия; (Термия)
4.	Термометр для измерения температуры холодоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100	22	2	44	Тесоfi; Франция (Термия)
7.	Двухканальный измеритель температуры 2ТРМО с датчиками температуры ТСМ 50М -50...+200°C	32,1	1	32,1	Овен

8	Регулятор температуры прямого действия в комплекте:				Данфосс
	8.1. Термостатический элемент АТ, диапазон настройки $-10 - +40^{\circ}\text{C}$ для клапанов VIG-2 $D_y=15...25$ мм	135			
	8.2. Клапан VIG-2 $D_y=15$ мм	167,50			
ИТОГО:		302,5	1	302,5	

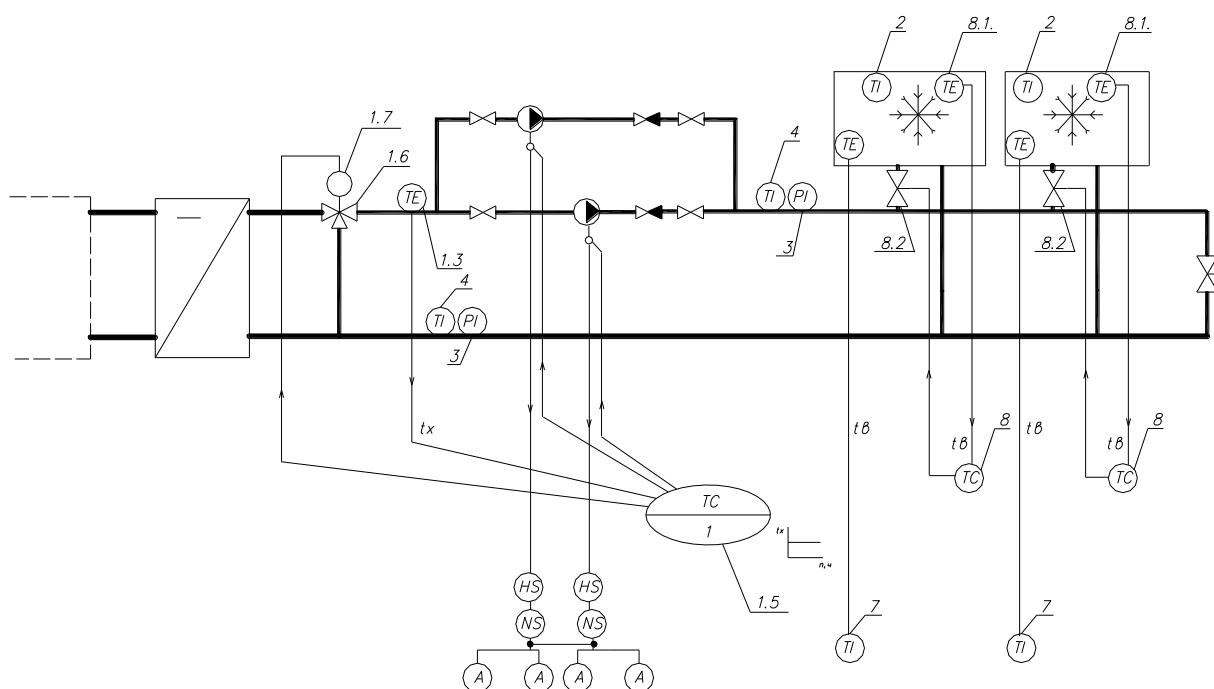


Рис. 8.2. Функциональная схема автоматизации холодильной камеры

### **1.19. Библиографический список по системам вентиляции и кондиционирования воздуха**

1. ГОСТ 21.404-85 «Приборы и средства автоматизации. Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов»
2. Калмаков А.А., Кувшинов Ю.Я. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции.-М.: Стройиздат, 1986.-479 с.
3. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция, кондиционирование» / Госстрой СССР .-М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.-64 с.
4. СНиП 2.04.07-86 «Тепловые сети»
5. СНиП II-35-76 «Котельные установки»
6. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов
7. СНиП 2.04.08-87 Газоснабжение.-М.: ГП ЦПП,1996.-68 с.
8. Правила учета тепловой энергии
9. Каталоги фирмы «Danfoss».
10. Каталоги фирмы «Взлет».
11. Каталоги фирмы «Логика».
12. Каталоги фирмы «Теплоком».
13. Каталоги фирмы «Теплоавтоматика».
14. Каталоги фирмы «Овен».
15. Автоматизация и управление процессами теплоснабжения и вентиляции. Задания к контрольной работе для студентов специальности 290700 «Теплогазоснабжение и вентиляция» заочной и заочной ускоренной форм обучения на базе среднего специального профессионального образования на 2003-2004 учебный год.
16. Аналитическая справка./Информприбор.

## 2. Характеристика функциональной схемы типовой системы автоматизации как совокупности контуров автоматического регулирования технологического параметра

Приведенные описания функциональных схем автоматизации всех типовых систем содержит описание их как совокупности локальных контуров автоматического регулирования технологического параметра.

Объединенное автоматическое регулирование локальных САР осуществляет микропроцессорный регулятор, который настраивается для работы с помощью ЧИП-карты. ЧИП-карта позволяет настроить контроллер на функции управления и регулирования.

Стремительное развитие микропроцессорных средств привело к их широкому использованию для автоматизации технологических процессов в различных сферах производственной деятельности человека. К настоящему времени созданы и выпускается серийно как отечественными, так и зарубежными производителями, большое многообразие технических средств на базе микропроцессорных элементов. К их числу относятся микроЭВМ различных модификаций, конструкций и функциональных возможностей. На их основе для автоматизации и, в частности, для автоматического регулирования, выпускаются управляющие устройства трех типов.

**Промышленные компьютеры** специального использования (некоторое подобие «офисных» компьютеров) — предназначены для использования в автоматизированных системах управления техно-

логическими процессами (**АСУТП**) в качестве серверов (головных компьютеров). Они выполняют многообразные функции на верхнем уровне АСУ ТП, в том числе и функции регуляторов локальных САР.

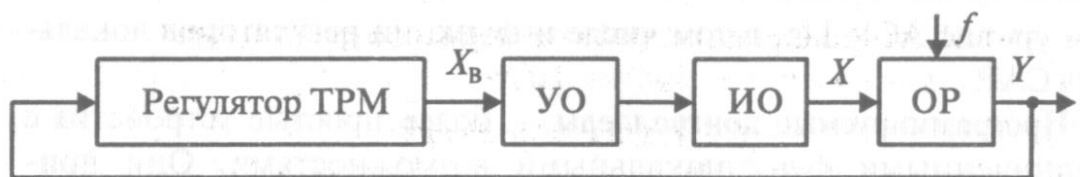
**Программируемые контроллеры** — более простые устройства с ограниченными функциональными возможностями. Они применяются на нижних уровнях АСУ ТП или автономно для непосредственного управления отдельными технологическими установками, аппаратами и агрегатами, в том числе и в их локальных САР. В зависимости от конструктивных особенностей, функциональных и вычислительных возможностей, а также методов программирования их называют программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), регулирующими микроконтроллерами (ремиконтами) или просто микроконтроллерами.

**Управляющие устройства с «жесткой» логикой**, сформированной программными средствами на стадии их проектирования и изготовления. Они, как и программируемые контроллеры, могут использоваться в составе **АСУ** ТП или автономно в качестве регуляторов **САР**.

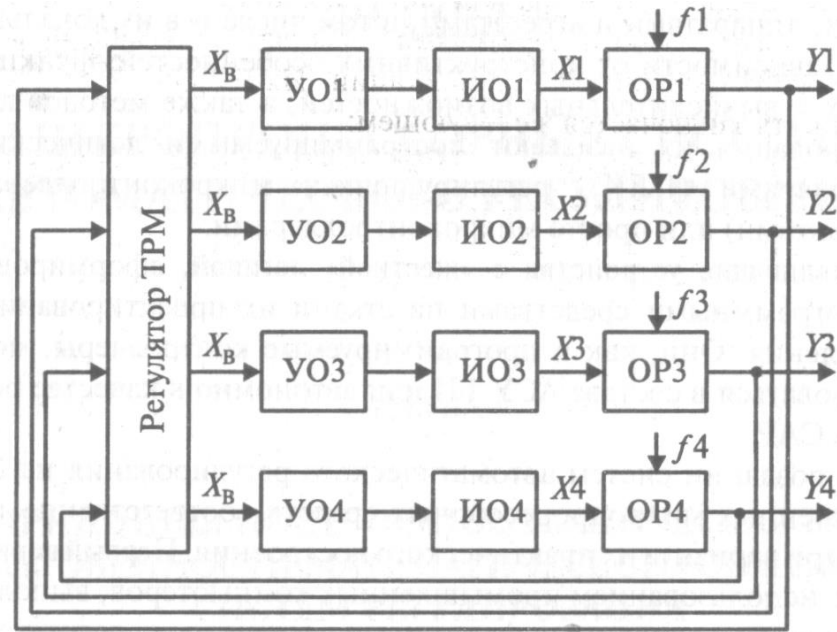
При создании систем автоматического регулирования на базе рассмотренных микропроцессорных средств соответственно возможны три варианта их практического построения. **Первый вариант** связан с использованием промышленных компьютеров, выполняющих, наряду с основными функциями сервера, роль регуляторов большого числа объектов регулирования, в том числе и многомерных объектов. **Второй вариант** ориентирован на использование в качестве регуляторов программируемых контроллеров. Для реализации второго варианта могут быть использованы микроконтроллеры, серийный выпуск которых освоен как отечественными



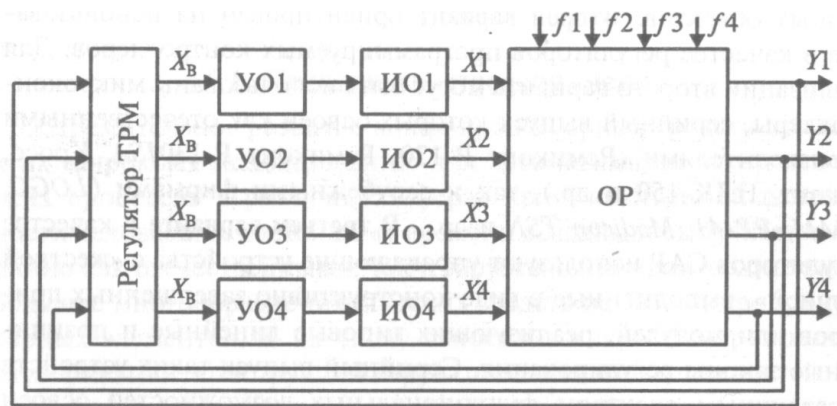
производителями (Ремиконт Р-130, Ремиконт Р-130/5/1, Кросс, Деконт, ПЛК-150 и др.), так и зарубежными фирмами (*LOGO, ADAM, PP-41, Modicon TSN* и др.). **В третьем варианте** в качестве регуляторов САУ используют управляющие устройства с «жесткой логикой», выполненные в виде конструктивно завершенных приборов или модулей, реализующих типовые линейные и позиционные законы регулирования. Серийный выпуск таких устройств с различным спектром функциональных возможностей освоен упомянутыми выше отечественными и зарубежными производителями. К числу таких устройств относятся **измерители-регуляторы**, массовый серийный выпуск которых освоен отечественными производственными объединениями «ОВЕН» (ПО «ОВЕН»). Они позволяют создавать САУ различной конфигурации (рис. 2.1).



а



б



в

Рис. 2.1. Варианты функциональных схем САУ:

а – одноконтурная система с использованием одного канала; б – многоконтурная система с использованием нескольких каналов; в – многомерная система

## Микропроцессорные измерители-регуляторы ПО «ОВЕН»

### Общие сведения

ПО «ОВЕН», наряду с широким спектром различных микропроцессорных средств автоматизации, серийно выпускает определенный номенклатурный ряд унифицированных и универсальных приборов, называемых **измерителями — регуляторами микропроцес-**

**сорными ТРМ**, различной модификации. Их унификация и универсальность заключается в следующем:

- во всех модификациях ТРМ использованы одинаковые принципы построения и работы;
- функционально они обеспечивают автоматический контроль и регулирование большого многообразия регулируемых (выходных) величин объектов регулирования, различных по своей физической сущности (температуры, влажности, газообразных и сыпучих средств, давления, унифицированных электрических сигналов в виде токов, напряжений и др.).

Измерители-регуляторы ТРМ (в дальнейшем по тексту именуемые как «регулятор ТРМ», «регулятор» или «ТРМ») выпускаются как с одним каналом измерения и регулирования, так и многоканальными (до восьми каналов). Обобщенная функциональная схема регуляторов показана на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Обобщенная функциональная схема измерителя-регулятора типа ТРМ

**Входы регулятора** ТРМ позволяют подключать медные (ТСМ) и платиновые (ТСП) термопреобразователи сопротивления; термодпары: хромель-копелевые (ТХК), хромель-алюмелевые (ТХА), платинородий-платиновые (ТПП), вольфам-рениевые (ТВР), платинородиевые (ТПР) и др.; датчики с унифицированными выходными сигналами тока (0 ... 5

мА, 0 ... 20 мА, 4 ... 20 мА) и напряжения (—50 ... +50 мВ, 0 ... 1 В); резистивные датчики (до 900 Ом).

Тип подключаемого датчика задается при программировании регулятора посредством введения соответствующего ему кода.

В **блоке обработки входного сигнала** осуществляется коррекция и цифровая фильтрация измеренных значений и могут вычисляться дополнительные контролируемые параметры (величины).

**Коррекция измерений.** В большинстве регуляторов ТРМ применяют два типа коррекции, позволяющих сдвигать или изменять наклон статической характеристики измерительного тракта регулятора (в технической документации ПО «ОВЕН» на регуляторы ТРМ ее называют измерительной характеристикой).

**Цифровая фильтрация измерений.** Она уменьшает влияние помех, источником которых могут быть электромагнитные процессы в атмосфере, электрические устройства и установки (электрические двигатели, генераторы, радиостанции и др). В большинстве регуляторов ТРМ в блоке обработки входного сигнала предусмотрена двухступенчатая фильтрация: так называемая *полосовая*, устраняющая значительные единичные помехи, и *сглаживающая*, снижающая действие небольших высокочастотных помех.

**Сглаживающая фильтрация** в блоке обработки входного сигнала регулятора осуществляется на основе экспоненциального фильтра, реализующего численными методами передаточную функцию

$$W_{\Phi}(p)=1/(T_{\Phi}p+1),$$

где  $T_{\Phi}$  — постоянная времени цифрового фильтра.

Постоянная времени фильтра  $T_{\Phi}$  — программируемый параметр, значение которого задают с учетом спектрального состава помех: большие значения  $T_{\Phi}$  повышают инерционность регулятора, но при

этом защищенность регулятора от высокочастотных помех возрастает; при уменьшении  $T_f$  достигается обратный эффект.

**Логическое устройство** регулятора предназначено для выполнения главных функций по реализации алгоритмов регулирования САР. В зависимости от типа и модификации регуляторов ТРМ их логические устройства реализуют типовые линейные законы регулирования (П-, ПД-, ПИ-, ПИД-законы) и различные релейные (позиционные) законы регулирования.

**Выходное устройство** регулятора предназначено для формирования выходного сигнала и его передачи на исполнительный механизм (исполнительный орган) либо на регистрирующее устройство. Выходные устройства, в зависимости от модификаций регуляторов, могут быть ключевого и аналогового типа.

#### *Алгоритмы функционирования регуляторов*

Функциональную схему САР применительно к термическому объекту регулирования, в качестве регулятора в которой использован измеритель-регулятор ТРМ, с учетом обозначений, принятых в технической документации, можно представить в виде, показанном на рис. 2.2.

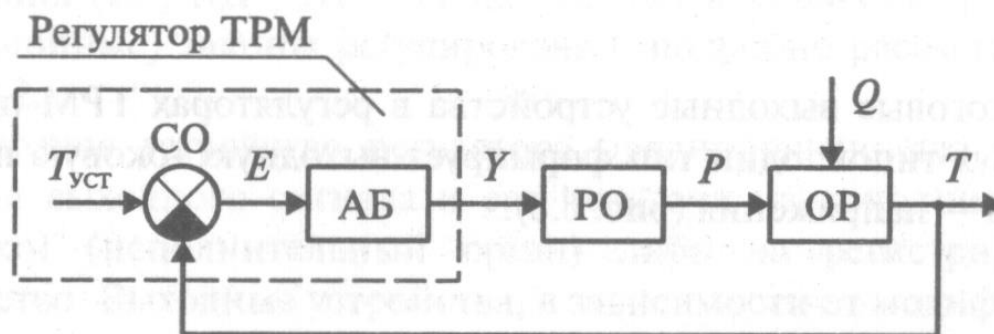


Рис. 2.2. Функциональная схема САР температуры проточного водонагревателя:

$T = \theta$  — регулируемая величина;  $Y=U$ —выходной сигнал регулятора;  $T_{уст}$  — задающее воздействие; АБ — условный алгоритмический блок, реализующий в логическом устройстве один из линейных или релейных законов регулирования

Логическое устройство, в зависимости от модификации регулятора ТРМ, может формировать ПИД-закон регулирования и на его основе более простые П-, ПД-, ПИ- законы.

Интегро-дифференциальное уравнение ПИД-закона регулирования имеет следующий вид:

$$Y = k_p(E + T_d dE/dt + 1/T_i \int E dt), \quad (2.1)$$

где  $k_p$  — коэффициент передачи (усиления);

$T_d$  — постоянная времени дифференцирования;

$T_i$  — постоянная времени интегрирования.

Алгоритмическая сущность регулятора при реализации ПИД-закона регулирования заключается в следующем:

- через определенный временной интервал  $\Delta t_{изм}$  (равный интервалу опроса датчика  $T_0$ ) осуществляется измерение регулируемой величины  $T_i$ ;
- вычисляются текущие значения сигнала рассогласования  $E_i = T_{уст.i} - T_i$ ;
- численным методом реализуется уравнение (2.1) по следующей формуле:

$$Y_i = 1/X_p (E_i + T_d \Delta E_i / \Delta t_{изм} + 1/T_i \sum_{i=1}^n E_i t_{изм}), \quad (2.2)$$

где  $X_p$  — полоса пропорциональности ( $X_p = k_p$ );

$\Delta E_i$  — разность между двумя соседними измерениями ;

$i$  — номер текущего измерения;  $n$  — количество измерений.

На функциональной схеме (рис. 2.2) показан алгоритмический блок, выполняющий операции по реализации ПИД-закона согласно формуле (2.2).

В результате описанных операций на выходе логического устройства формируется дискретный сигнал в виде так называемой решетчатой функции. Этот сигнал, при использовании аналогового выходного устройства, с помощью ЦАП преобразуется в аналоговый сигнал с определенной точностью, соответствующий ПИД-закону регулирования.

В регуляторах с ПИД-законами регулирования, для исключения излишних срабатываний при небольших значениях рассогласования  $E$ , предусмотрено введение так называемой зоны нечувствительности  $x_d$ . При наличии зоны нечувствительности сигнал на выход регулятора будет выдаваться только при условии  $|E| > |x_d|$ .

В некоторых модификациях регуляторов программно можно задавать ограничение уровня выходного сигнала  $Y$ . Такое ограничение иногда требуется исходя из особенности конструкции или эксплуатационных требований к исполнительным органам и их элементам сопряжения с регулятором.

При использовании выходных устройств ключевого типа импульсный сигнал в виде решетчатой функции подвергается широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В результате ШИМ на выходе ключевого выходного устройства будет формироваться последовательность управляющих (регулирующих) импульсов определенной длительности  $D$ , которая зависит от величины сигнала решетчатой функции и рассчитывается в логическом устройстве по формуле:

$$D = Y \frac{T_{сл}}{100},$$

где  $T_{сл}$  — период следования импульсов, с (задается пользователем при программировании регулятора).

В таком случае регулятор ТРМ реализует импульсный ПИД-закон регулирования.

Во многих модификациях регуляторов ТРМ реализовано двухпозиционное регулирование. При работе в режиме двухпозиционного регулирования логическое устройство работает по одному из четырех типов логики (рис. 2.3):

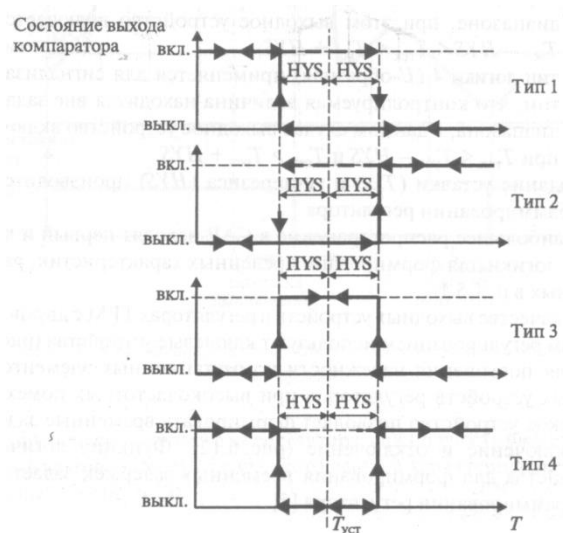


Рис. 2.3. Статические характеристики логических устройств для разных типов логики двухпозиционного регулирования

- **тип логики 1** (обратное управление) применяется для управления работой нагревателя (например, ТЭНа) или сигнализации о том, что значение текущего измерения  $T_{\text{тек}}$  меньше уставки  $T_{\text{уст}}$ , при этом выходное устройство, подключенное к логическому устройству, первоначально включается при значениях  $T_{\text{тек}} < T_{\text{уст}} - HYS$ , выключается при  $T_{\text{тек}} > T_{\text{уст}} + HYS$  и вновь включается при  $T_{\text{тек}} < T_{\text{уст}} - HYS$ , осуществляя тем самым двухпозиционное регулирование по уставке  $T_{\text{уст}}$  с гистерезисом  $\mp HYS$ ;
- **тип логики 2** (прямое управление) применяется для управления работой охладителя (например, вентилятора) или сигнализации о превышении значения уставки; в таком случае устройство включается при значениях  $T_{\text{тек}} > T_{\text{уст}} + HYS$  и выключается при  $T_{\text{тек}} < T_{\text{уст}} - HYS$ ;



- **тип логики 3** (П-образная) применяется для сигнализации о том, что контролируемая величина находится в заданном диапазоне; при этом выходное устройство включается при  $T_{уст} - HYS < T_{тек} < T_{уст} + HYS$ ;

- **тип логики 4** (U-образная) применяется для сигнализации о том, что контролируемая величина находится вне заданного диапазона; в данном случае выходное устройство включается при  $T_{тек} < T_{уст} - HYS$  и  $T_{тек} > T_{уст} + HYS$ .

Задание уставки ( $T_{уст}$ ) и гистерезиса ( $HYS$ ) производится при программировании регулятора.

Наибольшее распространение в САР находят первый и второй типы логики для формирования релейных характеристик.

В качестве выходных устройств в регуляторах ТРМ с двухпозиционным регулированием используют ключевые устройства.

Для повышения надежности коммутационных элементов выходных устройств регуляторов при высокочастотных помехах логическое устройство позволяет формировать временные задержки на включение и отключение. Функция логического устройства для формирования временных задержек задается при программировании регулятора.

#### *Математическое описание систем с регуляторами ТРМ*

Анализ алгоритмических возможностей регуляторов ТРМ показывает, что они выполняют определенные динамические и статические преобразования физических величин, однозначно связанных с выходной координатой объекта регулирования. Эти преобразования, с достаточной для практических целей достоверностью, можно интерпретировать следующими динамическими и статическими характеристиками.

Процесс цифровой фильтрации во входном устройстве регулятора, как отмечалось выше, описывается передаточной функцией аperiodического звена первого порядка.

Зону нечувствительности регулятора можно учесть введением в его структурную схему статического звена с характеристикой типа "люфт".

Функциональную возможность ограничения выходной величины регулятора можно учесть посредством статического звена, имеющего характеристику типа "ограничение".

Динамические свойства регуляторов ТРМ при импульсном регулировании могут быть описаны достаточно точно с помощью математического аппарата теории импульсных САР или приближенно с помощью методов линейной теории автоматического регулирования. Для учета дискретных свойств регулятора в структурную схему САР вводят запаздывающее звено с передаточной функцией

$$W_n(p) = e^{-T_n p},$$

где  $T_n$  — запаздывание, обусловленное импульсным процессом регулирования.

Запаздывание  $T_n = T_{сл}/2$ , где  $T_{сл}$  — период следования импульсов. Минимальное значение  $T_{сл}$  равно периоду опроса датчика  $T_0$ , а любые другие за пределом  $T_0$  ограничены максимальным значением согласно технической характеристике регулятора. Значения периода следования задают при программировании регулятора.

С учетом изложенного обобщенную структурную схему аналоговой САР можно представить в виде, показанном на рис. 2.4 .

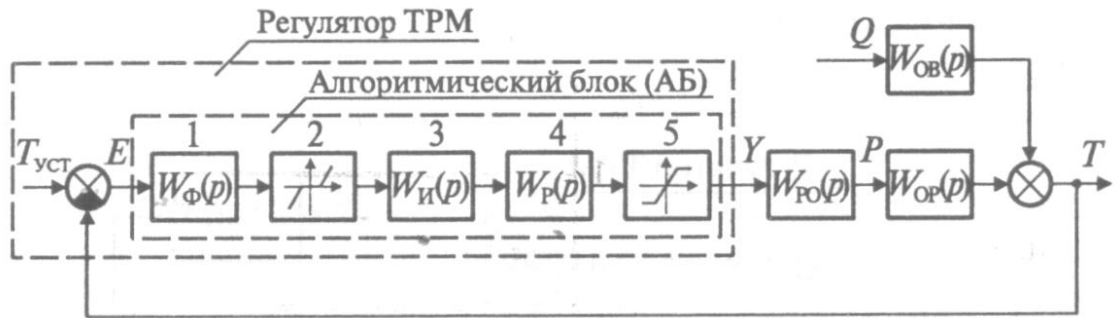


Рис. 2.4. Обобщенная структурная схема САУ с регулятором ТРМ:  
 1 — звено цифровой фильтрации; 2 — звено зоны нечувствительности; 3 — звено, учитывающее процесс импульсного регулирования; 4 — звено ПИД-закона регулирования; 5 — звено ограничения выходного сигнала

Из рассмотренной структурной схемы (рис. 2.4) следует, что в общем случае САУ с регулятором ТРМ является существенно нелинейной системой. Если в регуляторе не используются функции цифровой фильтрации и ограничения выходного сигнала, то исходная САУ (рис. 2.4) вырождается в линейную систему (рис. 2.5).

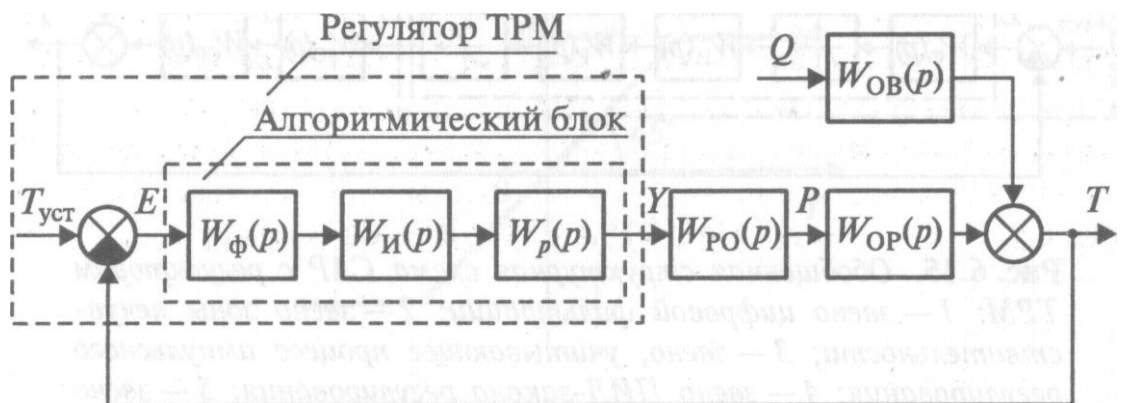


Рис. 2.5 Линейная математическая модель САУ с регулятором ТРМ

На основе рассмотренных структурных схем методом компьютерного моделирования можно достаточно просто определить параметры настройки регуляторов ТРМ. При этом первоначально следует выполнить анализ используемой структурной схемы на предмет ее упрощения с учетом малых параметров, руководствуясь рекомендациями, приведенными в п. 3.7 [1]. Для предварительного определения параметров настройки ПИД-регуляторов можно использовать метод

Циглера—Никольса или, для объектов регулирования, динамические свойства которых описываются инерционным звеном первого порядка и запаздывания, формулы (табл. 5.1), рассмотренные в п. 5.2 [1].

### **3. Математическое моделирование системы автоматического регулирования технологического параметра методом передаточных функций**

#### **3.1. Составление упрощенных схем системы автоматического регулирования**

Приведем методику разработки и составления упрощенных принципиальных, функциональных и структурных схем САР по [1].

Разработка принципиальных схем — творческий процесс, требующий определенных знаний как принципа работы САР, так и принципов работы большого многообразия элементов и устройств автоматики (датчиков, усилителей, исполнительных устройств и механизмов, сравнивающих элементов и др.). Поэтому успешное решение задачи разработки конкретной САР зависит от уровня подготовки и опыта разработчика.

Разрабатывать принципиальные схемы САР целесообразно по этапам, последовательность которых изложена ниже.

##### *1. Изучение и анализ объекта регулирования (этап первый)*

При выполнении данного этапа на основе описания схемы и конструкции объекта регулирования изучается его принцип работы. Определяется физическая сущность регулируемой величины, регулирующего воздействия, а также возмущений, действующих на объект регулирования. Определяются технологические требования, предъявленные к регулируемой величине (координате) объекта регулирования. В результате выполнения первого этапа должно быть составлено

описание, отражающее взаимосвязь выходной координаты объекта — регулируемой величины с регулирующим воздействием и возмущениями, действующими на объект регулирования, а также его графическое представление.

## *2. Выбор технических средств для регулятора (этап второй)*

При выборе технических средств необходимо пользоваться технической литературой по автоматике.

Исходя из принципа работы САР, регулятор функционально должен обеспечивать:

- контроль регулируемой величины (координаты) с помощью датчика — воспринимающего органа (чувствительного элемента);
- задание требуемого значения регулируемой величины (координаты) посредством задающего устройства или схемы — задающего органа (задающего элемента);
- сравнение сигналов, поступающих от датчика и задающего устройства с помощью сравнивающего органа (элемента сравнения);
- усиление сигнала рассогласования, если сигнал рассогласования мал по уровню или мощности, посредством усилителя — усилительного органа (усилительного элемента);
- изменение величины регулирующего воздействия с помощью исполнительного органа (исполнительного элемента) в соответствии с сигналом рассогласования.

Таким образом, регулятор должен содержать все упомянутые выше технические средства (датчик, сравнивающий элемент, усилитель и исполнительный орган). В связи с этим выбор технических средств регулятора целесообразно проводить в логической последовательности, соответствующей прохождению сигнала в САР с выхода

объекта регулирования до его входа, то есть начиная с датчика и завершая исполнительным органом.

**Выбор датчиков.** Датчик выбирается на основе анализа существующих типов датчиков с учетом физической сущности регулируемой величины. При этом следует учитывать, что мы рассматриваем вопросы разработки принципиальных схем для непрерывных САР, в которых процессы регулирования протекают непрерывно во времени. Поэтому датчик следует выбирать с аналоговым выходом, то есть такой, у которого выходная величина изменяется непрерывно при изменении входной величины. Так, если необходимо выбрать датчик для контроля температуры воды в проточном водонагревателе, то мы не можем применить в непрерывной САР дискретный контактный датчик температуры, построенный, например, на основе биметаллической пластины (такой датчик может использоваться в релейных САР). Для контроля температуры удобно использовать терморезистор или один из типов терморезисторов (металлический, термистор, позистор).

Выбирать датчик из ряда датчиков, одинаковых по функциональному назначению, следует на основе их сравнительного анализа, учитывая особенности объекта регулирования, границы изменения регулируемой величины, требования к точности ее поддержания в пределах заданного значения, а также их схемы и конструктивное исполнение с позиции простоты сопряжения с общей схемой регулятора и привязки к объекту регулирования.

Для выбранного датчика составляют и изображают схему его подключения и дают необходимое описание, поясняющее принципы работы датчика, схемы и т. п. Что касается составления схем подключения датчиков, то учитывая многообразие физических принципов работы, конструкции и схемных решений, здесь невозможно

дать общих рекомендаций для всех возможных случаев. Вместе с этим для некоторых наиболее распространенных датчиков существуют вполне конкретные схемы их подключения. К таким датчикам относятся так называемые резистивные датчики: терморезисторы (для *контроля температуры*), тензорезисторы (для контроля деформаций, а по ним — сил и моментов), потенциометры (для контроля линейных и угловых перемещений), фоторезисторы (для контроля освещенности). Эти датчики могут включаться по потенциометрическим (рис. 3.1) и мостовым (рис. 3.2) схемам включения.

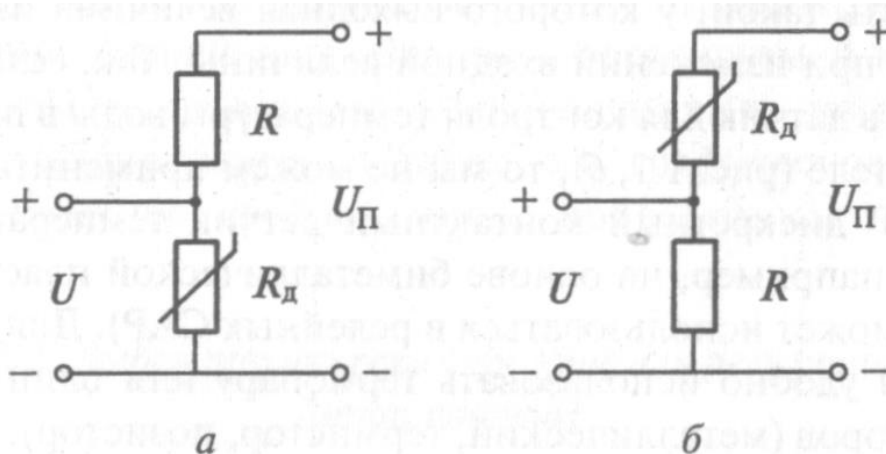


Рис. 3.1. Потенциометрические схемы включения резистивных датчиков:  $R_d$  — датчик;  $R$  — добавочный резистор;  $U_{\Pi}$  — напряжение стабилизированного источника питания;  $U$  — входной сигнал, однозначно зависящий от контролируемой температуры

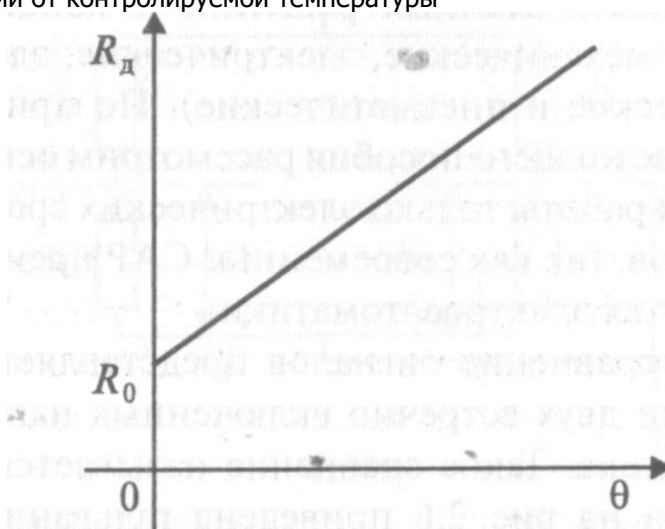


Рис. 3.2. Температурная характеристика медного терморезистора ( $R_0$  — сопротивление при температуре  $\theta = 0^{\circ}\text{C}$ )

Место включения резистивного датчика  $R_d$  в схемах (рис. 3.1) целесообразно выбирать исходя из того, чтобы входное напряжение цепи (входной сигнал)  $U$  с ростом контролируемой (регулируемой) величины (температуры, силы, момента, освещенности) также возрастало, а при снижении — уменьшалось. Так, например, если для контроля температуры используется металлический терморезистор  $R_d$ , у которого температурная характеристика имеет вид, показанный на рис. 3.2, то датчик следует включать по схеме рис. 3.1, *а*. В таком случае будет иметь место прямая пропорциональная зависимость между входным сигналом  $U$  и температурой  $\theta$ .

Тензорезисторы, имеющие аналогичные статические характеристики, также следует включать по схеме рис. 3.1, *а*.

Фоторезистор, у которого сопротивление падает с ростом освещенности, а с ее уменьшением растет, следует включать по схеме рис. 3.1, *б*.

Мостовые схемы включения резистивных датчиков (рис. 3.3) отличаются от потенциометрических схем тем, что они позволяют получить непосредственно сигнал рассогласования  $\Delta U$ , то есть непосредственно совмещают функции задающих и сравнивающих органов (элементов).



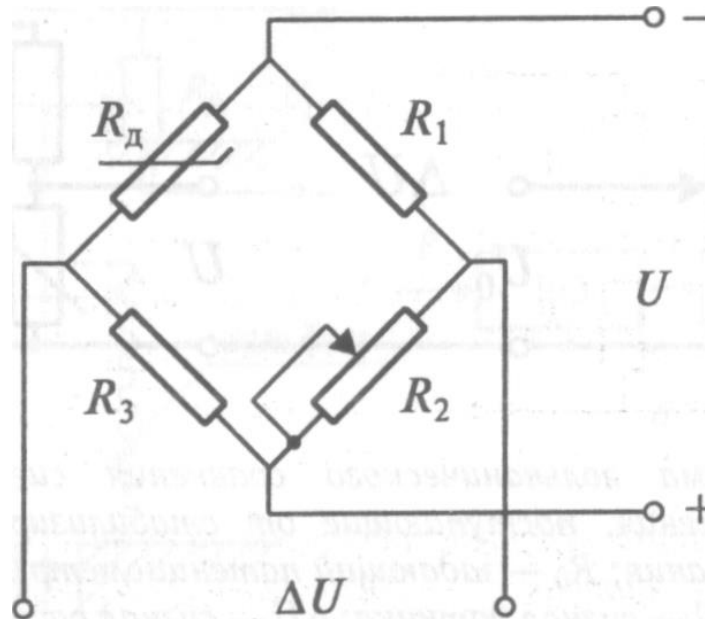


Рис. 3.3. Мостовая схема включения резистивного датчика:  
 $R_2$ — резистор для задания температуры

**Выбор задающих и сравнивающих элементов.** Задачу выбора элементов и схем, необходимых для построения задающего и сравнивающего элементов регулятора, решают, как правило, совместно, так как они непосредственно реализуют основополагающий алгоритм функционирования САР  $\Delta x = x_0 - x$ , где  $\Delta x$  — сигнал рассогласования;  $x_0$  — задающий сигнал;  $x$  — регулируемая величина или однозначно связанный с ней сигнал.

Сравнивающие устройства и элементы, вследствие различной физической сущности датчиков и задающих сигналов, имеют большое многообразие схемных решений и конструкций (они подразделяются на механические, электрические, электромеханические, гидравлические и пневматические). По причине ограниченности объема настоящего пособия рассмотрим основные принципы построения и работы только электрических сравнивающих и задающих элементов, так как современные САР преимущественно строятся на элементах электроавтоматики.

Электрическое сравнение сигналов представляет собой сравнение в одной цепи двух встречно включенных напряжений или ЭДС постоянного тока. Такое сравнение называется гальваническим. Для примера на рис. 3.4 приведена гальваническая схема сравнения сигнала металлического терморезисторного датчика  $R_D$  (рис. 3.1, а) с задающим сигналом от резистора  $R_D$ .

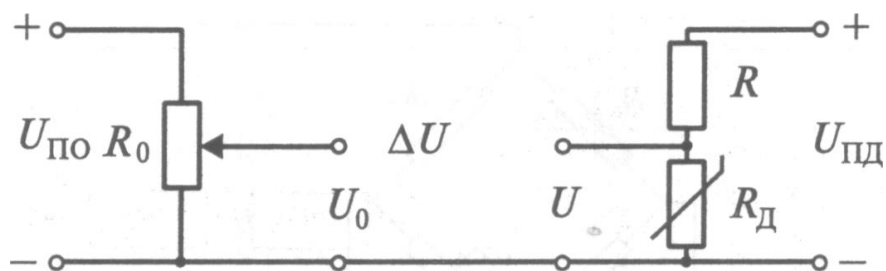


Рис. 3.4. Схема гальванического сравнения сигналов:  
 $U_{П0}, U_{ПД}$  — напряжения, поступающие от стабилизированных источников питания;  $R_0$  — задающий потенциометр;  $U_0$  — задающий сигнал;  $U$  — сигнал датчика;  $\Delta U$  — сигнал рассогласования

Как отмечалось выше, мостовые схемы включения датчиков совмещают в себе функции задающего и сравнивающего элементов. Поясним это, представив схему (рис. 3.3) в несколько ином начертании, показанном на рис. 3.5 применительно к полупроводниковому термистору.

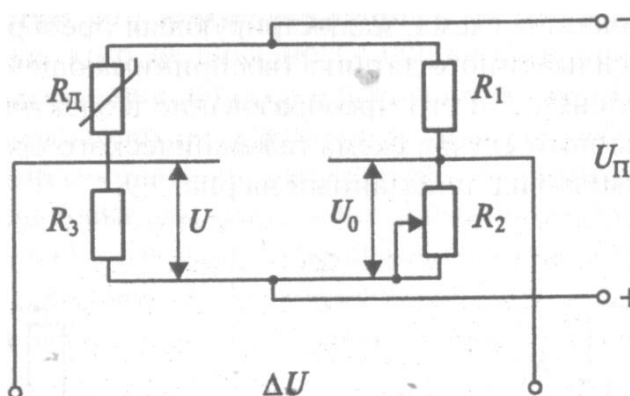


Рис. 3.5. Мостовая схема как задающий и сравнивающий органы

Задание необходимого значения регулируемой величины (температуры) в данной схеме обеспечивается с помощью переменного резистора  $R_2$ , с которого снимается задающий сигнал  $U_0$ . Сигнал, однозначно определяющий температуру, снимается в виде напряжения  $U$ , а

сигнал рассогласования может быть приближенно представлен, как разность  $\Delta U = U_0 - U$ .

В мостовые схемы также возможно включение потенциометрических датчиков и преобразователей, которые зачастую применяются для преобразования линейных и угловых перемещений гидравлических и пневматических воспринимающих (чувствительных) элементов (мембранных, сильфонных, трубчатых и т. п.).

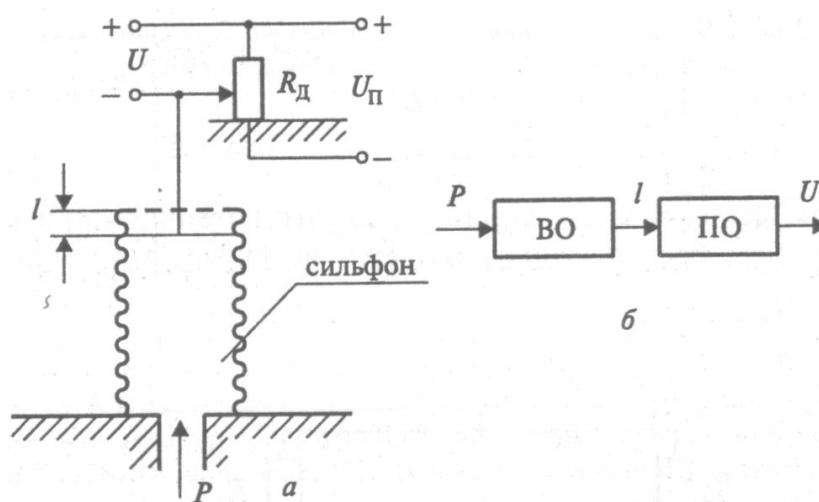


Рис. 3.6. Упрощенная принципиальная (а) и функциональная (б) схемы контроля и преобразования регулируемой величины ( $P$ ) в электрический сигнал ( $U$ ):

ВО — сильфон; ПО — потенциметрический преобразователь  $R_d$

На рис. 3.6 показана схема, иллюстрирующая преобразование перемещения сильфонного датчика (воспринимающего органа) для контроля давления  $P$  и его преобразование в электрической сигнал  $U$ . Для данного случая схема гальванического сравнения сигналов будет иметь вид, показанный на рис. 3.7.

При использовании мостовой схемы потенциметрический датчик (преобразователь) включается по схеме, показанной на рис. 3.8.

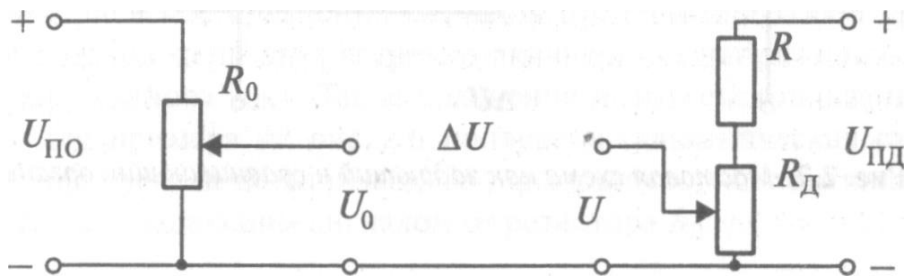


Рис. 3.7. Схема сравнения сигнала потенциметрического датчика (преобразователя)  $U$  с задающим сигналом  $U_0$  ( $\Delta U = U_0 - U$ )

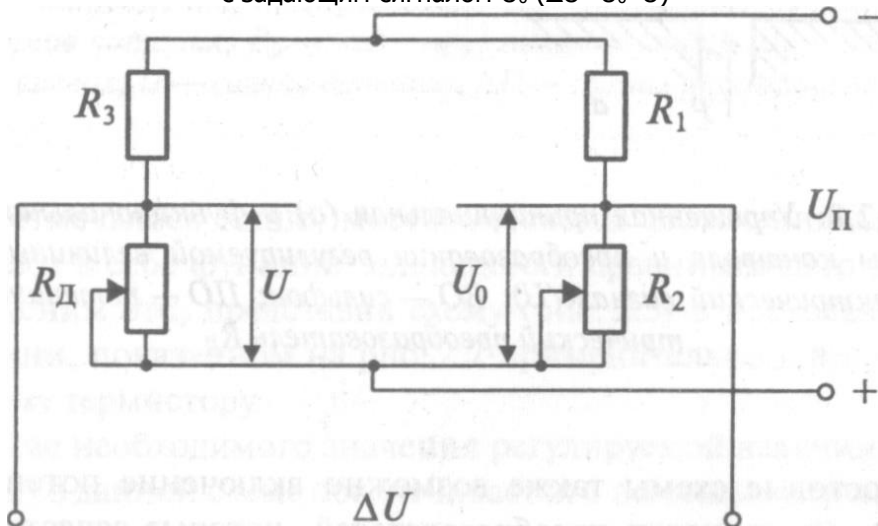


Рис. 3.8. Мостовая схема включения потенциметрического датчика ( $\Delta U = U_0 - U$ )

По аналогии со схемой, показанной на рис. 3.5, вместо потенциметрического датчика могут использоваться трансформаторные и индуктивные датчики и преобразователи. При этом, поскольку они работают на переменном токе, их выходной сигнал необходимо предварительно преобразовать в сигнал постоянного тока с помощью выпрямителя, а затем подавать на схему сравнения. На рис. 3.9 в качестве иллюстрации приведена схема преобразования перемещений плавкового датчика контроля уровня жидкости с помощью трансформаторного датчика и выпрямителя в напряжение  $U$ .

Рассмотренные схемы сравнения сигналов (рис. 3.4, 3.5, 3.7) на функциональных схемах САУ могут быть представлены в виде, показанном на рис. 3.10.

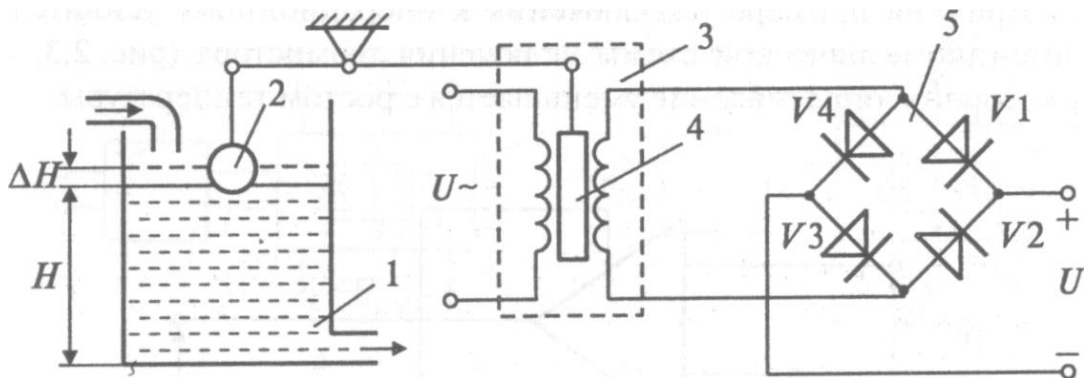


Рис. 3.9. Схема контроля уровня жидкости в емкости с помощью поплавкового датчика: 1— емкость; 2—поплавок; 3 — трансформаторный датчик; 4 — ферромагнитный сердечник датчика; 5 — выпрямитель;  $H$  и  $\Delta H$  — соответственно регулируемая величина и ее отклонение от заданного значения;  $U$ — выходной сигнал, однозначно определяемый отклонением уровня  $\Delta H$

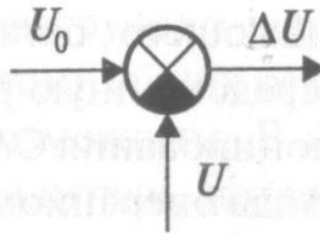


Рис. 3.10. Схемы, показанные на рис. 3.4, 3.5, 3.7 как сравнивающий орган

**Выбор усилителей.** В большинстве случаев сигналы рассогласования на выходе сравнивающих элементов (органов) имеют малые значения по величине и мощности. В связи с этим для их усиления в регуляторах используют различные усилители (полупроводниковые — транзисторные и тиристорные, магнитные, электромагнитные, гидравлические, пневматические, механические). В рамках данного практикума рассмотрим только вопросы, касающиеся выбора усилителей, работающих на электрической энергии.

Для усиления сигналов по уровню преимущественно применяют операционные усилители, а для усиления по мощности — тиристорные, магнитные и электромашинные усилители.

При использовании операционных усилителей следует иметь в виду, что они, в зависимости от их схем, могут иметь либо ин-

вертирующий вход, либо в сочетании с ним — неинвертирующий (рис. 3.11). Особенности использования того или иного входа рассмотрим на примере подключения к операционному усилителю потенциометрической схемы включения термистора (рис. 3.1, б), у которого сопротивление уменьшается с ростом температуры.

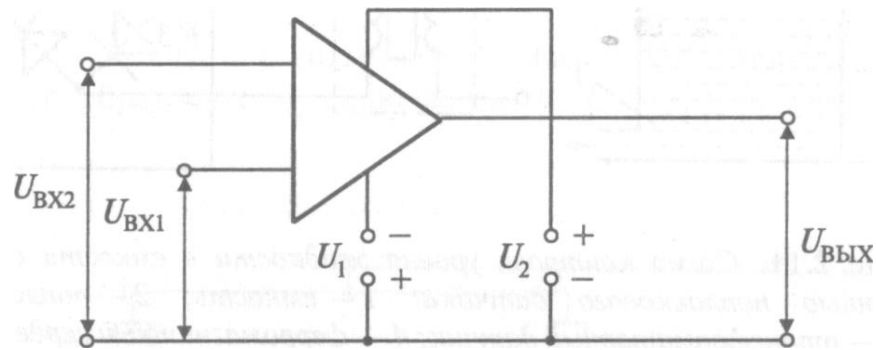


Рис. 3.11. Общее условное обозначение операционного усилителя с одним инвертирующим входом ( $U_{ВХ1}$ ) и одним неинвертирующим ( $U_{ВХ2}$ ):  $U_1$  и  $U_2$  — напряжение источников питания усилителя

Подключение сравнивающего органа к неинвертирующему входу обеспечивает непосредственную реализацию основополагающего алгоритма функционирования САР:  $\Delta U = U_0 - U$ . Использование инвертирующего входа операционного усилителя для сохранения отрицательной обратной связи в САР потребует изменения места включения датчика  $R_d$  таким образом, чтобы выполнялось соотношение  $\Delta U = U_0 - U$ . В данном случае сравнивающий орган будет выполнять операцию суммирования сигналов, но поскольку с выхода объекта регулирования будет поступать инвертирующий сигнал в САР, в целом будет сохраняться алгоритм  $\Delta U = U_0 - U$ . Следует отметить, что исходный вариант подключения термистора (рис. 3.1, б) более нагляден с точки зрения понимания и анализа принципа работы системы.

Выбор типа усилителей мощности во многом зависит от принципа работы, схемы и конструкции регулирующих органов объектов регулирования, поэтому общих рекомендаций по их выбору дать не пред-

ставляется возможным. В большинстве случаев используют тиристорные усилители, которые в упрощенных принципиальных схемах САУ можно изображать без конкретной детализации их элементов, например, в виде, показанном на рис. 3.12. Для их графического изображения могут быть применены и иные схемы, используемые в различных литературных источниках по автоматике (рис. 3.13).

По аналогии с рассмотренными схемами тиристорных усилителей могут изображаться упрощенно и другие типы усилителей, в том числе и транзисторные.

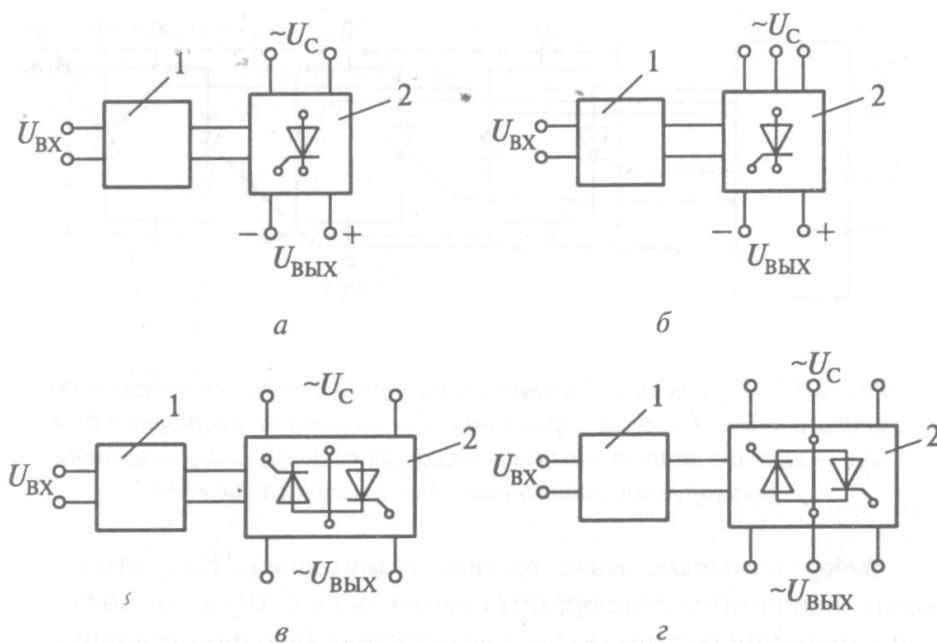


Рис. 3.12. Упрощенные блочные схемы тиристорных усилителей:  
 а — однофазный тиристорный усилитель-выпрямитель; б — трехфазный тиристорный усилитель-выпрямитель; в — однофазный усилитель переменного тока; г — трехфазный усилитель переменного тока; 1 — блок управления; 2 — силовой тиристорный блок;  $U_{ВХ}$  — входное напряжение (управляющий сигнал);  $U_{ВЫХ}$  — выходное регулируемое напряжение;  $U_C$  — напряжение сети

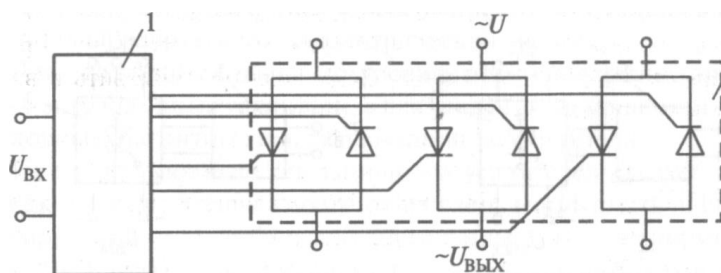


Рис. 3.13. Упрощенная блочная схема трехфазного усилителя переменного тока:  
 1 — блок управления; 2 — силовой тиристорный блок;

$U_{вх}$  – входное напряжение (управляющий сигнал);  $U_{вых}$  – выходное регулируемое напряжение;  $U_c$  — напряжение сети

**Выбор исполнительных органов (элементов).** Как отмечалось выше, исполнительные органы (элементы) в САУ предназначаются для изменения регулирующего воздействия (входной величины) на входе объекта регулирования непосредственно (когда объект с регулирующим органом рассматриваются как единое целое в виде объекта регулирования) или через регулирующий орган (при раздельном их представлении как составляющих автоматической системы). Поэтому выбор исполнительного органа, в первую очередь, будет определяться физической сущностью входных величин (координат) объекта регулирования или регулирующего органа. Входными величинами могут быть линейные или угловые перемещения, потоки (расходы) сыпучих, газообразных и жидких сред, теплотехнические физические величины (температура, количество теплоты), электрические величины (напряжение, ток, мощность, магнитный поток) и др. Если входной координатой объекта регулирования является линейное или угловое перемещение, то в качестве исполнительного органа могут быть использованы соленоидные (электромагнитные), электродвигательные, гидравлические или пневматические исполнительные механизмы и устройства. Так, например, для объекта регулирования — парового котла можно использовать соленоидный (электромагнитный) исполнительный механизм, установив его на заслонку (рис. 3.14, а).



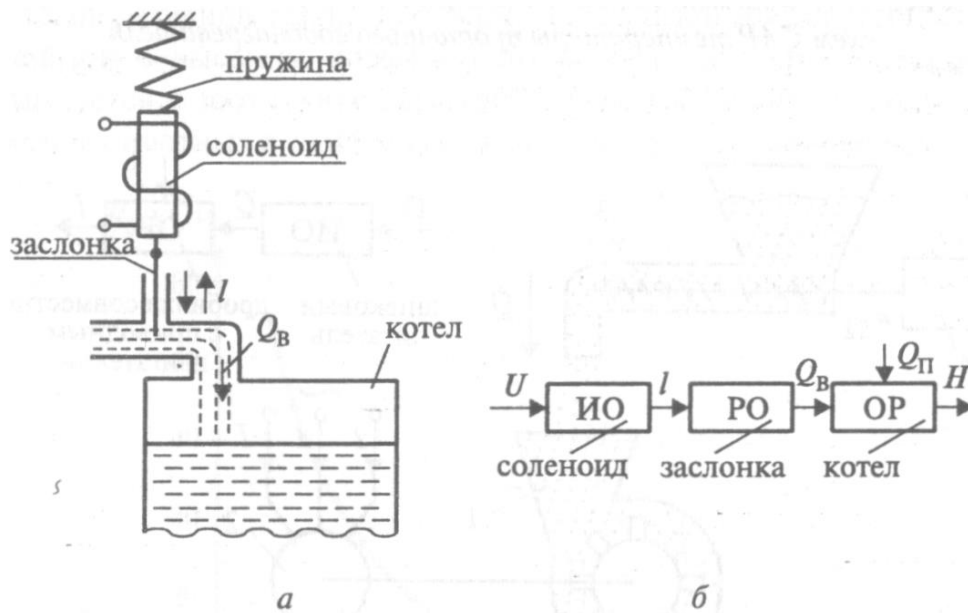


Рис. 3.14. Схема сопряжения соленоида — исполнительного органа (ИО) с заслонкой — регулирующим органом (РО) (а) и фрагмент функциональной схемы САУ уровня воды в паровом котле (б)

Для объекта регулирования — проточного водонагревателя, в качестве регулирующей величины (регулирующего воздействия) которого рассматривается напряжение  $U$  на нагревательном элементе, можно использовать как исполнительный орган однофазный тиристорный усилитель мощности (рис. 3.12, в). В таком случае фрагменты принципиальных и функциональных схем можно представить в виде, показанном на рис. 3.15.

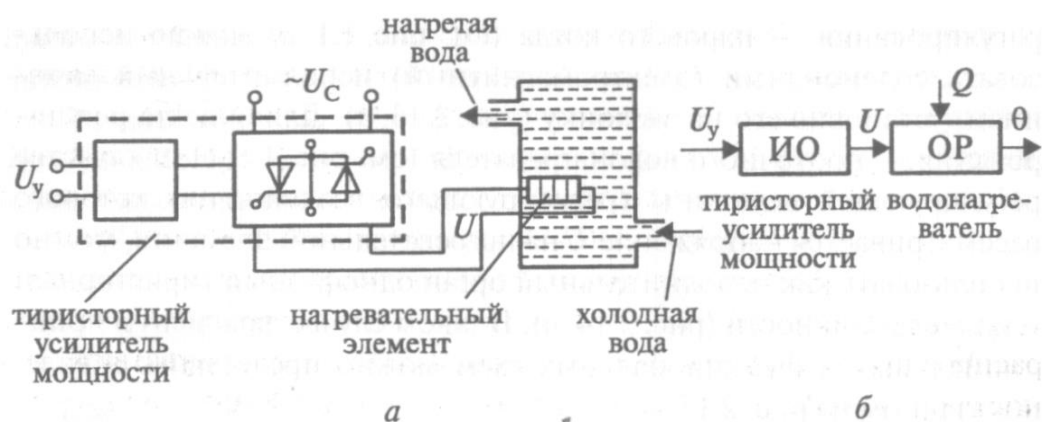


Рис. 3.15. Фрагменты принципиальной (а) и функциональной (б) схем САУ температуры проточного водонагревателя

Результат выбора необходимых технических средств для регулятора следует представить в виде их упрощенных принципиальных схем, эскизов, а также описания их конструкций и принципов работы. Проиллюстрируем изложенное выше на примере.

**Пример.** Выбрать датчик — воспринимающий орган — ВО (чувствительный элемент — НЭ) для построения непрерывной САР температуры в проточном водонагревателе (рис. 3.15).

Основываясь на изучении и анализе принципов работы и конструкций датчиков температуры, в качестве датчика температуры примем полупроводниковый терморезистор — термистор типа КМТ-4.

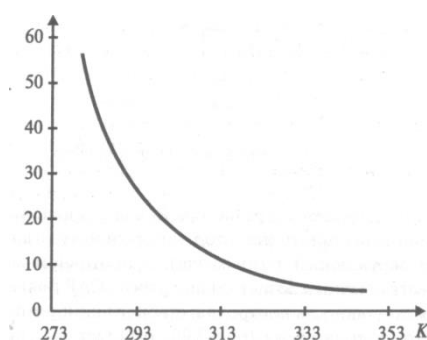


Рис. 3.16. Температурная характеристика полупроводникового термистора КМТ-4

Целесообразность его выбора обусловлена тем, что полупроводниковые термисторы, получившие преимущественное распространение, обладают значительно большей чувствительностью, чем металлические терморезисторы. Особенно высока их чувствительность в диапазоне температур 10...20 °С, что видно из температурной характеристики, показанной на рис. 3.16.

Для включения датчика температуры используем потенциометрическую схему (рис. 3.17), позволяющую на ее основе достаточно просто и наглядно организовать схему сравнения сигналов. На рис. 3.17 показана схема включения полупроводникового терморезистора  $R_T$ , принципы построения и работы которой состоят в следующем.

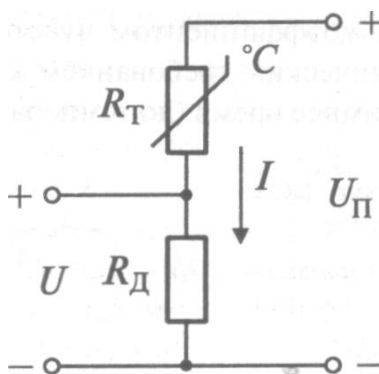


Рис. 3.17. Схема включения термистора

На схему подается напряжение питания  $U_n$  от стабилизированного источника. Необходимость его стабилизации обусловлена тем, что датчик температуры находится в канале измерения и

обратной связи САР, элементы которого, как известно, должны обладать стабильными параметрами (нечувствительными к изменениям внешних факторов-возмущений). Если питание цепи (рис. 3.17) осуществлять от нестабилизированного источника, то колебания его напряжения будут создавать соответствующую погрешность контроля температуры, а, следовательно, и погрешность ее стабилизации при работе САР.

В качестве добавочного резистора  $R_d$  следует использовать специальный прецизионный резистор, который нечувствителен к изменениям окружающей температуры. В противном случае (если использовать обычный резистор) при работе САР появится дополнительная погрешность контроля и стабилизации температуры.

Рассматриваемая схема (рис. 3.17) работает так: при изменениях сопротивления терморезистора  $R_T$  изменяется ток  $I$ . В результате этого изменяется падение напряжения  $U$  на добавочном резисторе  $R_d$  в соответствии с функциональной зависимостью  $U=f(\theta)$ . Сущность этой зависимости следующая: увеличение температуры  $\theta$  уменьшает величину  $R_T$ , а, следовательно, приводит к увеличению напряжения на выходе цепи. При уменьшении температуры имеет место обратный эффект. Схему включения датчика (рис. 3.17), обеспечивающую преобразование регулируемой величины — температуры  $\theta$  в напряжение  $U$ , можно представить в виде функционального элемента САР, показанного на рис. 3.18.

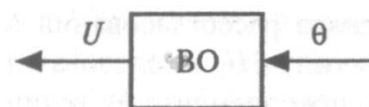


Рис. 3.18. Схема контроля температуры (рис. 3.17) как воспринимающий орган (ВО)

### *3. Составление упрощенных принципиальных и функциональных схем САР (этап третий)*

После того как выбраны все необходимые элементы для построения регулятора, определены и составлены упрощенные принципиальные схемы каждого элемента, их объединяют в одну схему, которая и будет представлять собой упрощенную принципиальную схему САР. На ее основе, используя графическое изображение объекта регулирования и элементов составляют функциональную схему САР. Затем дают поясняющее описание работы САР в целом. Так, применительно к проточному водонагревателю, объединив упрощенные элементарные схемы и соответствующие им функциональные схемы, получим упрощенную принципиальную (рис. 3.19, а) и функциональную схему (рис. 3.19, б) САР температуры в проточном водонагревателе.

Данная САР работает следующим образом (рис. 3.19). При постоянном расходе воды  $Q$ , потребляемом из водонагревателя, с помощью задающего резистора 3 задают напряжение  $U_0$ , при котором значение температуры воды  $\theta$  на выходе нагревателя будет постоянным и соответствовать требованиям ( $\theta = 18^\circ\text{C}$ ). При этом все промежуточные величины (координаты) —  $U$ ,  $\Delta U$ ,  $U_y$  и  $U_p$  будут иметь соответствующие заданному режиму работы водонагревателя постоянные значения. Такой режим работы САР в автоматике называют установившимся или статическим. Статический режим работы в рассматриваемой САР будет сохраняться до тех пор, пока не изменится величина расхода воды  $Q$  (то есть до тех пор, пока не изменится возмущающее воздействие на объект регулирования).

Предположим, что расход воды скачкообразно увеличился на величину  $\delta Q$ . Это вызовет снижение температуры воды  $\theta$  на величину  $\delta\theta$ , а, следовательно, сигнала  $U$  на величину  $\delta U$ . Вследствие этого сигнал рассогласования, определяемый до момента изменения расхода  $Q$  зависимостью  $\Delta U = U_0 - U$ , очевидно, увеличится на эту же величину, так как второй член зависимости уменьшится на  $\delta U$ .

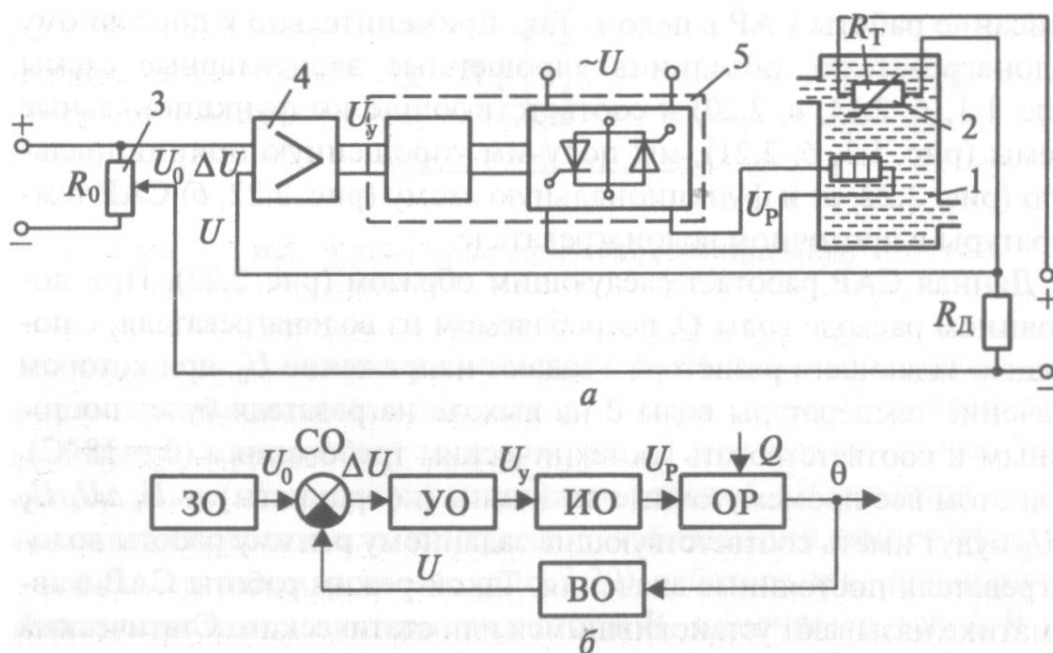


Рис. 3.19. Упрощенная принципиальная (а) и функциональная (б) схемы САР температуры в проточном водонагревателе:

ОР— объект регулирования (проточный водонагреватель 1); ВО — воспринимающий орган (терморезистор 2 и схема его включения); ЗО — задающий орган (резистор 3); СО — сравнивающий орган (схема вычитания напряжения  $U$  из  $U_0$ ); УО — усилительный орган (операционный усилитель 4); ИО — исполнительный орган (тиристорный усилитель мощности 5)

Увеличение сигнала рассогласования  $\Delta U$  приведет к росту напряжения  $U_y$  на величину  $\delta U_y$  и, следовательно, к росту напряжения  $U$  на нагревательном элементе на величину  $\delta U$ . Увеличение напряжения нагревательного элемента приведет к росту выделяемой им мощности, а, следовательно, к увеличению температуры до заданного значения. Снижение расхода воды вызовет обратный эффект (увеличение  $\theta$  на  $\delta\theta$ ,  $U$  на  $\delta U$  и уменьшение  $\Delta U$  на  $\delta U$ ,  $U_y$  на  $\delta U_y$ ,  $U$  на  $\delta U$ ): уменьшение напряжения на нагревательном элементе и, в конечном итоге, снижение температуры воды до заданного значения. Режим работы САР, при котором идет отработка возникшего отклонения регулируемой величины (в рассматриваемом случае  $\delta\theta$ ), в автоматике называют динамическим. Динамический режим в данной системе завершится, когда значение температуры воды станет постоянным и равным, с какой-то погрешностью, заданному значению.

**Пример.** Разработать упрощенную принципиальную схему САР напряжения синхронного генератора и составить ее функциональную схему на основе приведенного ниже описания его принципа работы.

Синхронный генератор представляет собой электрическую машину, содержащую трехфазную статорную обмотку и обмотку возбуждения, расположенную на ее роторе. Обмотка возбуждения питается от источника постоянного тока через два контактных кольца, расположенных на валу ротора. Ротор генератора приводится во вращение приводной машиной, в качестве которой используется паровая или гидравлическая турбина, ветровой двигатель или двигатель внутреннего сгорания. При этом на зажимах статорной обмотки генератора индуцируется синусоидальная (переменная) ЭДС, величина которой зависит от тока возбуждения и скорости вращения ротора. Синхронный генератор, к зажимам статорной обмотки которого подключена электрическая нагрузка, можно представить в виде схемы, показанной на рис. 3.20.

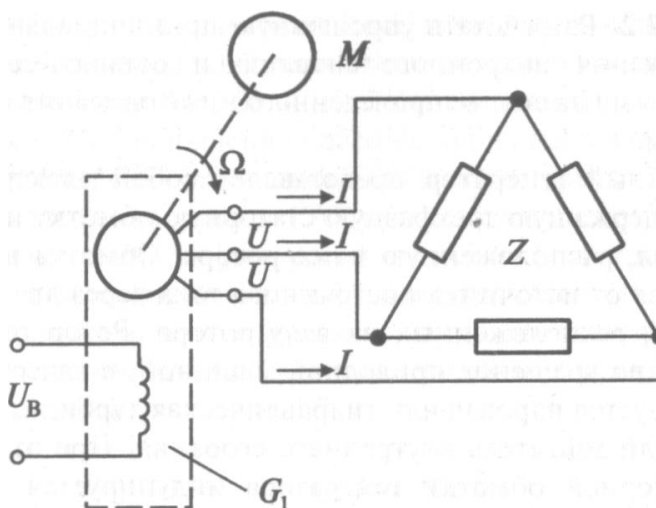


Рис. 3.20. Схема подключения синхронного генератора:

$G_1$  — генератор;  $M$  — приводная машина;  $Z$  — электрическая нагрузка;  $U$  — напряжение на зажимах генератора;  $U_B$  — напряжение на обмотке возбуждения;  $I$  — ток нагрузки;  $\Omega$  — угловая скорость ротора

Для решения задачи воспользуемся рассмотренной выше поэтапной методикой разработки принципиальных схем САУ.

**Этап первый. Анализ объекта регулирования.** Качество электрической энергии, вырабатываемой на электрических станциях, как известно, определяется отклонениями напряжения и его частоты от заданных (ГОСТИрованных) значений. Следовательно, при производстве электроэнергии с помощью синхронного генератора необходимо автоматически регулировать как напряжение на его зажимах, так и частоту генерируемой ЭДС. В связи с этим для автоматического управления процессом производства электроэнергии энергетическая установка, состоящая из синхронного генератора и приводной машины (рис. 3.20), должна быть оснащена двумя автономными САУ: системой регулирования угловой скорости ротора генератора  $\Omega$  и системой регулирования напряжения на его зажимах  $U$ . По условию задачи нам необходимо разработать последнюю САУ. В связи с этим, полагая, что энергетическая установка оснащена САУ угловой скорости  $\Omega$ , мы вправе рассматривать ее как  $\Omega = const$ . В таком случае, учитывая, что обмотка возбуждения, выполняющая функции регулирующего органа, неотделима от объекта, синхронный генератор как объект регулирования можно представить в виде, показанном на рис. 3.21.

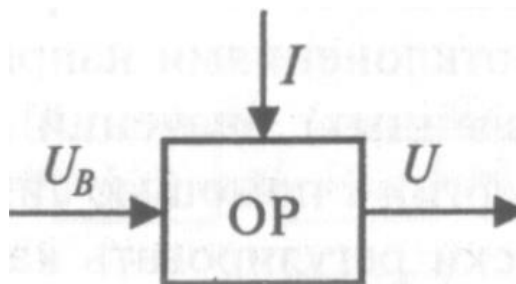


Рис. 3.21. Синхронный генератор как объект регулирования:  
 $U$  — регулируемая величина;  $U_B$  — регулирующее воздействие;  
 $I$  — возмущающее воздействие

Взаимосвязь регулируемой величины  $U$  с возмущающим воздействием  $I$  можно установить на основе анализа нагрузочной характеристики генератора (рис. 3.22).

Как видно из нагрузочной характеристики, увеличение тока нагрузки вследствие роста падения напряжения на внутреннем сопротивлении генератора вызывает снижение напряжения на его зажимах, а уменьшение тока нагрузки приводит к обратному эффекту. Эти отклонения напряжения могут быть устранены посредством изменения напряжения возбуждения генератора: при отрицательных отклонениях напряжения возбуждение необходимо увеличивать, а при положительных — уменьшать. Таким образом, в результате выполнения первого этапа определено графическое представление синхронного генератора как объекта регулирования и установлена взаимосвязь входных координат с управляемой координатой.

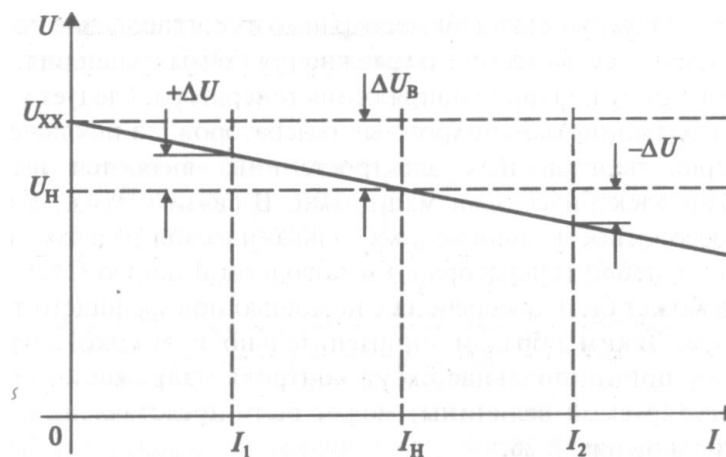


Рис. 3.22. Нагрузочная характеристика синхронного генератора:

$U_{xx}$  — напряжение холостого хода генератора, равное его ЭДС  $E$ ;  $U_n$  — номинальное напряжение при номинальном токе нагрузки  $I_n$ ;  $\Delta U_B$  — падение напряжения на внутреннем сопротивлении генератора;  $\pm \Delta U$  — отклонения напряжения генератора от номинального при токах нагрузки, отличающихся от номинального значения

**Этап второй. Выбор технических средств.** В соответствии с методической последовательностью выбора технических средств для САР, рассмотренной выше, выбор ее элементов начнем с датчика (воспринимающего органа) и завершим исполнительным устройством (исполнительным органом).

*Выбор датчика (воспринимающего органа).* Исходя из принципа работы замкнутых систем управления — САР, необходимо контролировать напряжение на зажимах генератора для того, чтобы с его помощью по цепи обратной связи воздействовать на обмотку возбуждения генератора. Для рассматриваемого объекта регулирования выходная величина представляет собой переменный электрический сигнал. Поэтому задача контроля напряжения генератора может быть решена сравнительно несложно посредством выпрямления с помощью схемы Ларионова (наиболее подходящей для рассматриваемого случая) с целью простоты его сравнения с задающим сигналом. Целесообразность преобразования переменного сигнала в постоянный в данном случае продиктована тем, что при сравнении синусоидальных сигналов необходимо их согласование по фазе, которое требует существенного усложнения схемы сравнения.

Решая задачу контроля напряжения генератора, следует учитывать, что большинство синхронных генераторов (за исключением генераторов передвижных электростанций) являются высоковольтными электрическими машинами. В связи с этим, с точки зрения безопасности, необходима гальваническая развязка высоковольтных цепей генератора с низковольтной цепью САР. Такая развязка может быть обеспечена с помощью понижающего трансформатора. Таким образом, применительно к высоковольтному генератору принципиальная схема контроля напряжения генератора (регулируемой величины) может быть представлена в виде, показанном на рис. 3.23.

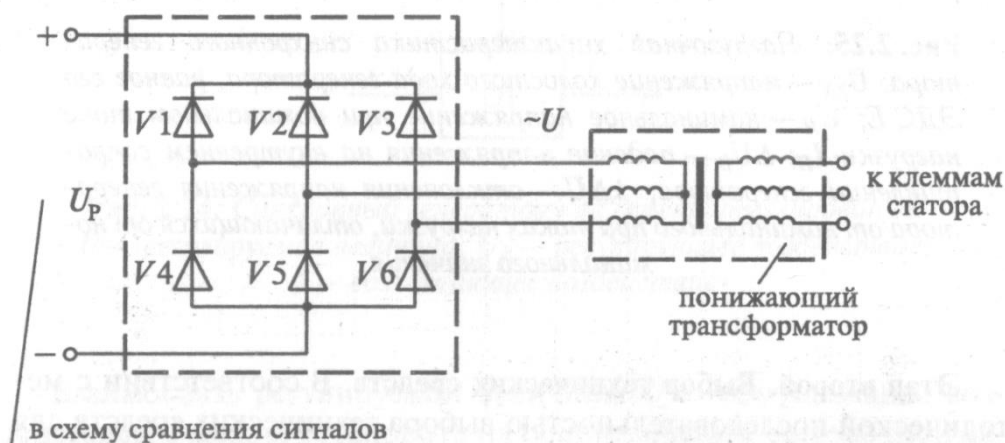


Рис. 3.23. Принципиальная схема контроля напряжения генератора (регулируемой величины)

Данную схему с позиции функционального назначения ее элементов можно трактовать двояко. На рис. 3.24, а показана функциональная схема, в которой понижающий трансформатор представлен как воспринимающий орган (ВО), а схема Ларионова — в виде преобразующего органа (ПО). Схему (рис. 3.22) как функциональный элемент регулятора можно также трактовать в виде одного воспринимающего органа (ВО) (рис. 3.24, б).

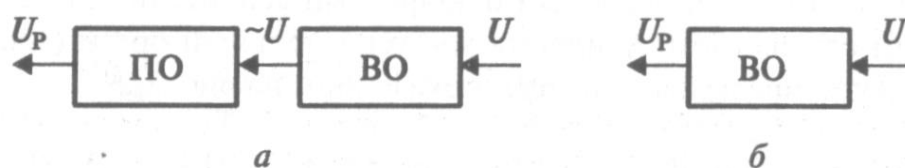


Рис. 3.24. Представление схемы контроля напряжения генератора в виде функциональных схем

Первая схема (рис. 3.24, а) несколько предпочтительней, поскольку при дальнейшем расчете САР на ее основе можно нагляднее определить передаточные коэффициенты отдельно трансформатора и схемы Ларионова.

Если решать задачу выбора схемы контроля напряжения для низковольтного генератора, то схему Ларионова можно подключать непосредственно к его зажимам.

**Выбор задающего и сравнивающего органа (элемента).** Для рассматриваемой САР целесообразно использовать гальваническую схему сравнения сигналов, аналогичную схеме, показанной на рис. 3.7. В таком случае ее можно представить в виде, изображенном на рис. 3.25.



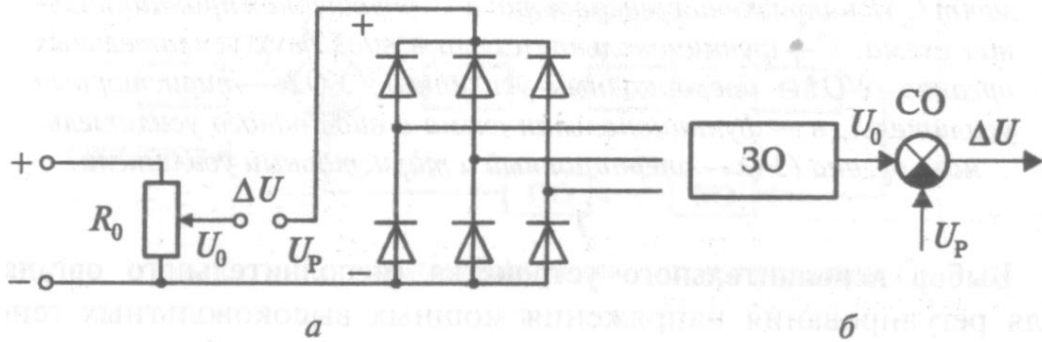


Рис. 3.25. Принципиальная (а) и функциональная (б) схемы задания и сравнения сигналов

**Выбор усилителя (усилительного органа).** Объект регулирования — генератор — относится к объектам, с выхода которых в принципе можно снимать практически сколь угодно большие по мощности сигналы и без их усиления формировать управляющее воздействие. Однако при этом необходимо иметь достаточно мощные задающие устройства, практическая реализация которых осложнена требованиями высокой стабильности их параметров. Поэтому в САР в большинстве случаев задающие и сравнивающие устройства и схемы выполняют маломощными. В связи с этим их выходные сигналы (сигналы рассогласования) необходимо усиливать как по уровню, так и по мощности. Следовательно, с учетом изложенного выше, для усиления сигнала рассогласования  $\Delta U$  (рис. 3.24) необходимы усилители напряжения (по уровню) и мощности. В качестве усилителя напряжения для данной САР можно использовать операционный усилитель, а для усиления его выходного сигнала по мощности — тиристорный однофазный усилитель. В таком случае схему усиления как усилительный орган (элемент) САР можно представить в виде, показанном на рис. 3.26.

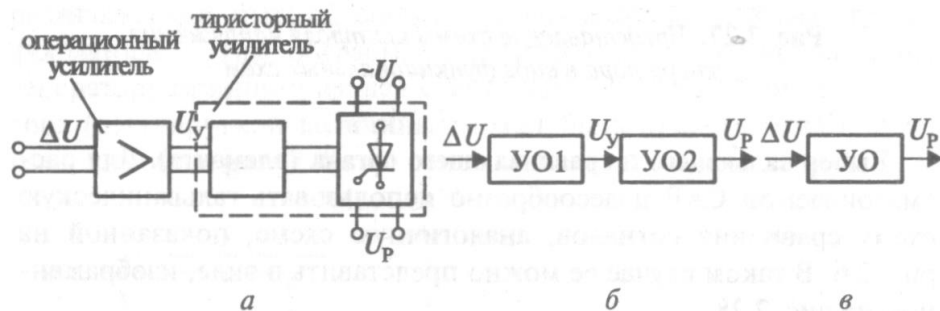


Рис. 3.26. Схемы усиления сигнала рассогласования  $\Delta U$  как элемент САР напряжения генератора: а — упрощенная принципиальная схема; б — функциональная схема в виде двух усилительных органов (YO1 — операционный усилитель; YO2 — тиристорный усилитель); в — функциональная схема в виде одного усилительного органа (YO — операционный и тиристорный усилители)

**Выбор исполнительного устройства (исполнительного органа).** Для регулирования напряжения мощных высоковольтных генераторов посредством обмотки возбуждения необходима сравнительно большая мощность. Поэтому для таких генераторов в качестве источника питания обмотки возбуждения нередко используют дополнительный генератор постоянного тока, который также вращается приводной машиной синхронного генератора. В связи с этим для разрабатываемой САР в качестве исполнительного органа примем генератор постоянного тока с независимым возбуждением  $G_2$ .

Таким образом, завершен выбор технических средств, необходимых для построения заданной САУ и можно перейти к последнему — третьему этапу.

**Этап третий. Составление упрощенной принципиальной и функциональной схем САУ.** Объединяя элементарные принципиальные схемы (рис. 3.20, 3.23, 3.25, 3.26), изобразим упрощенную принципиальную схему САУ (рис. 3.27, а), а используя графические обозначения этих схем как функциональных составляющих системы (рис. 3.21, 3.24, а; 3.25, б; 3.26, б), получим ее функциональную схему (рис. 3.27, б).

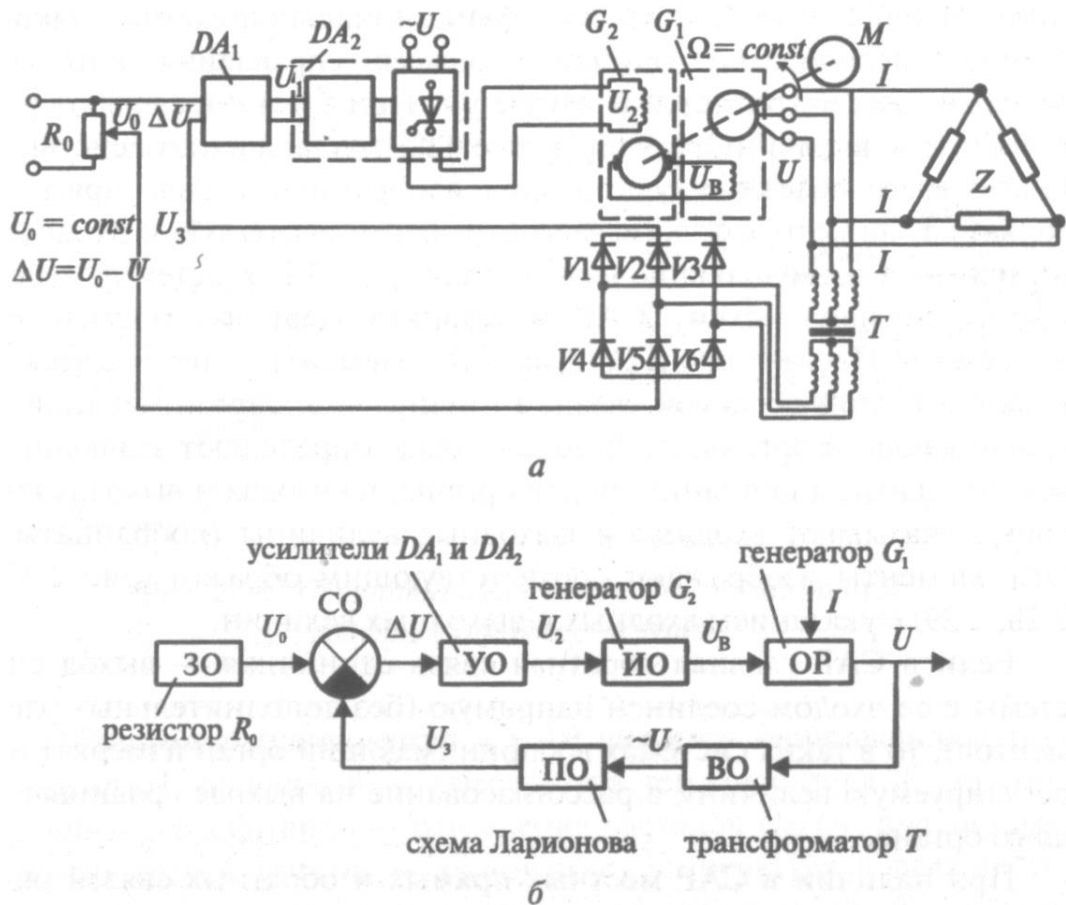


Рис. 3.27. Упрощенная принципиальная (а) и функциональная (б) схемы САУ напряжения синхронного генератора

### 3.2. Передаточные функции объекта регулирования, элементов системы автоматического регулирования и ее структурной схемы

Рассмотрим порядок составления структурных схем САУ на следующем примере.

**Пример.** Для САУ напряжения синхронного генератора (рис. 3.27) составьте структурную схему. В данной автоматической системе применены элементы, динамические свойства которых изучены, и их динамические характеристики приводятся в технической литературе по автоматике.

Динамические свойства объекта регулирования и элементов САР описываются следующими дифференциальными и алгебраическими уравнениями [1].

Объект регулирования (синхронный генератор):

$$T_0 \frac{dU}{dt} + U = k_0^1 U_B - k_0^2 (T_0 \frac{dI}{dt} + I), \quad (3.1)$$

где  $T_0$  — постоянная времени;

$k_0^1$  — передаточный коэффициент по регулируемому воздействию;

$k_0^2$  — передаточный коэффициент по возмущающему воздействию.

Исполнительный орган (возбудитель — генератор постоянного тока):

$$T_{II} \frac{dU_B}{dt} + U_B = k_{II} U_2, \quad (3.2)$$

где  $T_{II}$  — постоянная времени;  $k_{II}$  — передаточный коэффициент.

Усилительный орган 2 (тиристорный усилитель мощности):

$$U_2 = k_2 U_1, \quad (3.3)$$

где  $k_2$  — коэффициент усиления усилителя.

Усилительный орган 1 (электронный усилитель напряжения):

$$U_1 = k_1 \Delta U, \quad (3.4)$$

где  $k_1$  — коэффициент усиления электронного усилителя.

Воспринимающий орган (понижающий трансформатор):

$$U_{\sim} = k_B U, \quad (3.5)$$

где  $k_B$  — передаточный коэффициент (коэффициент трансформации).

Преобразующий орган (выпрямительная схема Ларионова):

$$U_3 = k_{II} U_{\sim}, \quad (3.6)$$

где  $k_{II}$  — передаточный коэффициент схемы Ларионова.

Для построения структурной схемы САР необходимы передаточные функции объекта регулирования и элементов системы.

Объект регулирования имеет две входных величины и одну выходную, следовательно, он будет иметь передаточные функции по каждому каналу: по регулируемому и по возмущающему воздействиям.

Передаточную функцию объекта регулирования по регулируемому воздействию  $W_p(p)$ , руководствуясь принципом суперпозиции, определяем на основе (3.1) при  $I = 0$ :

$$T_0 \frac{dU}{dt} + U = k_0^1 U_B,$$

преобразовав его по Лапласу как

$$T_0 p U(p) + U(p) = k_0^1 U_B(p)$$

и выполнив следующие элементарные математические преобразования, получим:

$$U(p)[T_0 p + 1] = k_0^1 U_B(p);$$

$$W_p(p) = \frac{U(p)}{U_B} = \frac{k_0^1}{T_0 p + 1}, \quad (3.7)$$

где  $U(p)$  и  $U_B(p)$  — соответственно изображения по Лапласу регулируемой величины  $U$  и регулирующего воздействия  $U_B$ . Приняв  $U_B = 0$ , найдем передаточную функцию объекта регулирования по возмущающему воздействию:

$$\begin{aligned} T_0 \frac{dU}{dt} + U &= -k_0^2 \left( T_0 \frac{dI}{dt} + I \right); \\ T_0 p U(p) + U(p) &= -k_0^2 [T_0 p I(p) + I(p)]; \\ U(p)[T_0 p + 1] &= -k_0^2 I(p)[T_0 p + 1]; \\ W_p(p) = \frac{U(p)}{I(p)} &= \frac{-k_0^2}{T_0 p + 1} = -k_0^2, \end{aligned} \quad (3.8)$$

где  $I(p)$  — изображение по Лапласу возмущающего воздействия  $I$ .

С учетом найденных передаточных функций, структурную схему объекта регулирования можно представить в виде, показанном на рис. 3.28.

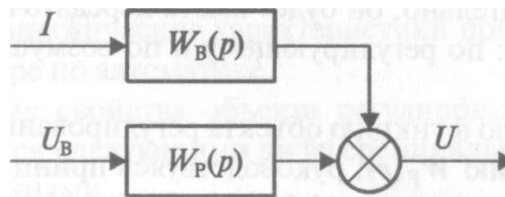


Рис. 3.28. Структурная схема объекта регулирования

Передаточные функции остальных элементов САУ, найденные аналогично на основе уравнений (3.2) — (3.6), имеют следующий вид:

- передаточная функция исполнительного органа

$$W_{ио}(p) = \frac{k_{и}}{T_{и} p + 1}; \quad (.9)$$

- передаточная функция усилительного органа 2

$$W_{у2}(p) = k_2; \quad (.10)$$

- передаточная функция усилительного органа 1

$$W_{у1}(p) = k_1; \quad (.11)$$

- передаточная функция воспринимающего органа

$$W_{во}(p) = k_в; \quad (.12)$$

- передаточная функция преобразующего органа

$$W_{по}(p) = k_п. \quad (.13)$$

На основе исходной функциональной схемы САУ и найденных передаточных функций составим схему путем замены объекта регулирования в схеме (рис. 3.27, б) его структурной схемой (рис. 3.28) и замещением функциональных обозначений элементов соответствующими им передаточными функциями (3.9)—(3.13). В результате получим структурную схему, показанную на рис. 3.29.

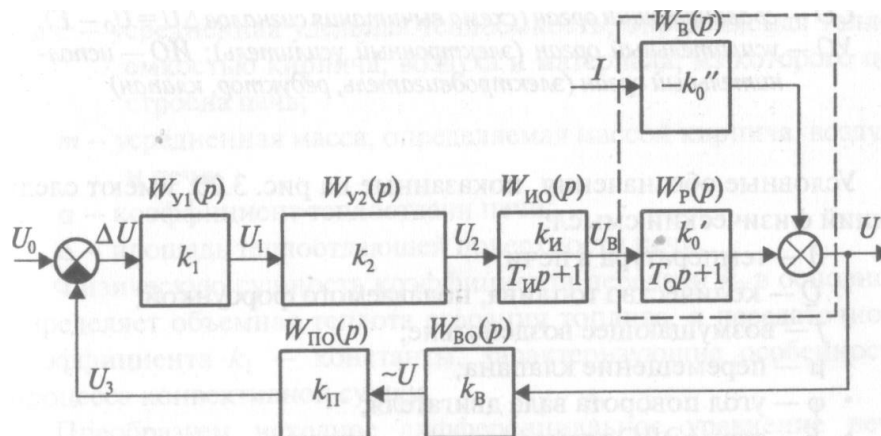


Рис. 3.29. Структурная схема САУ напряжения синхронного генератора

## 4. Компьютерные технологии решения задач управления в среде MATLAB

### 4.1. Задачи управления

При анализе систем управления задача формулируется следующим образом.

Дано:

- структурная схема (блок схема) системы;
- передаточные функции звеньев системы;
- значения переменных передаточных функций.

Необходимо определить:

- устойчивость системы управления;
- качество переходных процессов;
- точность системы.

При синтезе системы управления задача формулируется иначе. Необходимо создать из имеющихся звеньев структурную схему системы, которая бы удовлетворяла условиям устойчивости (запас по фазе и амплитуде), качеству переходных процессов (форма переходного процесса, длительность, величина перерегулирования) и точности.

В такой постановке решение задач анализа и синтеза весьма целесообразно с помощью математической системы MATLAB.

Характерными особенностями исследований с помощью MATLAB являются:

- простота;
- высокая наглядность;
- возможность получения характеристик системы практически любой сложности.

MATLAB позволяет:

- исследовать устойчивость системы управления (запасы устойчивости по амплитуде и фазе);
- получать переходные и частотные характеристики системы;
- исследовать качество переходных процессов (вид переходного процесса и его длительность, величину перерегулирования);
- выбрать параметры звеньев системы, вид и характеристики обратной связи с целью обеспечения требуемых динамических свойств системы управления.

Простота решения задач управления определяется наличием в MATLAB специальных функций. Ниже приводятся функции MATLAB, позволяющие воспроизводить передаточные функции звеньев и системы в целом и исследовать ее динамические свойства.

## **4.2. Функции MATLAB для создания передаточных функций звеньев системы**

### **4.2.1. Функция tf()**

Функция имеет вид:

$$tf(n,m),$$

где:  $n$  — вектор коэффициентов числителя передаточной функции;

$m$  — вектор коэффициентов знаменателя передаточной функции.

Она служит для образования передаточной функции звеньев и системы в целом.

*Пример 4.1.* Необходимо образовать передаточную функцию

$$G(S) = (2S + 5)/S^3 + 2S + 1 .$$

В нашем случае векторы коэффициентов числителя и знаменателя передаточной функции имеют вид:  $n = [2, 5]$ ,  $m = [1, 0, 2, 1]$ .

Ноль в векторе  $m$  ставится потому, что в знаменателе передаточной функции член  $S^2$  отсутствует.

Процедуры образования передаточной функции  $G(S)$  имеют вид:

- »  $n = [2, 5]$ ;
- »  $m = [1, 0, 2, 1]$  ;
- »  $qs = tf(n, m)$

После нажатия клавиши <Enter> на экране появится передаточная функция в виде:

Transfer function:

$$\frac{2S + 5}{S^3 + 2S + 1}$$

Функцию  $qs = tf(n, m)$  можно также представить в следующем виде:

$$\text{» } qs = tf ([2 \ 5] , [1 \ 0 \ 2 \ 1])$$

Числа в векторах  $n$  и  $m$  отделяются друг от друга либо запятыми, либо пробелами (как в нашем примере), а сами векторы заканчиваются символом (;). Символ точка с запятой подавляет вывод на экран векторов при нажатии клавиши <Enter>.

Процедуры получения передаточной функции приведены на рис.

4.1.



Рис 4.1.Образование передаточной функции

#### 4.2.2. Функции pole() и zero()

Функции предназначены для определения, соответственно, полюсов и нулей передаточной функции  $G(S)$ . Они имеют вид:

pole{qs}

zero(qs)

где qs — имя передаточной функции, заданной оператором tf.

Напомним, что *нулями* передаточной функции называются корни числителя, а полюсами — корни знаменателя.

*Пример 4.2.* Определить полюсы и нули передаточной функции, полученной в примере 4.1.

Процедуры в MATLAB будут иметь вид:

» qs=tf ([2 5], [1 0 2 1 ] );



»  $P = \text{pole}(qs)$

После нажатия клавиши <Enter> на экране появится ответ:

$p =$

$0.2267 + 1.4677i$

$0.2267 - 1.4677i$

$-0.4534$

»  $z = \text{zero}(qs)$

$Z =$

$-2.5$

Процедуры определения нулей и полюсов показаны на рис. 4.2.

```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: D:\MATLAB6p5\work
Using Toolbox Path Cache. Type "help toolbox_path_cache" for more info.
To get started, select "MATLAB Help" from the Help menu.
>> qs=tf([2 5], [1 0 2 1])
Transfer function:
      2 s + 5
-----
s^3 + 2 s + 1
>> P=pole(qs)
P =
    0.2267 + 1.4677i
    0.2267 - 1.4677i
   -0.4534
>> |
Start
  
```

Рис. 4.2. Определение нулей и полюсов передаточной функции

### 4.2.3. Функции **roots()** и **poly()**

Функции предназначены, соответственно, для вычисления корней полинома и его восстановления по значениям корней. Эти функции имеют вид:

$\text{roots}(P)$

$\text{poly}(r)$

где:  $p$  — вектор коэффициентов полинома;

$r$  — вектор корней полинома.

Пример 4.3. Найти корни уравнения  $S^3 + 3S^2 + 4$  и по корням восстановить полином.

В данном случае  $p=[1 \ 3 \ 0 \ 4]$  и процедуры решения будут иметь вид:

```
>> p = [1 3 0 4];  
>> r = roots(P)  
  
r =  
-3.3553  
0.1777 + 1.0773i  
0.1777 - 1.0773i  
» P = poly(r) p =  
1.0000 3.0000 0.0000 4.0000
```

Решение показано на рис. 4.3.

Функции `roots()` и `poly()` полезно использовать для определения полюсов и нулей в условиях, когда по каким-либо причинам функции `pole()` и `zero()` не могут дать решения.

#### 4.2.4. Функция `conv()`

Функция применяется для умножения полиномов. Она имеет вид:

$$\text{conv}(P, q)$$

где  $p, q$  — векторы коэффициентов полиномов  $P(S)$  и  $q(S)$ .

*Пример 4.4.* Умножить полиномы

$$P(S)=3S^2 + 2S + 1 \text{ и } q(S)=S + 4.$$

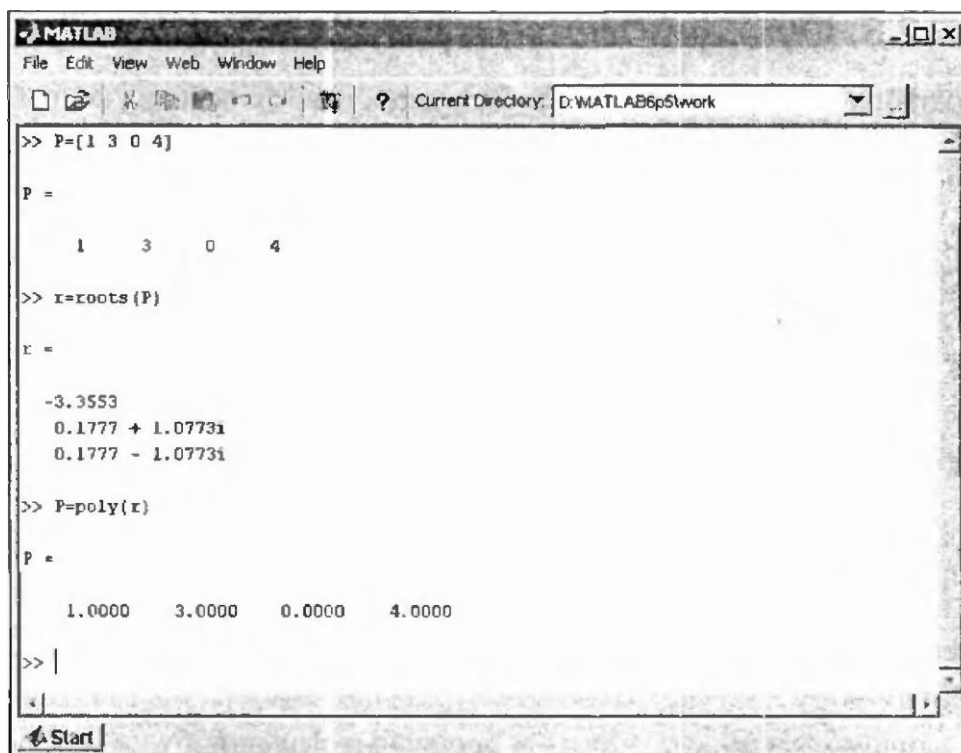


Рис. 4.3. Функции определения корней полинома и его восстановления

Процедуры в MATLAB имеют вид:

$$\gg P=[3 \ 2 \ 1];$$

$$\gg q=[1 \ 4];$$

$$\gg G=\text{conv}\{P, q\}$$

G =

$$3 \quad 14 \quad 9 \quad 4$$

Или

$$G = 3S^3 + 14S^2 + 9S + 4.$$

Процедуры умножения полиномов показаны на рис. 4.4

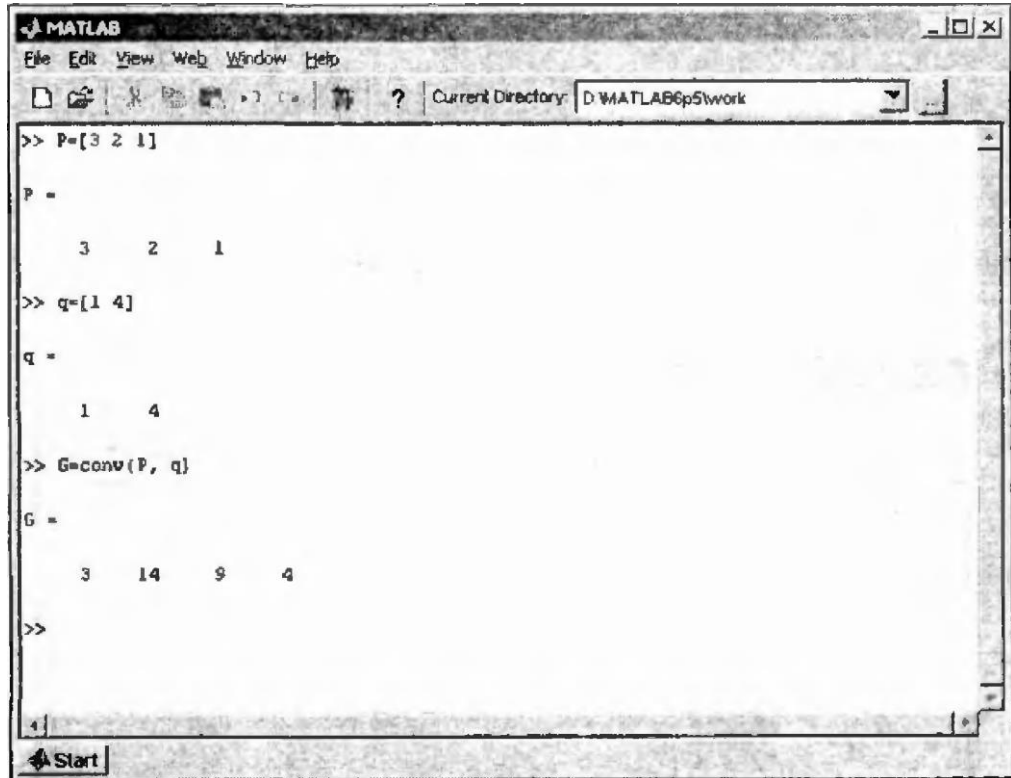
#### 4.2.5. Функция polyval()

Функция предназначена для вычисления значений полинома при заданном значении переменной. Она имеет вид:

$$\text{polyval}(n,k)$$

где: n — вектор коэффициентов полинома;

k — значение переменной S.



```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: D:\MATLAB65\work
>> P=[3 2 1]
P =
    3    2    1
>> q=[1 4]
q =
    1    4
>> G=conv(P, q)
G =
    3   14    9    4
>>
    
```

Рис. 4.4. Процедуры умножения полиномов

*Пример 4.5.* Необходимо вычислить значение полинома

$$P(S) = 3S^2 + 2S + 1$$

при  $S = -2$ .

Решение:

»  $n=[3 2 1];$

»  $Z=polyval(n, -2)$

$Z =$

9

Вычисление значения полинома показано на рис. 4.5.

### 4.3. Операции с передаточными функциями звеньев

#### 4.3.1. Сложение передаточных функций

Сложение передаточных функций осуществляется с помощью оператора +.

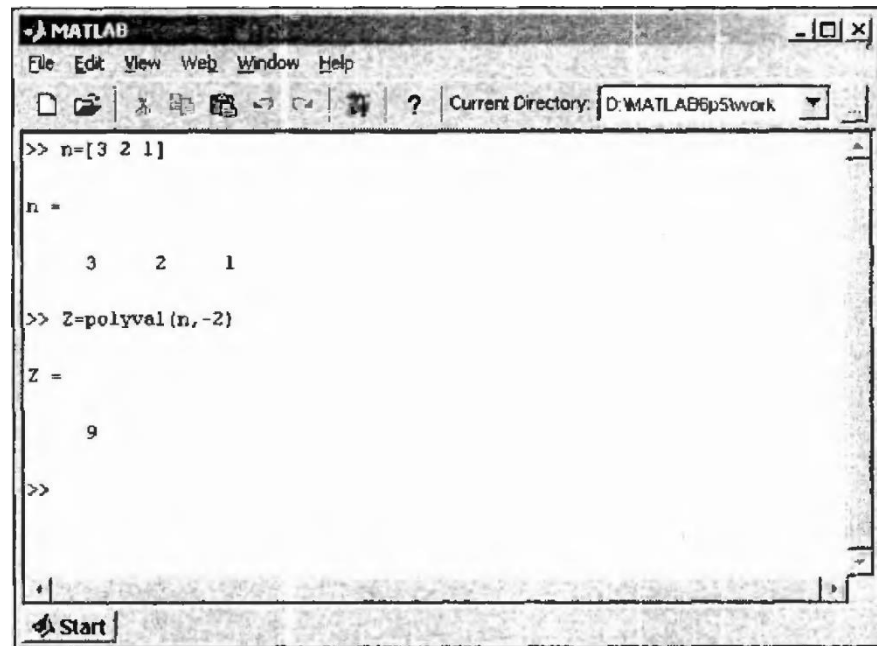


Рис. 4.5. Вычисление значений полинома

*Пример 4.6.* Сложить передаточные функции

$$G_1(S) = 10/S^2 + 2S + 5 \text{ и } G_2(S) = 2S^2 + 12S + 15/S^3 + 3S^2 + 7S + 5$$

Решение:

»  $n1 = [10];$

»  $m1 = [1 \ 2 \ 5];$

»  $z1 = tf(n1,m1)$

Transfer function:

$$10/S^2 + 2S + 5$$

»  $n2 = [2 \ 12 \ 15];$

»  $m2 = [1 \ 3 \ 7 \ 5];$

»  $z2 = tf(n2,m2)$

Transfer function:

$$2S^2 + 12S + 15/S^3 + 3S^2 + 7S + 5$$


»  $G = z1+z2$

Transfer function:

$$2S^4 + 26S^3 + 79S^2 + 160S + 125/S^5 + S^4 + 18S^3 + 34S^2 + 45S + 25$$

Процедуры сложения передаточных функций показаны на рис.

4.6.



```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: D:\MATLAB6p5\work
>> n1=[10]; m1=[1 2 5]; Z1=tf(n1, m1)

Transfer function:
    10
-----
   s^2 + 2 s + 5

>> n2=[2 12 15]; m2=[1 3 7 5]; Z2=tf(n2, m2)

Transfer function:
    2 s^2 + 12 s + 15
-----
   s^3 + 3 s^2 + 7 s + 5

>> G=Z1+Z2

Transfer function:
    2 s^4 + 26 s^3 + 79 s^2 + 160 s + 125
-----
   s^5 + 5 s^4 + 18 s^3 + 34 s^2 + 45 s + 25

>>
    
```

Рис. 4.6. Сложение передаточных функций

Аналогично осуществляются операции вычитания, умножения и деления передаточных функций с помощью операторов  $-$ ,  $*$ ,  $/$ .

### 4.3.2. Функция pzmap()

Функция pzmap() показывает расположение полюсов и нулей передаточной функции на комплексной плоскости  $S$ .

Функция имеет вид:

pzmap(G)

где G – имя передаточной функции.

*Пример 4.7.* Представить на плоскости S нули и полюсы функции

$G(S)=$

$$\frac{6S^5 + 18S^4 + 25S^3 + 75S^2 + 4S + 12}{S^5 + 6S^4 + 14S^3 + 16S^2 + 9S + 2}$$

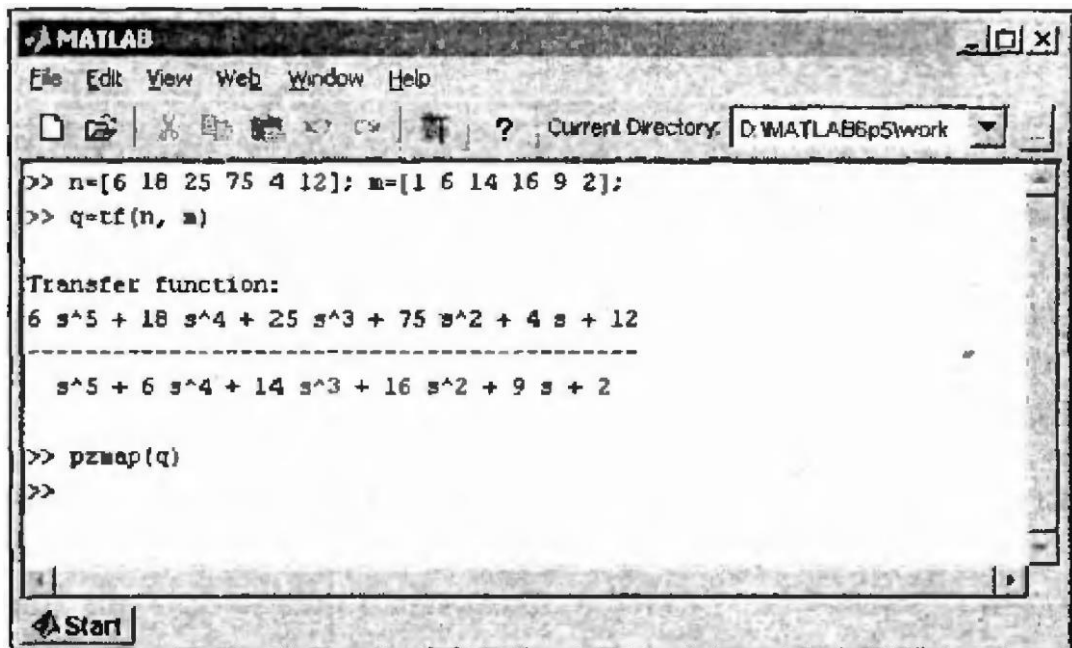


Рис. 4.7. Определение нулей и полюсов передаточной функции

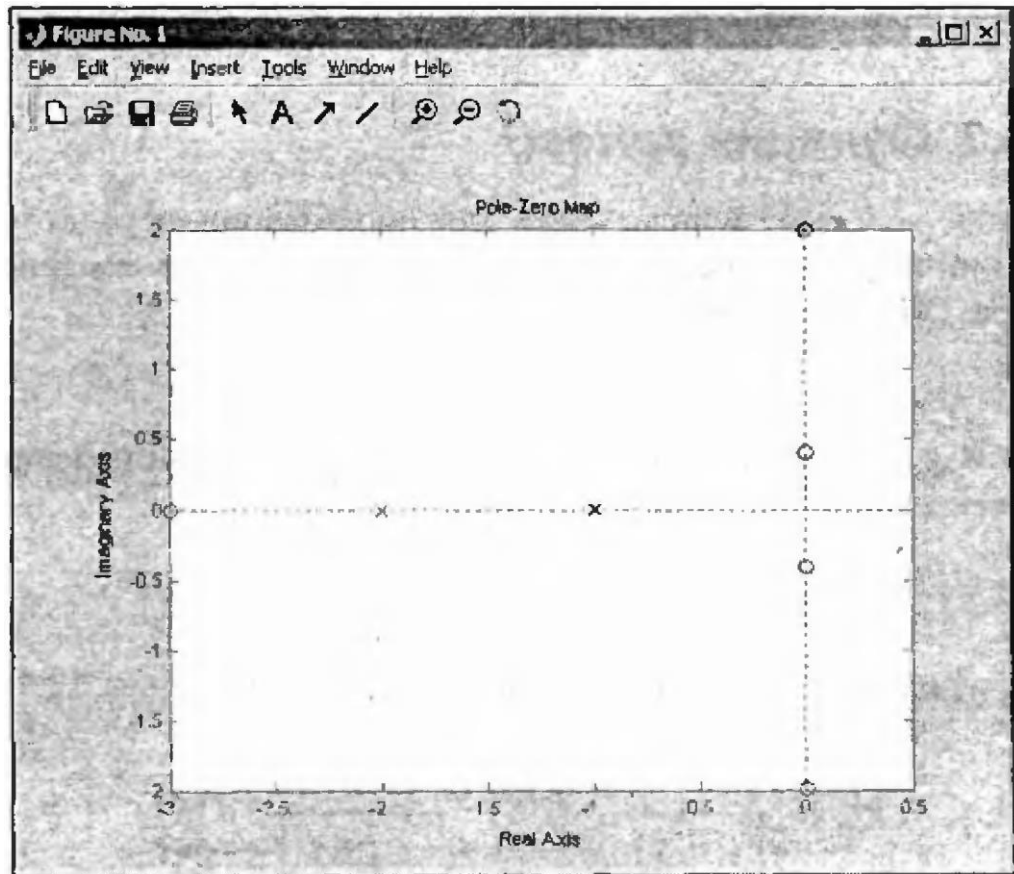


Рис. 4.8. Нули и полюсы передаточной функции

Решение:

»  $n = [6 \ 18 \ 25 \ 75 \ 4 \ 12];$

»  $m = [1 \ 6 \ 14 \ 16 \ 9 \ 2];$

»  $q = \text{tf}(n, m)$

Transfer function:

$$\frac{6S^5 + 18S^4 + 25S^3 + 75S^2 + 4S + 12}{S^5 + 6S^4 + 14S^3 + 16S^2 + 9S + 2}$$

»  $\text{pzmap}(q)$

Процедуры определения нулей и полюсов передаточной функции показаны на рис. 4.7, а ответ представлен в виде рис. 4.8 с расположением нулей (кружки) и полюсов (звездочки) на плоскости  $S$ . Обратите внимание, что на рисунке указаны только два полюса, хотя в знаменателе функции  $G(S)$  полином пятой степени. Такой результат



получен потому, что в нашем случае четыре корня знаменателя равны -1.

### 4.3.3. Функция series()

Функция series () используется для образования передаточной функции системы, состоящей из последовательного соединения звеньев. Она имеет вид:

$$\text{series}(q1, q2)$$

где q1 и q2 — передаточные функции последовательно соединенных звеньев.

*Пример 4.8.* Структурная схема системы управления показана на рис. 4.9.

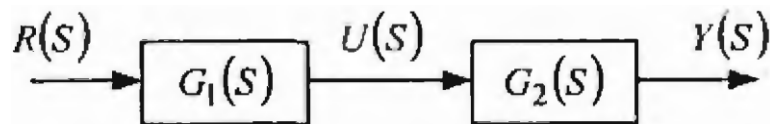


Рис. 4.9. Структурная схема системы

Необходимо получить передаточную функцию системы

$$G(S)=Y(S)/R(S),$$

если передаточные функции звеньев имеют вид:

$$G_1(S)=U(S)/R(S) = S + 1/S + 2,$$

$$G_2(S)=Y(S)/U(S) = 1/5S^2 .$$

Решение:

- » n1 = [1 1];
- » m1 = [1 2];
- » q1 = tf (n1,m1);
- » n2 =[1];
- » m2 = [5 0 0 ] ;
- » q2 = tf (n2,m2);
- » G = series(q1,q2)

Transfer function:

$$S + 1/5S^3 + 10S^2.$$

Ответом является, как и следовало ожидать, произведение передаточных функций звеньев.

#### 4.3.4. Функция parallel ()

Функция parallel () используется для образования передаточной функции системы, состоящей из параллельных звеньев, и имеет вид:

$$\text{parallel}(q1, q2)$$

где q1 и q2 — передаточные функции параллельно соединенных звеньев.

*Пример 4.9.* Структурная схема системы управления приведена на рис. 4.10.

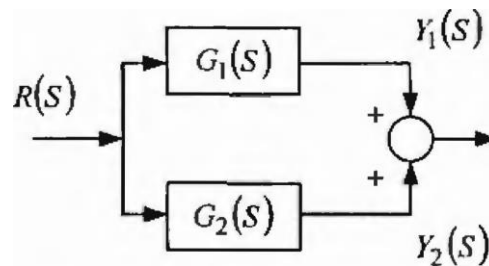


Рис. 4.10. Структурная схема системы, состоящая из параллельных звеньев

Необходимо получить передаточную функцию системы

$$G(S)=Y(S)/R(S),$$

если передаточные функции звеньев имеют вид:

$$G_1(S) = Y_1 (S)/R(S) = S + 1/S^2 + 3S + 1;$$

$$G_2(S) = Y_2 (S)/R(S) = S + 2/S^2 + S + 3.$$

Решение:

- » n1 = [1 1] ;
- » m1 = [1 3 1];
- » q1 = tf (n1,m1);
- » n2 = [1 2] ;
- » m2 = [ 1 1 3];

»  $q_2 = tf(n_2, m_2)$ ;

»  $G = \text{parallel}(q_1, q_2)$

Transfer function:

$$2S^3 + 7S^2 + 11S + 5/S^4 + 4S^3 + 7S^2 + 10S + 3.$$

#### 4.3.5. Функция feedback()

Функция feedback() применяется для образования передаточной функции замкнутой системы по известным передаточным функциям разомкнутой системы и цепи обратной связи.

Она имеет вид:

$$\text{feedback}(q, q_{oc}, \pm 1)$$

где:

- ◆  $q_{oc}$  — передаточная функция цепи обратной связи;
- ◆  $\pm 1$  — указывает вид обратной связи (-1 - положительная, +1 — отрицательная).

*Пример 4.10.* Структурная схема системы управления приведена на рис. 4.11.

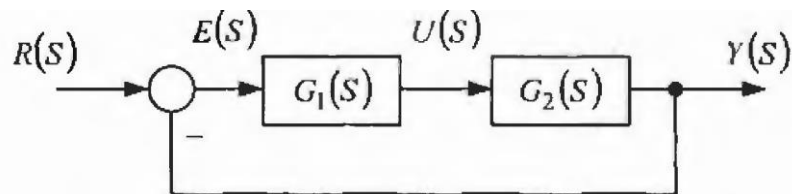


Рис. 4.11. Структурная схема системы управления

Передаточные функции звеньев имеют вид:

$$G_1(S) = (S + 1)/S + 2;$$

$$G_2(S) = 1/5S^2.$$

Передаточная функция цепи обратной связи образует отрицательную обратную связь с коэффициентом передачи, равным 1.

Необходимо получить передаточную функцию замкнутой системы управления:

$$G(S)=Y(S)/R(S) .$$

Передаточная функция  $G(S)$  определяется по выражению

$$G(S) = G_1 (S) \times G_2 (S) / 1 + G_1 (S) \times G_2 (S).$$

Из этого выражения и структурной схемы видно, что для получения передаточной функции замкнутой системы необходимо вначале образовать с помощью функции `tf ()` звенья  $G_1 (S)$  и  $G_2 (S)$ , затем посредством функции `series ()` образовать передаточную функцию разомкнутой системы и после этих процедур использовать функцию `feedback()` для образования передаточной функции замкнутой системы.

Программа образования передаточной функции замкнутой системы управления имеет вид:

»  $n1 = [ 1 \ 1];$

»  $m1 = [1 \ 2];$

»  $q1 = tf (n1, m1)$

Transfer function:

$$S + 1/S + 2$$

»  $n2 = [1];$

»  $m2 = [5 \ 0 \ 0];$

»  $q2 = tf \{n2,m2\}$

Transfer function:

$$1/5S^2$$

»  $q=series (q1,q2)$

Transfer function:

$$S + 1/5S^3 + 10S^2$$

»  $feedback (q, [1])$

Transfer function:

$$S + 1/5S^3 + 10S^2 + S + 1$$

Решение задачи приведено на рис. 4.12.

```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: D:\MATLAB6p5\work

>> n1=[1 1]; m1=[1 2]; q1=tf(n1, m1)

Transfer function:
s + 1
-----
s + 2

>> n2=[1]; m2=[5 0 0]; q2=tf(n2, m2)

Transfer function:
1
-----
5 s^2

>> q=series(q1, q2)

Transfer function:
s + 1
-----
5 s^3 + 10 s^2

>> feedback(q, [1])

Transfer function:
s + 1
-----
5 s^3 + 10 s^2 + s + 1

>>
  
```

Рис. 4.12. Образование передаточной функции системы с жесткой отрицательной обратной связью

Пример 4.11. Структурная схема системы управления приведена на рис. 4.13.

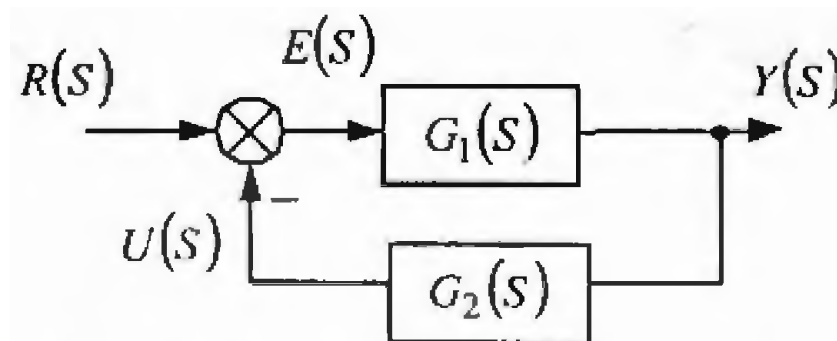


Рис. 4.13. Структурная схема системы с гибкой отрицательной обратной связью

Необходимо получить передаточную функцию замкнутой системы

$$G(S)=Y(S)/R(S) .$$

Передаточные функции звеньев имеют вид:

$$G_1(S) = S + 1/S + 2, G_2(S) = S + 0,5.$$

Решение:

- »  $n1 = [1 \ 1]$  ;
- »  $m1 = [1 \ 2]$ ;
- »  $q1 = \text{tf}(n1, m1)$  ;
- »  $n2 = [1 \ 0.5]$ ;
- »  $m2 = [1]$  ;
- »  $q2 = \text{tf}(n2, m2)$ ;
- »  $\text{feedback}(q1, q2, -1)$

Transfer function:

$$S + 1/S^2 + 2,5S + 2,5$$

#### 4.3.6. Функция minreal()

Функция minreal() позволяет выполнить сокращения передаточной функции при наличии одинаковых сомножителей в числителе и знаменателе. Она имеет вид:

$$\text{minreal}(G)$$

где G — передаточная функция системы.

*Пример 4.12.*

Передаточная функция системы управления имеет вид:

$$G(S) = \frac{S^2 + 4S + 3}{S^3 + S^2 + 2S + 2}.$$

Необходимо выполнить сокращение, если имеются одинаковые сомножители в числителе и знаменателе.

Решение

Представим функцию G(S) на языке MATLAB и воспользуемся функцией minreal (). Программа будет иметь вид:

- »  $n = [1 \ 4 \ 3]$ ;

»  $m = [1 \ 2 \ 2]$ ;

»  $q = tf(n, m)$

»  $mineral(q)$

Transfer function:

$$S + 3/S^2 + 2$$

#### 4.4. Исследование переходных процессов в системах управления

Исследовать переходные процессы в системах управления можно следующими методами:

- непосредственным решением дифференциальных уравнений, описывающих динамику системы управления;
- с помощью преобразования Лапласа – передаточной функции системы;
- с помощью встроенной функции `step()`.

Все эти методы могут быть реализованы в системе MATLAB.

Для исследования переходных процессов с помощью преобразования Лапласа необходимо получить обратное преобразование Лапласа передаточной функции звена  $Y(s)$  и представить его графически, а затем по виду графика определить вид переходного процесса (апериодический, колебательный) и его длительность.

Для графического воспроизведения результата в MATLAB используется функция `ezplot()`, имеющая вид:

$$ezplot(Y(t), x_n, x_k)$$

где:

- $Y(t)$  — функция, записанная в символьном виде (взята в кавычки);

- $X_n, X_k$  — диапазон изменения аргумента, в нашем случае диапазон изменения  $t$ .

*Пример 4.13.* Пусть обратное преобразование функции имеет вид:

$$Y(t) = 0,5e^{-0,5t}.$$

Тогда программа воспроизведения графика в MATLAB будет иметь вид

- » `Y= 0.5*exp(0.5*t);`
- » `ezplot(Y,0,3)`

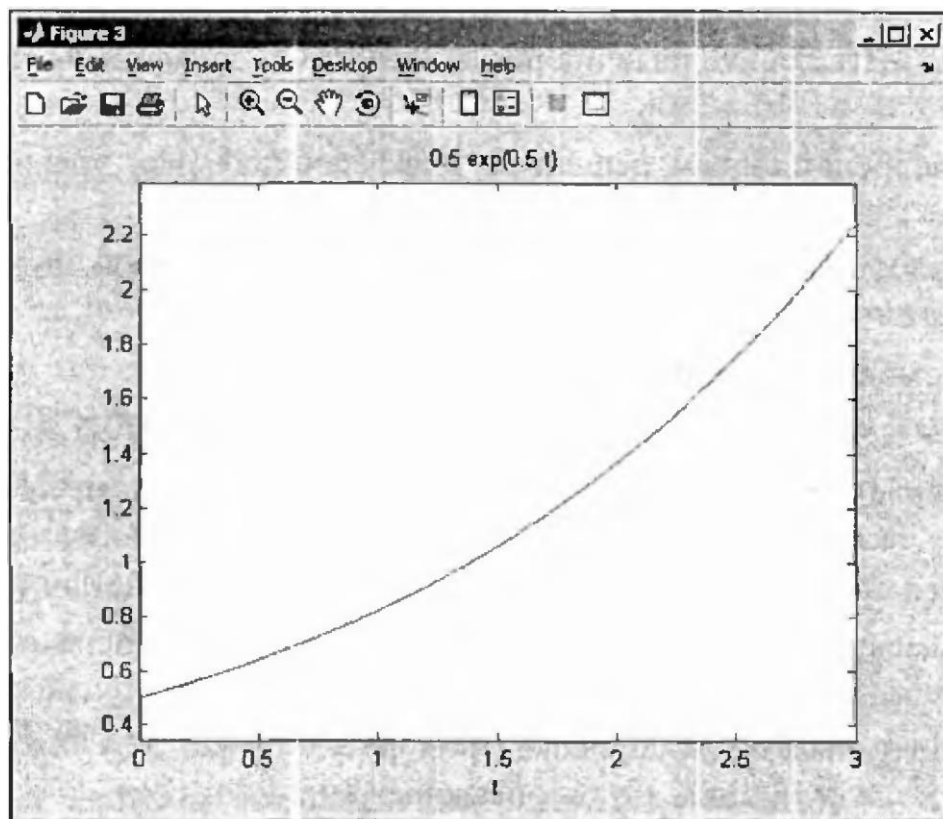


Рис. 4.14. График переходного процесса системы

После нажатия клавиши `<Enter>` на экране график функции (рис. 4.14) в диапазоне  $t$ , равном  $[0 — 3]$ .

#### 4.4.1. Функция `step()`



Функция  $\text{step}()$  вычисляет реакцию системы управления на единичное ступенчатое воздействие. Если целью исследования является получение графика, то функция записывается в следующем виде:

$$\text{step}(q, t)$$

где:

- $q$  — передаточная функция системы;
- $t$  — время функционирования системы управления.

При этом график будет получен автоматически с указанием переменных по осям. Если же график необходим для иных целей с его сохранением, то функция записывается с указанием аргументов в левой части, например,

$$[y, t] = \text{step}(q, t).$$

После этого для образования графика применяется функция  $\text{plot}(t, y)$ . При этом перед функцией  $\text{step}(q, t)$  необходимо указать диапазон изменения  $t$ , например, в таком виде:

$$t = [0:0.1:3],$$

т. е. от 0 до 3 с шагом 0.1.

Пример 4.14. Определить переходную характеристику системы управления, передаточная функция которой имеет вид:

$$Y(S) = \frac{5400}{2S^2} + 2,5S + 5402.$$

Решение:

- »  $nl = [5400];$
- »  $m1 = [2 \ 2.5 \ 5402];$
- »  $q = \text{tf}(nl, m1)$

Transfer function:

$$\frac{5400}{2S^2} + 2,5S + 5402$$

Ответом будет график переходной характеристики, показанной на рис. 4.15.

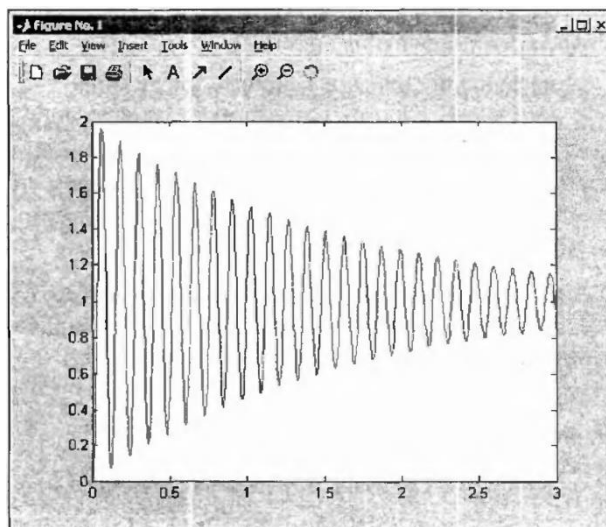


Рис. 4.15. Переходная характеристика системы

#### 4.5. Частотные характеристики системы

Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики в системе MATLAB строятся с помощью функции `bode()`, имеющей вид:

`bode(sys),`

где `sys` — имя передаточной функции.

Полученные частотные характеристики называются *функциями Боде*.

*Пример 4.15.* Необходимо построить частотные характеристики звена, передаточная функция которого имеет вид:

$$Y(S) = 0,5S + 1/S(2S + 1).$$

Программа решения задачи имеет вид:

- » `n = [0.5 1];`
- » `m = [2 1 0];`
- » `sys = tf(n,m);`
- » `bode(sys)`

После нажатия клавиши `<Enter>` на экране появится амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики звена (рис. 4.16). Частота имеет размерность "рад./с." и представляется в логариф-

мическом масштабе. Амплитуда измеряется в децибелах, фаза — в градусах.

При построении диаграммы Бode в области желаемых частот используется функция

$$\text{logspace}(a, b, n)$$

где:

- ◆ a — начальное значение частоты;
- ◆ b — конечное значение частоты;
- ◆ n — число точек в диапазоне [a; b].

Функция `bode()` при этом записывается в следующем виде:

$$\text{bode}(\text{sys}, w)$$

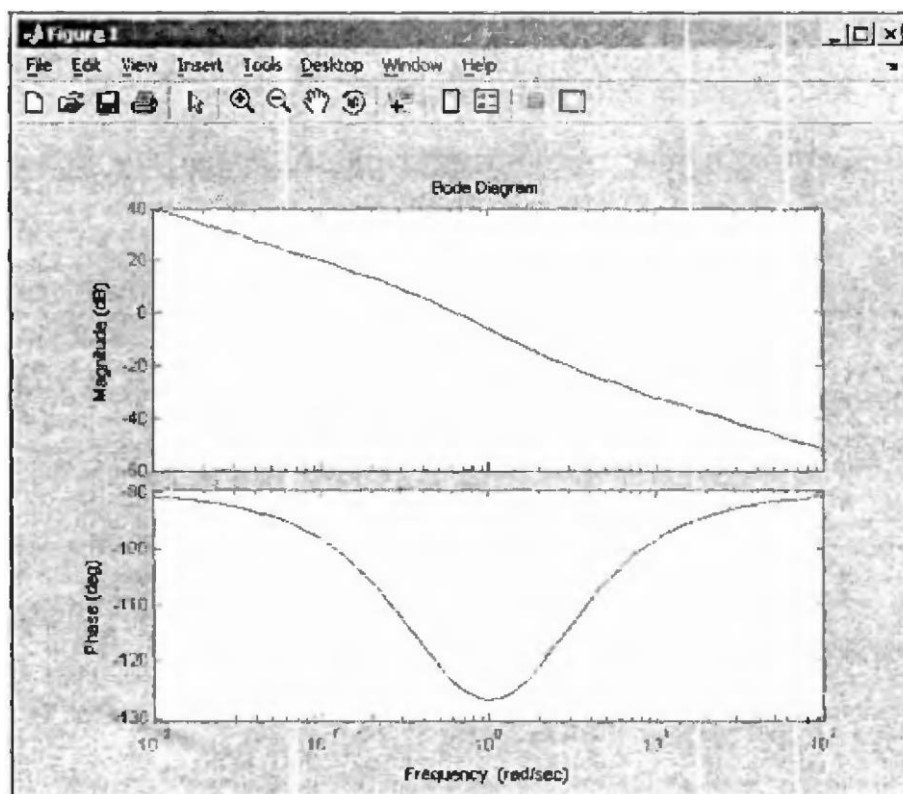


Рис. 4.16. Частотные характеристики звена

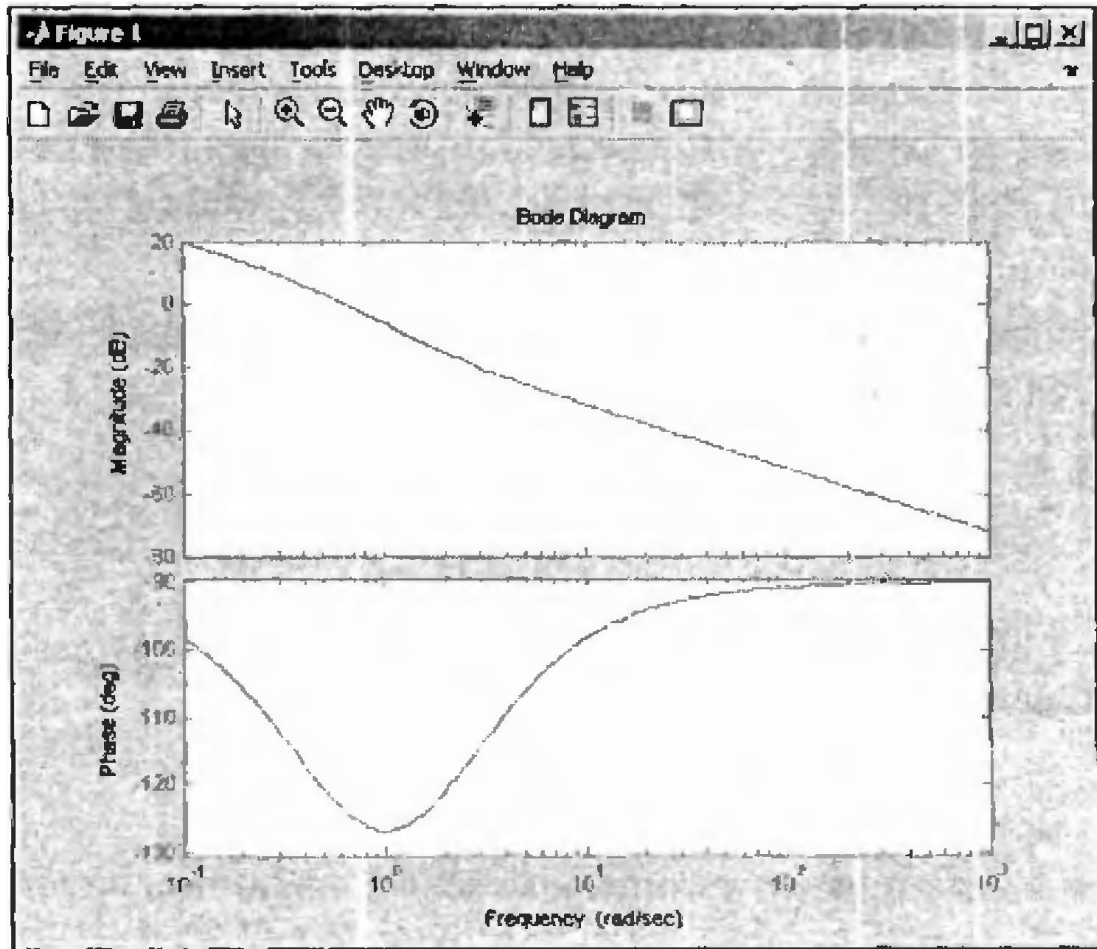


Рис. 4.17. График функции Бode

Для нашего примера программа будет иметь вид:

```

» N = [ 0.5 1 ];
» M = [ 2 1 0 ];
» sys = tf (N, M) ;
    » W=logspace (-1.3, 200) ;
» bode (sys,W)
    
```

После нажатия клавиши <Enter> на экране отобразятся характеристики в заданном диапазоне частот (рис. 4.17).

Следует иметь в виду, что в функции `logspace()` значения `a` и `b` (в нашем случае  $a = -1$ ,  $b = 3$ ) — это степени 10, т. е.  $10^{-1}$ ,  $10^3$ , что соответствует диапазону частот 0,1—3 рад/с.

#### 4.5.1. Амплитудно-фазовая характеристика системы

Амплитудно-фазовую характеристику называют *диаграммой Найквиста*. Она применяется для анализа устойчивости по *критерию Найквиста*. Реализуется в системе MATLAB с помощью функции

`nyquist (sys)`

где `sys` — имя передаточной функции.

*Пример 4.16.* Необходимо построить диаграмму Найквиста звена, передаточная функция которого имеет вид:

$$Y(S) = 0,5/S^3 + 2S^2 + S + 0,5.$$

Программа построения диаграммы имеет вид:

- » `N = (0.5);`
- » `M = [1 2 1 0.5];`
- » `sys = tf (N, M);`
- » `nyquist (sys)`

После нажатия клавиши `<Enter>` на экране появится диаграмма Найквиста, приведенная на рис. 4.18.

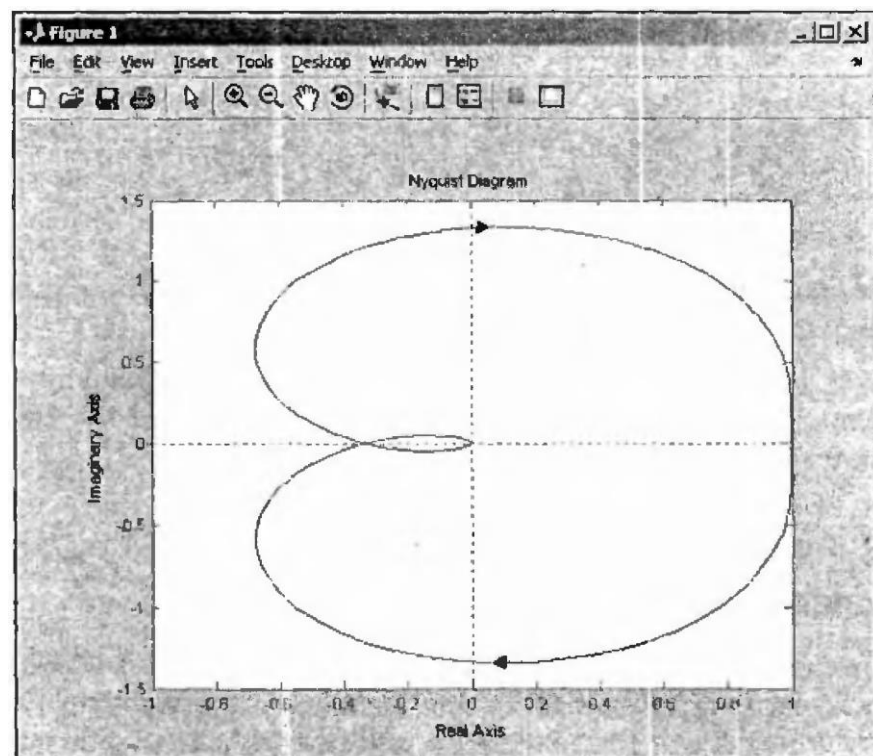


Рис. 4.18. Диаграмма Найквиста

### 4.5.2. Диаграмма Никольса

Сетка кривых линий на логарифмической амплитудно-фазовой диаграмме называется *диаграммой Никольса*. Линиям постоянных значений амплитуды  $M$  соответствуют децибелы, а линиям постоянных значений  $N = \operatorname{tg}\varphi$  — градусы.

Диаграмма Никольса используется для исследования вопросов устойчивости автоматических систем. Для построения диаграммы Никольса MATLAB имеет специальную функцию:

$$\text{nichols}(\text{sys}, w),$$

где:

- ◆  $\text{sys}$  — имя передаточной функции;
- ◆  $w$  — частота, задаваемая пользователем в логарифмическом масштабе.

*Пример 4.17.* Передаточная функция системы имеет вид:

$$Y(S) = 1/S(S + 1)(0,2S + 1).$$

Программа построения диаграммы Никольса:

- »  $n = [ 1 ]$ ;
- »  $m = [0.2 \ 1.2 \ 1 \ 0]$ ;
- »  $\text{sys} = \text{tf}(n,m)$  ;
- »  $w = \text{logspace}(-1,1,400)$ ;
- »  $\text{nichols}(\text{sys},w)$ ;
- »  $\text{ngrid}$

После нажатия клавиши <Enter> на экране — диаграмма Никольса (рис. 4.19).

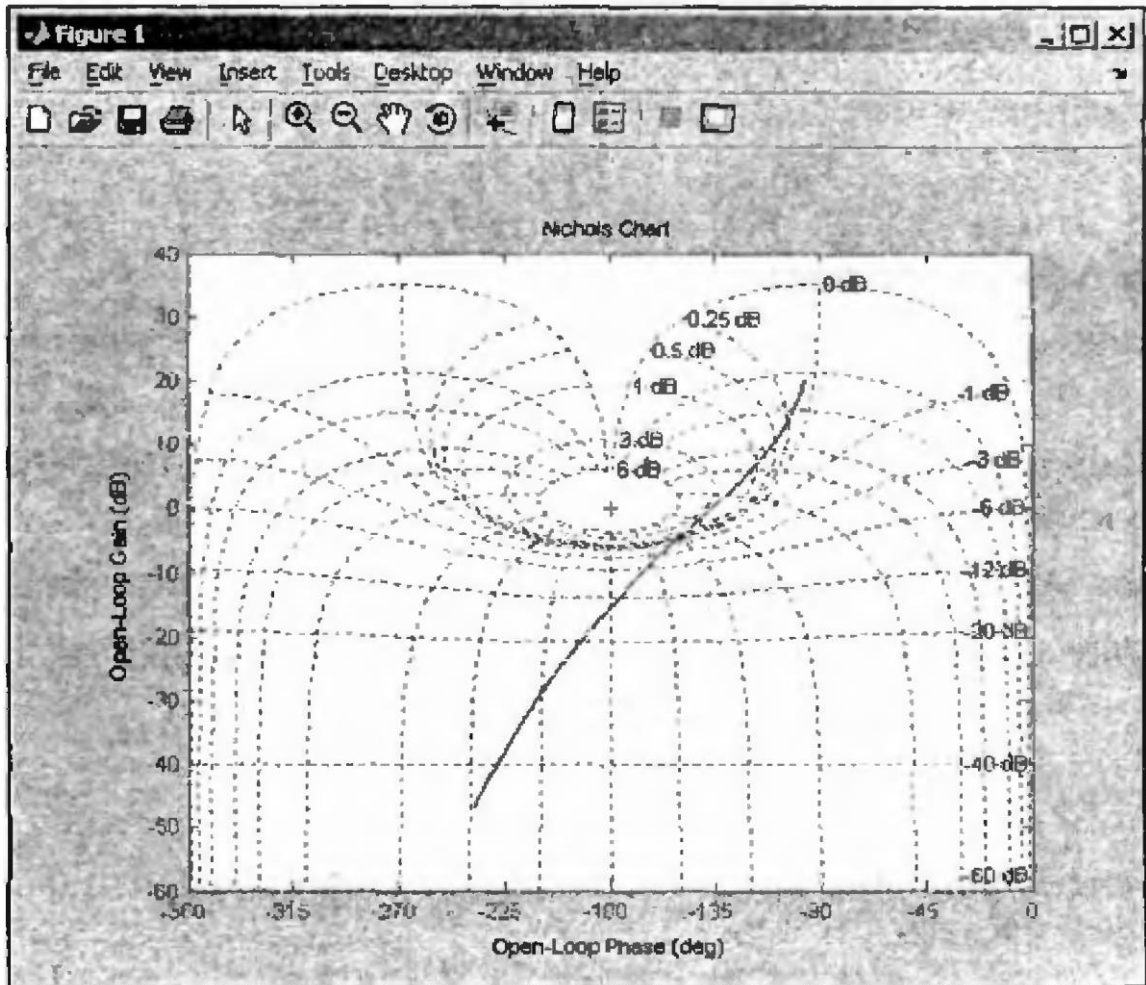


Рис. 4.19. Диаграмма Никольса

Функция `ngrid` вызывается для нанесения криволинейной сетки координат.

#### 4.6. Пример анализа динамики системы управления

Структурная схема системы управления приведена на рис. 4.20.

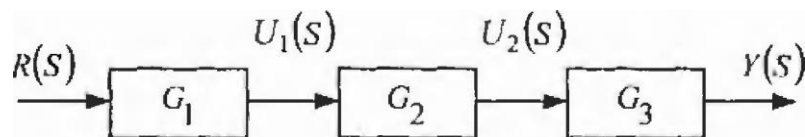


Рис. 4.20. Структурная схема разомкнутой системы управления

Передаточные функции звеньев имеют вид:

$$G_1(S) = K_1, G_2(S) = K_2/S(T_1S + 1), G_3(S) = T_2 S + 1/T_3 S + 1.$$

Переменные имеют значения:

$$K_1 = 10, K_2 = 5, T_1 = 1.5, T_2 = 3.5, T_3 = 4.7.$$

Необходимо исследовать:

- динамические свойства разомкнутой системы, определив устойчивость системы и качество переходных процессов;
- влияние обратной связи на устойчивость и качество переходных процессов.

Решать поставленные задачи будем в такой последовательности:

1. Получение передаточной функции системы управления

$$G(S) = Y(S)/R(S).$$

2. Определение нулей и полюсов передаточной функции разомкнутой системы.

3. Определение расположения нулей и полюсов на плоскости  $S$ .

4. Исследование качества переходных процессов.

5. Выбор, на основании предыдущих исследований, вида обратной связи.

6. Исследование устойчивости и качества переходных процессов в системе с обратной связью.

#### **4.6.1. Образование передаточной функции разомкнутой системы**

Образовать передаточную функцию системы можно лишь в том случае, если определены ее переменные. Программа MATLAB с символическими переменными  $K$  и  $T$  не работает. Присвоение переменным численных значений осуществляется оператором = (равно):

»  $K_1 = 10;$

»  $K_2 = 5;$

»  $T_1 = 1.5;$

»  $T_2 = 3.5;$

»  $T_3 = 4.7;$



»  $n1 = [K1]; m1 = [1]; z1 = tf(n1, m1)$

»  $n2 = [K2]; m2 = [T1 \ 1 \ 0]; z2 = tf(n2, m2);$

»  $n3 = [T2 \ 1]; m3 = [T3 \ 1]; z3 = tf(n3, m3);$

»  $G = z1 * z2 * z3$

Transfer function:

$$175S + 50 / 7,05S^3 + 6,2S^2 + S.$$

Обратите внимание на то, что в ответе имени функции  $G(S)$  нет.

Ее имя совпадает с именем произведения  $z1 * z2 * z3$ .

#### 4.6.2. Определение нулей и полюсов передаточной функции $G(S)$

Программа имеет вид:

»  $P = pole(G)$

$p =$

0

-0.6667

-0.2128

»  $N0 = zero(G)$

Ответа не последовало. Программа не нашла нулей передаточной функции. В целях экономии времени не будем искать причины отказа.

Для определения корня воспользуемся функцией  $roots()$ . Представим числитель передаточной функции  $G(S)$  полиномом  $175S + 50$  в векторном виде и воспользуемся функцией  $roots()$ :

»  $q1 = [175 \ 50];$

»  $N0 = roots(q1)$

$MO =$

-0.2857

### 4.6.3. Расположение нулей и полюсов на комплексной плоскости

Выполним:

» pzmap(G).

Результатом выполнения функции является комплексная плоскость  $S$  с расположением нулей (кружки) и полюсов (крестики). Значения нулей и полюсов совпадают с полученными в п. 3, что свидетельствует о правильности нашего решения. Комплексная плоскость с нулями и полюсами показана на рис. 4.21.

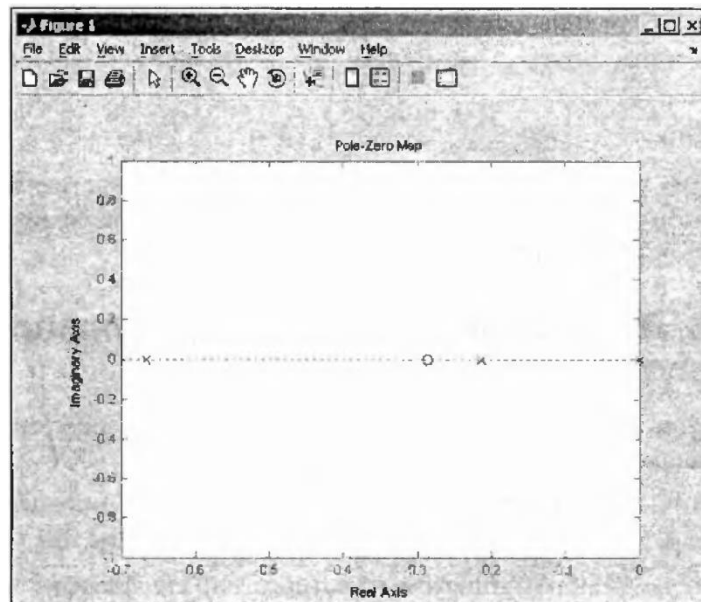


Рис. 4.21. Расположение нулей и полюсов на комплексной плоскости

### 4.6.4. Анализ устойчивости системы

Анализ полюсов и нулей передаточной функции позволяет сделать вывод, что исследуемая система не устойчива, т. к. один из полюсов равен нулю.

### 4.6.5. Исследование качества переходного процесса

Вычислим реакцию системы управления на единичную ступенчатую функцию, воспользовавшись функцией `step()`. На данном этапе исследования нам достаточно получить лишь график реакции системы, поэтому не будем указывать временную область графика

» `step{G}`

На экране (рис. 4.22) — переходный процесс, представляющий собой возрастающую амплитуду выходного сигнала от времени.

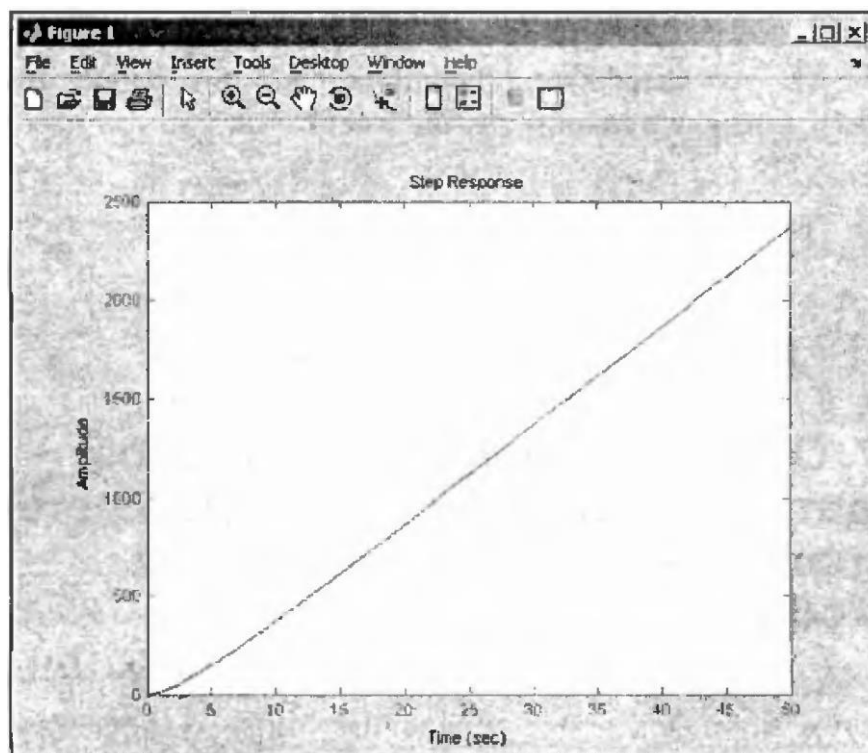


Рис. 4.22. Переходный процесс системы

Система неустойчива.

#### 4.6.6. Получение передаточной функции замкнутой системы

Исследуем теперь влияние обратной связи на динамику системы управления.

Передаточная функция замкнутой системы  $GOS$  определяется через передаточную функцию разомкнутой системы  $G(S)$  при отрицательной обратной связи в соответствии с выражением:

$$GOS = G(S) / (1 + G(S)).$$

В MATLAB это выражение реализуется с помощью функции `feedback()`, которая в нашем случае имеет вид:

» `GOS = feedback [G,[1])`

Transfer function:

$$175S + 50 / 7,05S^3 + 6,2S^2 + 176S + 50.$$

#### 4.6.7. Определение нулей и полюсов передаточной функции замкнутой системы и расположение их на комплексной плоскости

Так как числители передаточной функции замкнутой и разомкнутой систем совпадают, то определим лишь полюсы функции  $GOS(S)$  и отразим нули и полюсы на плоскости  $S$ .

#### 4.6.8. Переходные процессы замкнутой системы с жесткой отрицательной обратной связью

График переходного процесса получаем после реализации функции

`step(GOS)`.

На экране— график, представляющий собой колебательный затухающий процесс (рис. 4.24).

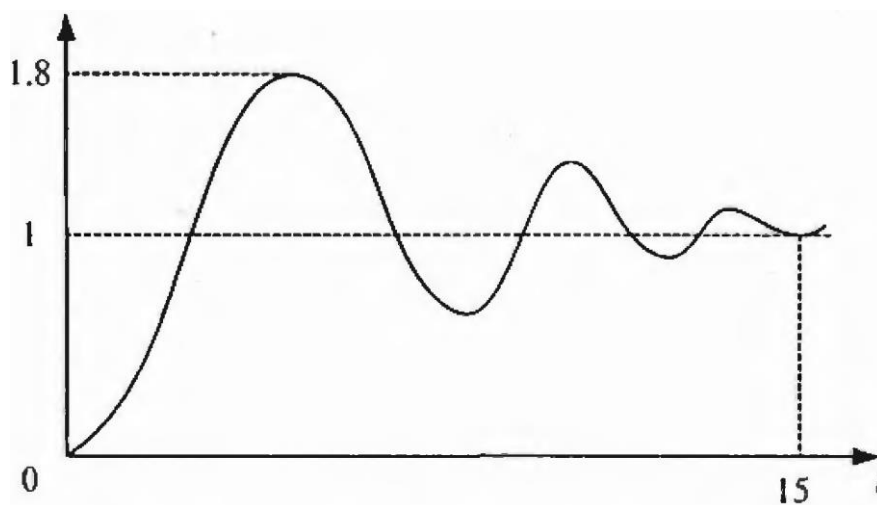


Рис. 4.24. График переходного процесса замкнутой системы

Длительность переходного процесса  $T=15$  с, величина перерегулирования  $A = 1.8$ .

#### **4.6.9. Исследование устойчивости и качества переходных процессов системы управления при гибкой отрицательной обратной связи**

Улучшить динамику системы управления можно, используя гибкую обратную связь по производной.

В качестве обратной связи применим блок с передаточной функцией

$$G_{oc} = TS+1.$$

Результаты расчетов при значениях  $T = 2, 0.5, 0.1$  таковы:

- при  $T = 2$  процесс апериодический с длительностью 12 с и отсутствием перерегулирования;
- при  $T = 0.5$  процесс апериодический с длительностью 2.5 с;
- ◆ при  $T = 0.1$  процесс колебательный с длительностью 3.3 с и величиной перерегулирования  $A = 1.35$ .

Эти исследования при желании читатель выполнит самостоятельно.

#### **4.7. Индивидуальные задания для исследования динамики систем управления**

В следующих разделах приводятся два индивидуальных задания по исследованию динамики систем управления.

В первом из них ставятся задачи образования передаточной функции системы, определение условий устойчивости по значениям нулей и полюсов передаточной функции и образования переходных характеристик системы.

Второе задание посвящено исследованиям устойчивости и качества переходных процессов по переходным и частотным характеристикам системы.

### 4.7.1. Задание 1

Блок-схема системы управления приведена на рис. 4.25.

Необходимо исследовать устойчивость и качество переходных процессов разомкнутой системы управления, системы с жесткой и гибкой обратной связью. Решение задачи выполнить в последовательности, приведенной ранее.

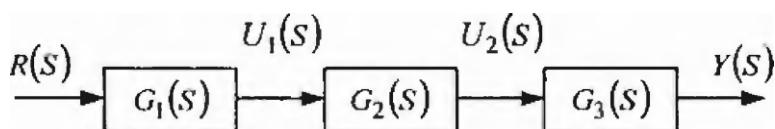


Рис. 4.25. Исходная структурная схема системы

При исследовании динамики системы управления с гибкой обратной связью передаточную функцию цепи обратной связи  $G_{oc}$  можно выбрать из следующих вариантов:

$$G_{oc}(S) = K,$$

$$G_{oc}(S) = TS + 1,$$

$$G_{oc}(S) = T_1 S + 1 / T_2 S + 1,$$

$$G_{oc}(S) = K / TS + 1.$$

Далее приведены передаточные функции звеньев системы для вариантов заданий.

➤ Вариант 1

$$G_1(S) = K_1 / T_1 S + 1, G_2(S) = K_2 / S(T_2 S + 1), G_3(S) = T_3 S + 1 / T_4 S + 1,$$

$$K_1 = 20, K_2 = 2, T_1 = 1.5, T_2 = 2, T_3 = 5.4, T_4 = 2.5.$$

➤ Вариант 2

$$G_1(S) = K_1, G_2(S) = K_2 / S(T_1 S + 1), G_3(S) = K_3 / T_2 S + 1,$$

$$K_1 = 30, K_2 = 5, K_3 = 12, T_1 = 2.5, T_2 = 0.8.$$

➤ Вариант 3

$$G_1(S) = K_1(T_1 S + 1), G_2(S) = K_2 / S(T_2 S + 1), G_3 = (K_3 (T_3 S + 1) / T_4 S + 1,$$

$$K_1 = 32, K_2 = 16, K_3 = 2.5, T_1 = 1.5, T_2 = 5, T_3 = 1.5, T_4 = 2.$$

➤ Вариант 4

$$G_1(S) = K_1, G_2(S) = K_2 (T_1 S + 1) / S(T_2 S + 1), G_3 = (T_3 S + 1) / T_4 S + 1,$$

$$K_1 = 20, K_2 = 25, T_1 = 1.5, T_2 = 3, T_3 = 0.5, T_4 = 1.4.$$

➤ Вариант 5

$$G_1(S) = K_1 / T_1 S + 1, G_2(S) = K_2 / S(T_2 S + 1), G_3(S) = K_3 / T_3 S + 1,$$

$$K_1 = 20, K_2 = 10, K_3 = 15, T_1 = 2, T_2 = 1.5, T_3 = 0.5.$$

➤ Вариант 6

$$G_1(S) = K_1 / T_1 S + 1, G_2(S) = K_2 (T_2 S + 1) / S(T_3 S + 1), G_3(S) = K_3 / T_4 S + 1,$$

$$K_1 = 15, K_2 = 20, K_3 = 7, T_1 = 2, T_2 = 0.5, T_3 = 3, T_4 = 1.4.$$

➤ Вариант 7

$$G_1(S) = K_1 (T_1 S + 1) / T_2 S + 1, G_2(S) = K_2 / S(T_3 S + 1), G_3 = (T_4 S + 1) / T_5 S + 1,$$

$$K_1 = 12, K_2 = 15, T_1 = 1.4, T_2 = 0.4, T_3 = 2, T_4 = 5, T_5 = 0.1.$$

➤ Вариант 8

$$G_1(S) = K_1 / T_1 S + 1, G_2(S) = K_2 / S(T_2 S + 1), G_3(S) = K_3 / T_3 S + 1,$$

$$K_1 = 5, K_2 = 15, K_3 = 12, T_1 = 0.8, T_2 = 0.5, T_3 = 2.$$

➤ Вариант 9

$$G_1(S) = K_1, G_2(S) = K_2 (T_1 S + 1) / S(T_2 S + 1), G_3(S) = (T_3 S + 1) / T_4 S + 1,$$

$$K_1 = 20, K_2 = 25, T_1 = 1.5, T_2 = 3, T_3 = 0.5, T_4 = 1.4.$$

➤ Вариант 10

$$G_1(S) = K_1 / S(T_1 S + 1), G_2(S) = (T_2 S + 1) / (T_1 S + 1),$$

$$G_3(S) = K_2 (T_4 S + 1) / T_5 S + 1,$$

$$K_1 = 5, K_2 = 35, T_1 = 0.5, T_2 = 2, T_3 = 3.2, T_4 = 1.5, T_5 = 0.2.$$

➤ Вариант 11

$$G_1(S) = T_1 S + 1 / T_2 S + 1, G_2(S) = K_1 / T_3 S + 1, G_3 = K_2 (T_4 S + 1) / S(T_5 S + 1),$$

$$K_1=100, K_2=5.6, T_1=3, T_2=0.5, T_3=2.5, T_4=5, T_5=2.$$

➤ Вариант 12

$$G_1(S) = K_1/S(T_1 S + 1), G_2(S)=K_2, G_3(S)=K_3(T_2 S + 1)/T_3 S + 1,$$

$$K_1=10, K_2=20, K_3=6.7, T_1=2, T_2=0.5, T_3=0.1.$$

➤ Вариант 13

$$G_1(S) = K_1/S(T_1 S + 1), G_2(S)=K_2(T_2 S + 1)/(T_3 S + 1), G_3(S)=K_3(T_4 S + 1),$$

$$K_1=5, K_2=7, K_3=12, T_1=0.5, T_2=1.5, T_3=2, T_4=1.8.$$

➤ Вариант 14

$$G_1(S) = K_1(T_1 S + 1)/S(T_2 S + 1), G_2(S)=K_2,$$

$$G_3(S)=K_3(T_3 S + 1)/T_4 S + 1,$$

$$K_1=5, K_2=7, K_3=10, T_1=1.2, T_2=3.2, T_3=1.8, T_4=2.$$

➤ Вариант 15

$$G_1(S) = K_1/(T_1 S + 1), G_2(S)=K_2/(T_2 S + 1),$$

$$G_3(S)=K_3(T_3 S + 1)/S(T_4 S + 1),$$

$$K_1=2, K_2=8, K_3=12, T_1=2, T_2=3.5, T_3=0.2, T_4=0.5.$$

➤ Вариант 16

$$G_1(S) = K_1/(T_1 S + 1), G_2(S)=K_2/(T_2 S + 1),$$

$$G_3(S)=K_3(T_3 S + 1)/S(T_4 S + 1),$$

$$K_1=20, K_2=12, K_3=8, T_1=0.5, T_2=0.1, T_3=0.1, T_4=2.$$

➤ Вариант 17

$$G_1(S) = (T_1 S + 1) K_1/(T_2 S + 1), G_2(S)=K_2/S(T_3 S + 1), G_3(S)=K_3(T_4 S + 1),$$

$$K_1=25, K_2=100, K_3=1.5, T_1=0.2, T_2=2, T_3=1.2, T_4=4.2.$$

➤ Вариант 18

$$G_1(S) = (T_1 S + 1) K_1/(T_2 S + 1), G_2(S)=K_2/S(T_3 S + 1),$$

$$G_3(S)=K_3/(T_4 S + 1),$$

$$K_1=12, K_2=50, K_3=2, T_1=0.5, T_2=1.5, T_3=2, T_4=2.5.$$



➤ Вариант 19

$$G_1(S) = (T_1 S + 1) K_1 / (T_2 S + 1), G_2(S) = K_2 (T_3 S + 1),$$

$$G_3(S) = K_3 / S (T_4 S + 1),$$

$$K_1 = 12, K_2 = 5, K_3 = 50, T_1 = 2, T_2 = 0.5, T_3 = 3/5, T_4 = 2.5.$$

➤ Вариант 20

$$G_1(S) = (T_1 S + 1) K_1 / (T_2 S + 1), G_2(S) = K_2 / S (T_3 S + 1), G_3(S) = K_3,$$

$$K_1 = 5, K_2 = 70, K_3 = 12, T_1 = 0.5, T_2 = 2, T_3 = 1.5.$$

➤ Вариант 21

$$G_1(S) = K_1 / (T_1 S + 1), G_2(S) = K_2 (T_2 S + 1) / S (T_3 S + 1),$$

$$G_3(S) = K_3 (T_4 S + 1),$$

$$K_1 = 5, K_2 = 50, K_3 = 7, T_1 = 0.5, T_2 = 1.5, T_3 = 2, T_4 = 0.8.$$

➤ Вариант 22

$$G_1(S) = (T_1 S + 1) K_1 / (T_2 S + 1), G_2(S) = K_2 / S (T_3 S + 1),$$

$$G_3(S) = K_3 / (T_4 S + 1),$$

$$K_1 = 5, K_2 = 30, K_3 = 8, T_1 = 2, T_2 = 0.5, T_3 = 0.8, T_4 = 1.5.$$

➤ Вариант 23

$$G_1(S) = (T_1 S + 1) K_1 / (T_2 S + 1), G_2(S) = K_2 / S (T_3 S + 1), G_3(S) = K_3,$$

$$K_1 = 3, K_2 = 40, K_3 = 12, T_1 = 0.5, T_2 = 2.5, T_3 = 3.5.$$

➤ Вариант 24

$$G_1(S) = (T_1 S + 1) K_1 / S (T_2 S + 1), G_2(S) = K_2 (T_3 S + 1) / (T_4 S + 1),$$

$$G_3(S) = K_3,$$

$$K_1 = 7, K_2 = 28, K_3 = 12, T_1 = 2, T_2 = 0.8, T_3 = 0.5, T_4 = 1.3.$$

➤ Вариант 25

$$G_1(S) = K_1 / (T_1 S + 1), G_2(S) = K_2 (T_2 S + 1) / S (T_3 S + 1),$$

$$G_3(S) = K_3 (T_4 S + 1),$$

$$K_1 = 3.5, K_2 = 32, K_3 = 8, T_1 = 1.5, T_2 = 2, T_3 = 0.5, T_4 = 3.$$

## 4.7.2. Задание 2

### Постановка задачи

Предлагается четыре звена системы управления в виде передаточных функций. Варианты звеньев приведены в индивидуальных заданиях. Необходимо исследовать их характеристики, определив:

- переходные процессы с помощью преобразования Лапласа;
- реакцию звена на единичное ступенчатое воздействие;
- амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики;
- амплитудно-фазовую характеристику;
- диаграмму Никольса;
- показатели качества переходного процесса (вид переходного процесса и его длительность, величину перерегулирования);
- запас устойчивости по амплитуде и фазе.

Исследования выполнить с помощью универсального программного средства MATLAB и специализированного пакета прикладных программ Control System Toolbox. Переходную характеристику следует получить путем обратного преобразования Лапласа передаточной функции звена.

### Варианты индивидуальных заданий и передаточных функций

Варианты заданий приведены в табл. 4.1.

Цифры графе "звенья" являются номерами передаточных функций звеньев.

Решения необходимо получить в виде формул, графиков и детального анализа полученных результатов.

Таблица 4.1

**Варианты заданий**

Номер					
Вариант	1	* 2	3	4	5
Звенья	1,3,7, 11	2, 5, 8, 10	3,6,9, 11	4, 2, 5,	1,4,5, 9
Вариант	6	7	8	9	10
Звенья	1,4, 6, 10	2, 6, 8,9	3. 5, 7, 8	1,4,	2,3, 6,9
Вариант	11	12	13	14	15
Звенья	3,6, 8, 10	4, 5,9,11	1,4,7, 10	2, 5, 8,	'3,6,7,9
Вариант	16	17	18	19	20
Звенья	4, 7, 9,	1,4.6, 10	2, 6, 7» 9	3,5, 8,	4, 7,8, 10
Вариант	21	22	23	24	25
Звенья	1,5, 6,9	2, 7, 9,11	3,4, 7, 10	4. 5, 7, 9	1,6,9. 11

Далее приведены передаточные функции звеньев системы.

➤ Вариант 1

$$Y(S)=TS/TS + 1;$$

а)  $T=0.5$ ; б)  $T=5$ .

➤ Вариант 2

$$Y(S)=T_2 S/T_1 S+1;$$

а)  $T_1=0.2$ ,  $T_2=1$ , б)  $T_1=1$ ,  $T_2=0.2$ .

➤ Вариант 3

$$Y(S)=T_1 S + 1/T_2 S+1;$$

а)  $T_1=0.3$ ,  $T_2=1.5$ , б)  $T_1=1.5$ ,  $T_2=0.3$ .

➤ Вариант 4

$$Y(S)=K/TS + 1;$$

a)  $K=10, T=0.2,$  б)  $K=50, T=1.$

➤ Вариант 5

$$Y(S)=1/TS + 1;$$

a)  $T=0.5;$  б)  $T=4.$

➤ Вариант 6

$$Y(S)=K/S(TS + 1);$$

a)  $K=10, T=0.2,$  б)  $K=20, T=1.$

➤ Вариант 7

$$Y(S)=K/S;$$

a)  $K=10;$  б)  $K=100.$

➤ Вариант 8

$$Y(S)=KS/(T_1S + 1)(T_2S + 1);$$

a)  $K=10, T_1=0.1, T_2=1,$  б)  $K=100, T_1=0.1, T_2=1.$

➤ Вариант 9

$$Y(S)=K(T_1S + 1)/S(T_2S + 1)(T_3S + 1);$$

a)  $K=10, T_1=0.1, T_2=0.5, T_3=1;$

б) a)  $K=10, T_1=0.8, T_2=0.5, T_3=1.$

➤ Вариант 10

$$Y(S)=K(T_1S + 1)/S^2(T_2S + 1);$$

a)  $K=20, T_1=0.5, T_2=1,$  б)  $K=20, T_1=0.1, T_2=0.5.$

➤ Вариант 11

$$Y(S)=K/(T_1S + 1)(T_2S + 1)(T_3S + 1);$$

a)  $K=10, T_1=0.1, T_2=0.7, T_3=1.5;$

б)  $K=20, T_1=1, T_2=2, T_3=3.$

## 5. Библиографический список по разделам 2-4

1. Карташов Б.А. и др. Компьютерные технологии и микропроцессорные средства в автоматическом управлении: учебное пособие для студентов СПО. – Ростов-н/Д: Феникс, 2013. – 540 с.

2. Андриевский Б., Фрадков А. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке Matlab. — СПб.: Наука, 1999.

3. Воробьева Г. Н., Данилова А. Н. Практикум по вычислительной математике. — М.: Высшая школа, 1990.

4. Гультияев А. Визуальное моделирование в среде Matlab. Учебный курс. — СПб.: Питер, 2000.

5. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления.— М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.

6. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения Matlab. Специальный справочник. — СПб.: Питер, 2001.

7. Компьютер для студентов, аспирантов и преподавателей. Самоучитель, под редакцией В. Б. Комягина.— Можайск: Триумф, 2002.

**3. Пример курсового проекта**  
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**  
**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**  
**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО**  
**ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ДГТУ)**  
**Авиационный колледж ДГТУ**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**Автоматизация холодильной камеры**

по МДК 01.01. Технология формирования систем автоматического управления типовых технологических процессов, средств измерений, несложных мехатронных устройств и систем.

Специальность: 15.07.03 Автоматизация технологических процессов и производств.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

Председатель цикловой комиссии

\_\_\_\_\_  
(подпись) \_\_\_\_\_ И.О.Ф.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015г.

**ЗАДАНИЕ**

на курсовой проект (работу)

Студент Камышанов Кирилл Викторович Код 15.07.03 Группа 3-56 АТП

Тема: Автоматизация холодильной камеры

Срок представления проекта (работы) к защите «15» декабря 2015 г.

Исходные данные для курсового проекта (работы)

Принципиальная схема автоматизации системы воздушного охлаждения помещения с воздушно-охладительными агрегатами представлена на рис. 1, условные обозначения на схеме –табл.1, а в табл.2 –варианты применения электронных регуляторов серий ECL Comfort и ECL 2000.

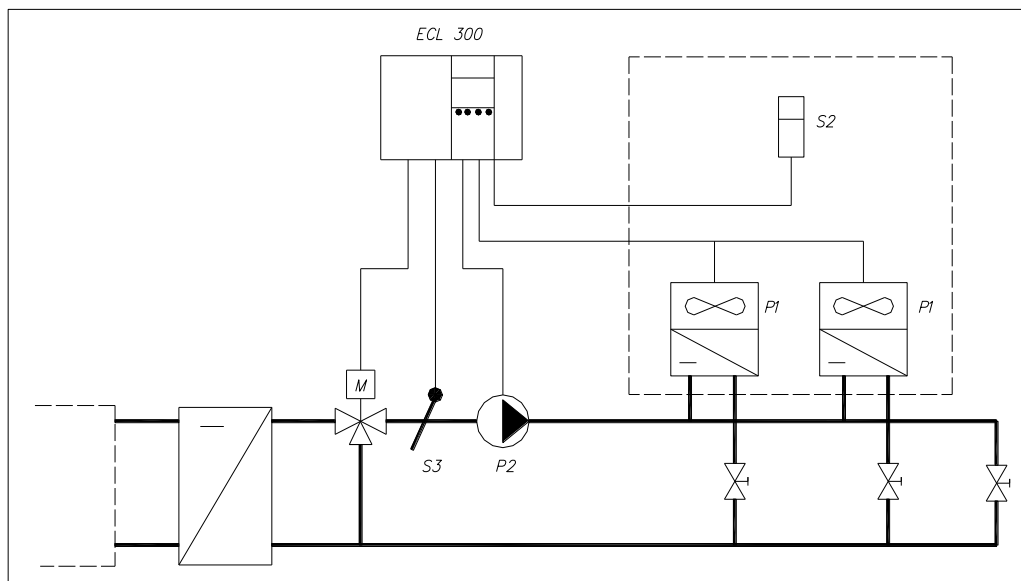


Рис. 1. Принципиальная схема автоматизации системы воздушного охлаждения помещения с воздушно-охладительными агрегатами.

Таблица 1

**Условные обозначения на схемах**

Условное обозначение	Описание
<b>Радиаторные терморегуляторы</b>	
RTD	Термостатические элементы типа RTD для установки на клапаны RTD-N; RTD-G; RTD-K; RTD-KE
RTD-N RTD-K	Корпус клапана RTD-N и радиаторный элемент RTD-K для <i>двухтрубной</i> системы отопления
RTD-G RTD-KE	Корпус клапана RTD-G и радиаторный элемент RTD-KE для <i>однотрубной</i> системы отопления
RLV	Запорный клапан для отключения отопительного прибора
<i>Погодные компенсаторы серии ECL</i>	
ECL	Погодный компенсатор (электронный регулятор)
ECL Comfort 100M и 100B	Одноканальные регуляторы для системы отопления
ECL Comfort 200	Одноканальный регулятор для системы отопления либо системы горячего водоснабжения. Переключение с одного варианта применения на другой осуществляется с помощью кнопок и информационных карт.
ECL Comfort 300	Универсальный двухканальный регулятор для управления системой отопления и системой ГВС, либо двумя системами отопления. Переключение с одного варианта применения на другой осуществляется автоматически за счет считывания информации с чипа, который находится на карте, соответствующей варианту применения.
ECL 2000	Трехканальный регулятор температур для двух систем отопления и одной системы ГВС
<i>Датчики для погодных компенсаторов ECL-платиновые термометры сопротивления</i>	
ESMT; ESMR/-F; ESM-10	Датчик температуры внутреннего или наружного воздуха
ESM-11	Датчик поверхностный для измерения температуры теплоносителя
ESMA/-U	Датчик погружной
ESMB	Датчик универсальный для установки на трубе или плоской поверхности



### Клапаны регулирующие двухходовые и трехходовые

VS2; VM2; VB2;VF2	Клапан моторный регулирующий двухходовой, предназначен для установки с приводами AMV(E)
VF3; VMV; VRB(G)3	Клапан моторный регулирующий трехходовой, предназначен для установки с приводами AMV(E)
HRE	Трехходовой поворотный регулирующий клапан на внутренней резьбе, предназначен для установки с приводами AMB

### Электроприводы

AMV; AME	Редукторные электроприводы для клапанов VS2; VM2; VB2;VF2; VF3; VMV; VRB(G)3. Приводы могут управляться сигналами электронных регуляторов серии ECL Comfort и ECL 2000 или других совместимых устройств. Приводы серии AMV управляются импульсным сигналом, а серии AME – модулированным сигналом по току или напряжению
<i>Регуляторы прямого действия</i>	
AVTB	Регулятор температуры для установки на трубопроводе
FJV	Регулятор температуры прямого действия (ограничитель температуры обратной воды) с внутренней резьбой
AVP, AFPIVD/IVF	Регулятор перепада давления прямого действия
AVPB; AFPB	Модифицированный регулятор перепада давления с ограничением предельного расхода теплоносителя
AVPQ; AFPQ	Модифицированный регулятор перепада давления с регулированием расхода теплоносителя
AVDO	Перепускной клапан – пружинный регулятор давления, предназначен для установки на обводной линии циркуляционных насосов или на обводной линии циркуляционных насосов небольшой системы теплоснабжения

Таблица 2.

Тип прибора	Варианты применения	№ карты
ECL Comfort 100M	Управление системами отопления с индивидуальным котлом (горелка, насос)	-
ECL Comfort 100B	Управление системами отопления при централизованном теплоснабжении (клапан, насос)	-
ECL Comfort 200	Управление системами ГВС при централизованном теплоснабжении со скоростным водонагревателем (клапан, насос)	P16
	Управление системами ГВС при централизованном теплоснабжении со скоростным водонагревателем и баком-аккумулятором (клапан, 2 насоса)	P17
	Управление системами отопления с индивидуальным котлом (горелка, насос)	P20
	Управление системами отопления при централизованном теплоснабжении (клапан, насос)	P30
	Управление охлаждающей установкой (клапан, насос, вентилятор)	C13
	Управление вентиляционной установкой (клапаны, вентилятор, воздушные заслонки)	C14

ECL Comfort 300	Управление системами отопления и ГВС с индивидуальным котлом и емкостным водонагревателем (горелка, 2 насоса)	C 25
	Управление системами отопления и ГВС при централизованном теплоснабжении с емкостным водонагревателем (клапан, 2 насоса)	C 35
	Управление системами отопления и ГВС при централизованном теплоснабжении с емкостным водонагревателем и баком-аккумулятором (клапан, 3 насоса)	C 37
	Управление двумя системами отопления и ГВС с индивидуальным котлом и емкостным водонагревателем (горелка, клапан, 3 насоса)	C 55
ECL Comfort 300	Управление двумя системами отопления при централизованном теплоснабжении ( 2 клапана, 2 насоса)	C 60
	Управление системами отопления и ГВС при централизованном теплоснабжении со скоростным водонагревателем (2 клапана, 2 насоса)	C 66
	Управление двумя системами отопления и ГВС с двумя индивидуальными котлами и емкостным водонагревателем (2 горелки, клапан, 3 насоса)	C 75
	Управление системами отопления с четырьмя индивидуальными котлами (4 горелки, насос)	C 80
	Управление системами отопления и ГВС с тремя индивидуальными котлами и емкостным водонагревателем (3 горелки, 2 насоса)	C 85
ECL 2000	Управление сочетанием (17 вариантов) одной или двух систем отопления и системами ГВС при централизованном теплоснабжении	-

## **1. Характеристика объекта автоматизации**

### **1.1. Характеристика системы вентиляции**

Система с воздушно-охладительными агрегатами и поддержанием постоянной температуры воздуха в помещении.

### **1.2 Обоснование разработки автоматизации системы вентиляции**

Проект автоматизации разработан в соответствии с требованиями [1] и [3].

Согласно п. 9.6 [3] уровень автоматизации и контроля систем выбран в зависимости от технологических требований и экономической целесообразности.

Для местного контроля параметров теплоносителя и воздуха согласно п. 9.7 [3] предусмотрены:

- термометры (4) и манометры (3) для измерения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;
- термометры (2) для измерения температуры наружного и температуры воздуха в контрольном помещении.

Приборы дистанционного контроля предусмотрены для измерения основных параметров работы системы: температуры (5) и давления теплоносителя (6) и температуры внутреннего воздуха (7).

Предусмотрено автоматическое блокирование согласно п.9.13 [3] для включения резервного насоса при выходе из строя основного.

Согласно п. 9.9 [3] предусмотрена рабочая и аварийная сигнализация о работе циркуляционных насосов.

Предусмотрено автоматическое PI-регулирование температуры охлажденной воды и P-регулирование температуры воздуха в помеще-

нии. Автоматическое регулирование системы осуществляется регулятором температуры ECL 300 с картой C-14 (поз.1.5), который осуществляет управление воздушно-охладительными агрегатами и циркуляционным насосом.

### **1.3. Описание условий эксплуатации приборов и средств автоматики**

Приборы и средства автоматики размещены во взрывобезопасных помещениях, температура и влажность в них соответствуют нормируемым значениям ( $t_{в} = 5-25^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_{в}$  до 75%). Регулятор температуры установлен на щите в тепловом пункте, дистанционный контроль и сигнализация выведены в диспетчерскую. Применяемые системы автоматики электрические.

## **2. Описание функциональной схемы автоматизации**

Описание функциональной схемы содержит описание локальных контуров подсистем автоматизации со ссылкой на позиции приборов и средств автоматики в спецификации.

Автоматическое регулирование системы вентиляции осуществляется регулятором температуры ECLcomfort 300 (1.5). ECLcomfort 300-электронный регулятор температуры, который настраивается для работы в системах вентиляции с помощью карты C-14. Карта C-14 позволяет выполнять следующие функции:

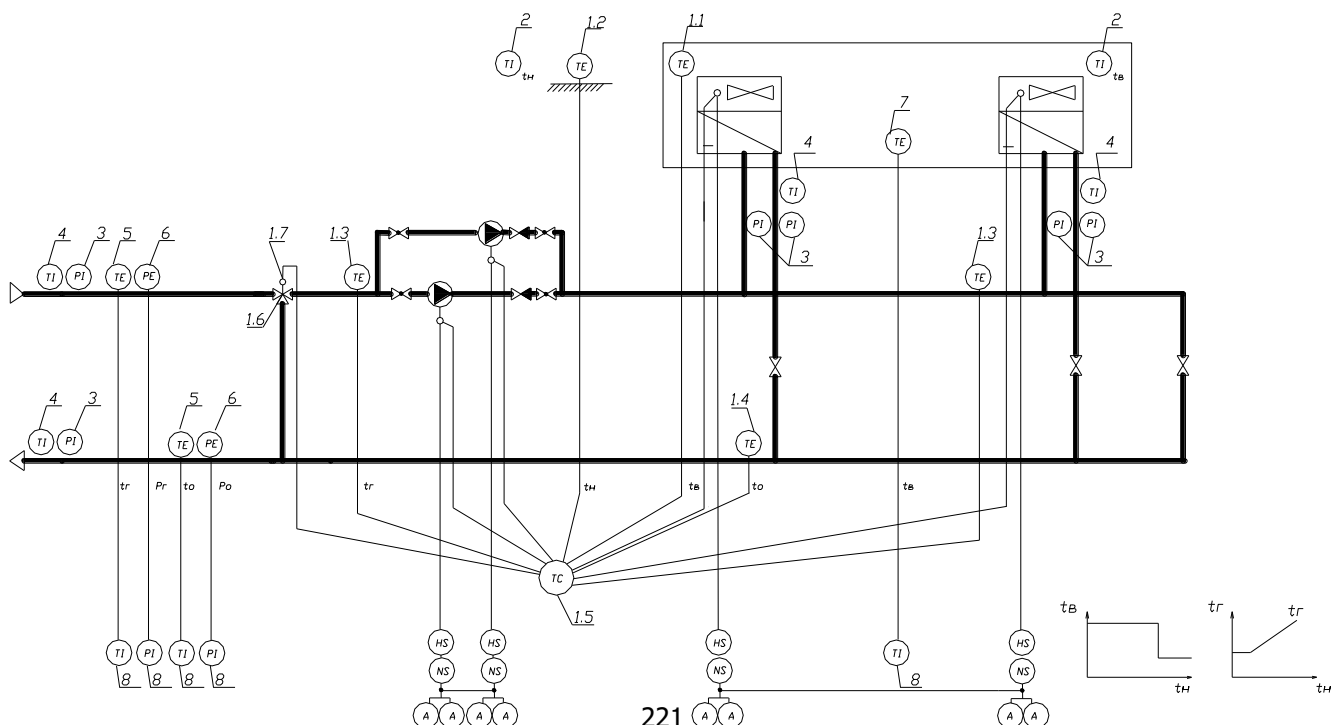
- 5) регулирование температуры внутреннего воздуха;
- 6) регулирование температуры хладоносителя;
- 7) включение и выключение установки в заданное время;
- 8) изменение режимов регулирования по времени с помощью встроенного таймера.

В комплект регулятора входят датчики температуры: наружного воздуха (1.2); внутреннего воздуха (1.1); температуры подающего (1.3) и обратного (1.4) холодоносителя. Датчики являются первичными приборами автоматики, получающие информацию о текущем значении температур и формирующие сигнал на вторичный прибор – регулятор ECL-300.

PI-регулирование температуры холодоносителя (1.3) и P-регулирование температуры внутреннего воздуха (1.1) осуществляется регулятором температуры (1.4) следующим образом:

- температура холодоносителя поддерживается на постоянном уровне путем изменения соотношения расходов подающего и обратного холодоносителя с помощью трехходового клапана (1.6) с электроприводом (1.7);
- температура внутреннего воздуха поддерживается на постоянном уровне путем изменения расхода холодоносителя циркуляционным насосом.

Функциональная схема автоматизации представлена на ри-



сунке 2.1.

Рис. 2.1. Функциональная схема автоматизации системы воздушного охлаждения помещения с воздушно-охладительными агрегатами

### 3. Приборы и средства автоматики

#### 3.1. Расчет и выбор приборов и средств автоматизации

##### 3.1.1. Выбор электродвигателя постоянного тока для следящего привода

ЭД выпускаются промышленностью в виде стандартных серий с определёнными номинальными данными: мощностью, частотой вращения, моментом, и т. д. Соотношение пускового момента  $M_{II}$  и угловой скорости холостого хода  $\Omega_{xx}$  у двигателей различных серий различно, поэтому ЭД выбирают не по моменту или скорости, а по максимальной мощности. Такой выбор ЭД является приближенным, т.к. из имеющихся серий выбирают тот, который с наименьшей погрешностью обеспечивает скорость  $\Omega_n$  и ускорение  $\delta_n$  нагрузки. После такого выбора ЭД проверяют на перегрузку и нагрев.

Рассмотрим упрощённый выбор ЭД и оценку его пригодности с энергетической точки зрения, который проводится при допущении, что средняя мощность ЭД не превышает мощности, допустимой по нагреву.

Требуемая мощность в киловаттах равна:

$$P = M_{Tp} \cdot \Omega_n, \quad (3.1)$$

где  $M_{Tp}$  – требуемый момент, Н·м; определённый по формуле (1);

$$M_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{ст}}}{i \cdot \eta} + \left( \frac{I_{\text{н}}}{i} + I_{\text{д}} \cdot i \right) \cdot \delta_{\text{н}}, \quad (3.2)$$

$\Omega_{\text{н}}$  – заданная максимальная угловая скорость вращения нагрузки, рад/с;

$\eta$  – КПД редуктора ( $\eta \approx 0,8 - 0,9$ );

$M_{\text{ст}}$  – статический момент нагрузки, Н·м;

$I_{\text{н}}, I_{\text{д}}$  – моменты инерции нагрузки и двигателя, кг·м<sup>2</sup>;

$i$  – передаточное число редуктора;

$\delta_{\text{н}}$  – ускорение выходного вала, рад/с<sup>2</sup>;

Для определения  $M_{\text{тр}}$  необходимо выбрать вначале передаточное число редуктора. Зависимость  $M_{\text{тр}} = M_{\text{тр}}(i)$  при постоянном  $\delta = \text{const}$  и график зависимости  $\delta = \delta(i)$  при постоянном требуемом моменте ( $M_{\text{тр}} = \text{const}$ ) показаны на рис.9.

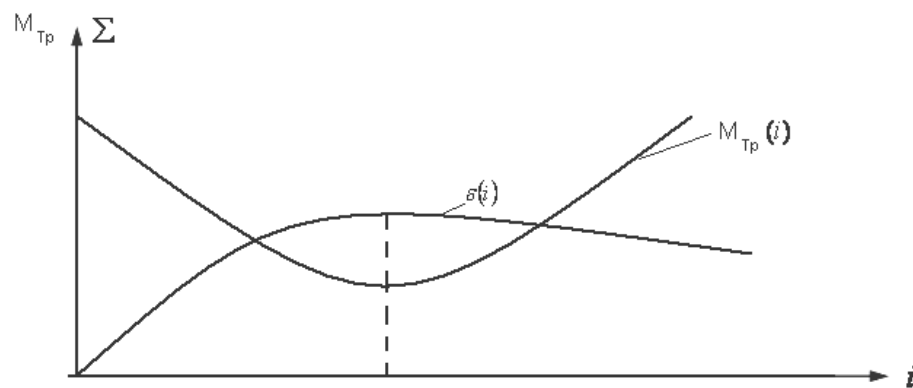


Рис. 3.1

Очевидно, что существует некоторое оптимальное передаточное число редуктора  $i_0$  при котором для создания ускорения требуется наименьший момент  $n$ , наоборот, при одном и том же моменте двигатель развивает на валу максимальное ускорение. Для определения  $i_0$  необходимо взять производную по  $i$  от функции (23) и, решив уравнение  $\frac{dM}{dt} = 0$ , найдём выражение для оптимального значения  $i$ :

$$i_0 = \sqrt{\frac{M_{cm} + I_n \cdot \delta_n}{I_D \cdot \delta_n}},$$

(3.3)

При выборе оптимального передаточного числа редуктора, формула мощности (1) упрощается подстановкой значений  $i$  из (3) в (2) и соответственно (2) в (1):

$$P_{mp} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot (M_{cm} + I_n \cdot \delta_n) \cdot \Omega_n,$$

(3.4)

где  $P_{mp}$  - выражена в кВт.

Теперь можно приступить к выбору ЭД в следующем порядке:

1. Рассчитать требуемую мощность по (25) и выбрать по каталогу ЭД. Если  $P_{mp} \leq 0,1 - 0,15 \text{ кВт}$ , то ЭД выбирают из числа маломощных асинхронных двигателей типа АДП, ДИД, ДГ или ЭД постоянного тока ДПР, МЯ, ПЯ, П.

2. При  $P_{mp} \geq 0,10 - 0,15 \text{ кВт}$  следует выбирать двигатели постоянного тока МИ, СЛ, ДПР, ДИ.

3. Мощность выбранного ЭД должна быть равна или больше рассчитанной требуемой мощности  $P_{ном} \geq P_{mp}$ . По каталогу определяют и выписывают все основные номинальные данные ЭД, необходимые для расчёта ПФ и всех параметров привода:

$P_{ном}$  - номинальную мощность, кВт;  $n_{ном}$  - номинальную частоту вращения ЭД, мин<sup>-1</sup>;

$M_{ном}$  - номинальный момент вращения, Н·м;  $I_D$  - момент инерции ЭД, кг·м<sup>2</sup>;

$U_y$  - напряжение управления, В;  $I_y$  - ток якоря, А;  $T$  - постоянную времени, с.



4. По полученному значению  $I_d$ , подставляя его в (24), определяют оптимальное передаточное число редуктора  $i_0$ .

5. Этим завершается предварительный выбор ЭД, после чего проводят проверку на обеспечение требований по ускорению и скорости. Смысл проверки состоит в том, что двигатели равной мощности могут обеспечить различные скорости и ускорения (рис. 2).

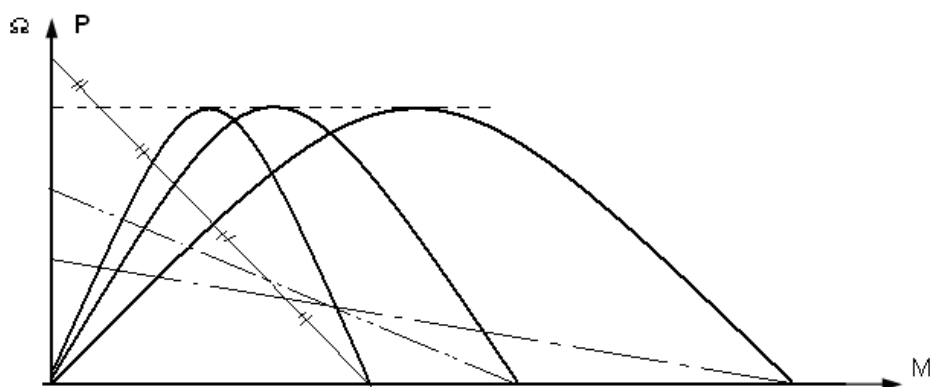


Рис. 3.2

Учитывая, что в момент трогания, момент двигателя и ускорения связаны зависимостью  $M_d = I_d \cdot \delta$ , то об ускорении можно судить по значениям пускового момента  $M_{п}$ , а скорости – по значению  $\Omega_{хх}$ .

Проверку ЭД по скорости и моменту (ускорению) проводят из условия равенства номинальной и требуемой мощностей:

$$M_{ном} \cdot \Omega_{ном} = M_{Тр} \cdot \Omega_{тр} \quad (3.5)$$

где  $\Omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30}$ ;  $\Omega_{тр} = \Omega_n \cdot i_0$

или

$$M_{ном} \cdot \Omega_{ном} = M_{Тр} \cdot \Omega_n \cdot i_0$$

Полученное требование (5) может выполняться в трёх случаях:

а)  $M_{ном} = M_{Тр}$ ;  $\Omega_{ном} = \Omega_n \cdot i_0$ , что маловероятно;

б)  $M_{ном} < M_{Тр}$ ;  $\Omega_{ном} > \Omega_n \cdot i_0$ , характерный для ЭД постоянного тока,

у которых  $M_n \approx \frac{1}{2} \cdot M_{п}$ , т.е. номинальный момент примерно в два раза

меньше пускового, а поэтому выбранный двигатель считается пригодным, если выполняются условия:

$$\left. \begin{aligned} \frac{M_{Tr}}{M_{ном}} &\leq 2; \\ \frac{M_{ст}}{\eta \cdot i_0} &\leq M_{ном}. \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Если условия (6) не выполняются, то следует выбрать более мощный ЭД;

$$(3.7) \quad \text{в) } M_{ном} \geq M_{Tr}; \quad \Omega_{ном} < \Omega_n \cdot i_0,$$

который характерен для ЭД переменного тока, когда выполняется требование по ускорению (моменту), но может не выполняться требование по скорости. В этом случае, изменяя передаточное число редуктора  $i$ , можно согласовать соотношение между требуемой и располагаемой мощностями. Новое  $i$  можно определить из соотношения:

$$i = \frac{\Omega_{ном}}{\Omega_n}$$

$$(3.8)$$

Если при новом  $i$  выполняется соотношение (6), то выбор ЭД можно считать законченным.

Выбрать ЭД привода и рассчитать его ПФ, если момент статической нагрузки  $M_{ст} = 2500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ; момент инерции нагрузки  $I_n = 5000 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ; требуемая скорость нагрузки  $\Omega_n = 0,16 \text{ рад/с}$ ; требуемое ускорение нагрузки  $\delta_n = 0,34 \text{ рад/с}^2$ .

*Решение:*

1. Принимая КПД редуктора  $\eta = 0,9$ , определим требуемую мощность согласно (4):

$$P_{mp} = 2 \cdot 10^{-3} (M_{cm} + I_n \cdot \delta_n) \cdot \Omega_n = 2 \cdot 10^{-3} (2500 + 5000 \cdot 0,34) \cdot 0,16 = 1,34 \text{ кВт}$$

- и по справочнику выбираем ЭД МИ-41с с техническими данными:

$$P_{ном} = 1,6 \text{ кВт}; \quad n_{ном} = 2500 \text{ мин}^{-1};$$

$$M_{ном} = 6,25 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad I_D = 408 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad U_{ном} = 110 \text{ В}; \quad I_A = 19,2 \text{ А}; \quad R_A = 0,147 \text{ Ом}.$$

2. Подсчитываем оптимальное передаточное число редуктора согласно (3):

$$i_0 = \sqrt{\frac{M_{cm} + I_n \cdot \delta_n}{I_D \cdot \delta_n}} = \sqrt{\frac{2500 + 5000 \cdot 0,34}{408 \cdot 10^{-4} \cdot 0,34}} \approx 550.$$

3. Выполняем проверку выбранного ЭД по скорости согласно (5):

$$\Omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2500}{30} = 225 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\Omega_n \cdot i_0 = 0,16 \cdot 550 = 88 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Так как  $\Omega_{ном} > \Omega_n$ , то по скорости ЭД выбран правильно.

4. Проверяем ЭД по моменту (ускорению), для чего находим значение требуемого момента вращения в соответствии с (2) и сравним его с номинальным значением

момента ЭД:

$$M_{Tp} = \frac{M_{cm}}{i_0 \eta} + \left( \frac{I_n}{i_0} + I_D \cdot i_0 \right) \cdot \delta_n = \frac{2500}{550 \cdot 0,9} + \left( \frac{5000}{550} + 408 \cdot 10^{-4} \cdot 550 \right) \cdot 0,34 = 15,55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверка ЭД на перегрузку

$$\frac{M_{Tp}}{M_{ном}} = \frac{15,55}{6,25} = 2,49 > 2$$

- не удовлетворяет условию (6), а поэтому выбираем более мощный ЭД МИ-42 с параметрами:

$$P_{ном} = 3.2 \text{ кВт}; n_{ном} = 2500 \text{ мин}^{-1}; U = 110 \text{ В};$$

$$M_{ном} = 12.5 \text{ Н} \cdot \text{м}; I_{д} = 662 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2; I_{я} = 36.3 \text{ А}; R_{я} = 0.192 \text{ Ом}.$$

5. Определим  $i_0$  для нового ЭД:

$$i_0 = \sqrt{\frac{2500 + 5000 \cdot 0,34}{662 \cdot 10^{-4} \cdot 0,34}} \approx 431.$$

6. Проверяем выбор ЭД по скорости:

$$\Omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2500}{30} = 225 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\Omega_{н} \cdot i_0 = 0,16 \cdot 431 = 69 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

т.к.  $225 > 69$ , то ЭД по скорости подходит.

7. Проверяем на перегрузку:

$$M_{тр} = \frac{2500}{431 \cdot 0,9} + \left( \frac{5000}{431} + 662 \cdot 10^{-4} \cdot 431 \right) \cdot 0,34 = 20,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Так как  $\frac{M_{тр}}{M_{ном}} = \frac{20,05}{12,5} = 1,64 < 2$ , то выбранный ЭД подходит по пере-

грузке (ускорению);

8. Определим параметры ПФ электродвигателя:

Коэффициент противо-ЭДС определяем из (2) при номинальных значениях параметров и установившемся  $\Omega$ :

$$C_{в} = \frac{U_{ном} - I_{я} \cdot R_{я}}{\Omega_{ном}} = \frac{110 - 36,3 \cdot 0,192}{225} = 0,45 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

Коэффициент момента согласно (1):

$$C_{м} = \frac{M_{ном}}{I_{я}} = \frac{12,5}{36,3} = 0,344 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}}.$$

Полный момент инерции нагрузки по формуле приведения момента к валу двигателя:

$$I_{пр} = I_{д} + \frac{I_{н}}{i_0^2} = 662 \cdot 10^{-4} + \frac{5000}{(431)^2} = 930 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Механическая постоянная времени в соответствии с (7) равна:

$$T_m = \frac{I_{np} \cdot R_{я}}{C_e \cdot C_m} = \frac{930 \cdot 10^{-4} \cdot 0,192}{0,45 \cdot 0,344} = 0,115c.$$

Если известно  $L_{я}$ , то определяем и постоянную якоря

$$T_{\vartheta} = \frac{L_{я}}{R_{я}}.$$

Пусть  $L_{я} = 9,6 мГн$ , тогда  $T_{\vartheta} = \frac{9,6 \cdot 10^{-3}}{0,192} = 0,05c.$

Определив коэффициент передачи ЭД по скорости

$$K_D = \frac{1}{C_e} = \frac{1}{0,45} = 2,22 \frac{рад}{В \cdot c},$$

Получим ПФ электродвигателя по управлению:

$$W(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_D}{T_{\vartheta} \cdot T_m \cdot p^2 + T_m \cdot p + 1}.$$

### *Выбор параметров следящего привода*

Закон движения выходного вала привода зависит от назначения объекта регулирования, которым управляет привод и задается предельными значениями угловой скорости  $\Omega_n$  и ускорения нагрузки  $\delta_n$ .

Параметры эквивалентного гармонического сигнала могут определяться из соотношений:

$$\beta_0 = \frac{\Omega_n}{\omega_p}; \beta_0 = \frac{\Omega_n^2}{\delta_n}; \omega_p = \frac{\delta_n}{\Omega_n};$$

где  $\beta_0, \omega_p$  - параметры, соответствующие режиму работы СП с максимальными значениями скорости и ускорения. Эти параметры зада-

ются в качестве исходных при выборе ЭД по мощности. После выбора ЭД проводится проверка обеспечения требуемого момента и требуемой скорости.

Выбор функциональной схемы и элементов СП начинается с анализа требований к предельным значениям угла поворота  $\beta$ , угловой скорости  $\Omega_n$  и ускорения  $\delta_n$  исполнительного вала, а также оценки точности СП.

Ошибка отработки СП угла поворота зависит от управляющего  $\beta(t)$  и возмущающего  $M(t)$  воздействий

$$\delta = \delta_\beta + \delta_M,$$

где  $\delta_\beta$  - погрешность, обусловленная законом движения управляющего вала, или сигнала, пропорционального задаваемому углу;

$\delta_M$  - погрешность, обусловленная возмущающим воздействием.

В установившемся режиме погрешность  $\delta_\beta = \lim_{t \rightarrow \infty} \delta_\beta(t)$  имеет конечное значение, которое можно представить составляющими от угла поворота  $\beta_0$ , и его производных -  $\Omega_0$  и  $\delta_0$ :

$$\delta_\beta = C_0 \cdot \beta_0 + C_1 \cdot \Omega_0 + C_2 \cdot \delta_0,$$

где  $C_0; C_1; C_2$  - коэффициенты ошибок соответственно по положению, скорости и ускорению. Коэффициенты ошибок зависят от параметров и структуры системы. Если структура привода не содержит интегрирующих звеньев, то он является статическим,  $C_0 \neq 0$ , а поэтому он имеет позиционную (статическую) погрешность

$$\delta_{II} = C_0 \beta_0,$$

возникающую при развороте управляющего вала на фиксированный угол  $\beta_0$ .

Приводы, содержащие в структуре одно интегрирующее звено, являются астатическими первого порядка, для которых  $C_0=0$  и соответственно  $\delta_{\Pi}=0$ , ошибка характеризуется скоростной (динамической) составляющей погрешности

$$\delta_{ск} = C_1 \cdot \Omega_0.$$

Для приводов с астатизмом второго порядка (содержат два интегрирующего звена)  $C_0=C_1=0$  и, соответственно  $\delta_{\Pi}=\delta_{ск}=0$ , ошибка определяется динамической ошибкой по ускорению

$$\delta_{ус} = C_2 \cdot \delta_0.$$

Иногда в практике используются понятие добротности по скорости

$$D_{\Omega} = \frac{\Omega_0}{\delta_{ск}} = \frac{1}{C_1} = \mu_{\Omega},$$

где  $D_{\Omega}$  - добротность системы по скорости,

$\mu_{\Omega}$  - коэффициент усиления разомкнутого привода по скорости (если привод астатический).

Аналогично можно выразить:

$$C_0 = \frac{1}{1 + \mu_{\beta}} \approx \frac{1}{D_{\beta}},$$

$$C_2 = \frac{1}{\mu_{\delta}} = \frac{1}{D_{\delta}},$$

где  $D_{\beta}$  - добротность по углу поворота для статической системы;

$\mu_{\beta} \gg 1$  - круговой коэффициент статической системы;

$D_{\delta}$  - добротность по ускорению для астатической системы второго порядка;

$\mu_{\delta}$  - круговой коэффициент усиления по ускорению.

Составляющая погрешности  $\delta_m$ , зависящая от момента и от закона изменения возмущающего момента  $M(t)$ . В установившемся режиме при  $M(t) = M_n = \text{const}$  эта погрешность определяется выражением

$$\delta_m = \frac{1}{F \cdot i^2 \mu_\beta} \cdot M_n$$

Тогда можно определить допустимую ошибку ( $\delta_{\text{дон}}$ ) по формуле (9).

Действительная полная ошибка СП будет зависеть не только от ошибок системы  $\delta_\beta$  и  $\delta_m$ , но и от:  $\delta_u$  - инструментальной погрешности датчика угла;

$\delta_{\text{др}}$  - погрешности, обусловленной дрейфами нулей усилителей системы;

$\delta_z$  - погрешности, обусловленной зазорами (люфтами) передач, т.е

$$\delta_\delta = \delta_m + \delta_\beta + \delta_u + \delta_{\text{др}} + \delta_z.$$

Учет этих погрешностей позволяет определить рациональные требования к элементам системы.

Тогда расчет коэффициентов разомкнутого СП можно привести следующим образом:

определить передаточную функцию разомкнутого СП по ПФ звеньев:

$$W(p) = \frac{\mu}{p^V A(p)},$$

где  $A(p)$  – операторный многочлен;

$V$ - порядок астатизма;

$\mu = \kappa_i \kappa_j$  - круговой коэффициент передачи системы.



Тогда, используя приведенные формулы можно рассчитать суммарную погрешность в зависимости от входных воздействий, возмущений и коэффициентов системы и правильно выбрать параметры ПФ регулятора по допустимым значениям ошибки.

Определить коэффициент усиления усилителем СП необходимый для обеспечения скоростной погрешности  $\delta_{ск} = 30''$  при  $\Omega_0 = 5 \frac{град}{с}$  и максимальной погрешности  $\delta_m = 15'$  при  $M_n = 10^4 \frac{Н}{м}$ , если заданы: чувствительность датчика угла  $K_\delta = 100 \frac{В}{рад}$ , передаточное число редуктора

$i=70$ , двигатель постоянного тока типа ДПМ-32

$$(I_g = 0,43 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, C_e = 1,62 \frac{В \cdot \text{м}}{\text{рад}}, C_m = 1,56 \frac{Н \cdot \text{м}}{А}, R_\gamma = 0,190 \text{ м}).$$

*Решение:*

**3.** Определяем коэффициент демпфирования:

$$F = \frac{C_e \cdot C_m}{R_\gamma} = \frac{1,62 \cdot 1,56}{0,19} \approx 13,3 \frac{Н \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}}.$$

1. Определяем добротность СП при заданной моментной погрешности по

$$\mu = \frac{M_u}{\delta_m F \cdot i^2} = \frac{10^4 \cdot 57,3 \cdot 60}{1,5 \cdot 13,3 \cdot (70)^2} = 351,6 \text{ с}^{-1}.$$

где  $F = \frac{C_e \cdot C_m}{R_\gamma} \left[ \frac{Н \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right]$  - коэффициент демпфирования.

2. Коэффициент  $K_y$  определяем из

$$K_y = \frac{\mu}{K_\delta \cdot K_d \cdot K_p} = \frac{351,6 \cdot 1,62 \cdot 70}{100} = 398,7$$

где

$$K_d = \frac{1}{C_e};$$

$$K_p = \frac{1}{i}$$

3. Добротность СП при заданной скоростной погрешности по выражению:

$$\mu = \frac{\Omega_0}{\delta_{ск}} = \frac{5 \cdot 60 \cdot 60}{30} = 600 c^{-1}$$

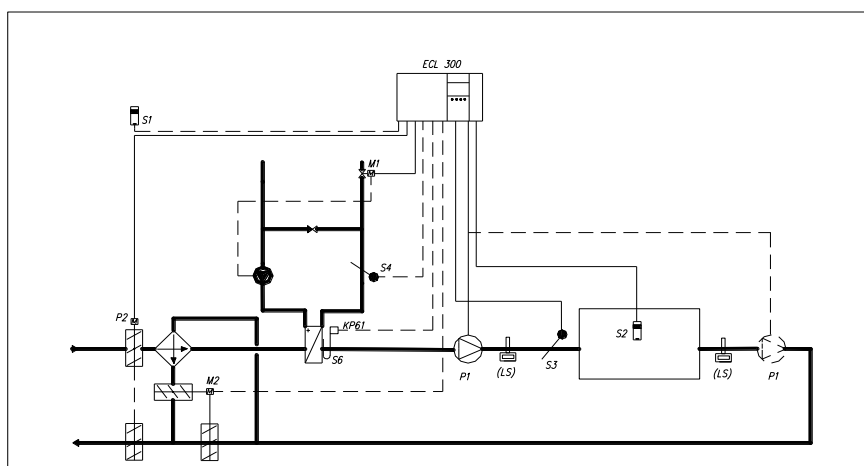
4. Коэффициент усиления усилителя

$$K_y = \frac{600}{K_{\sigma} \cdot K_D \cdot K_p} = \frac{600 \cdot 1,62 \cdot 70}{100} = 680$$

Тогда из двух полученных выбираем  $K_y = 680$ .

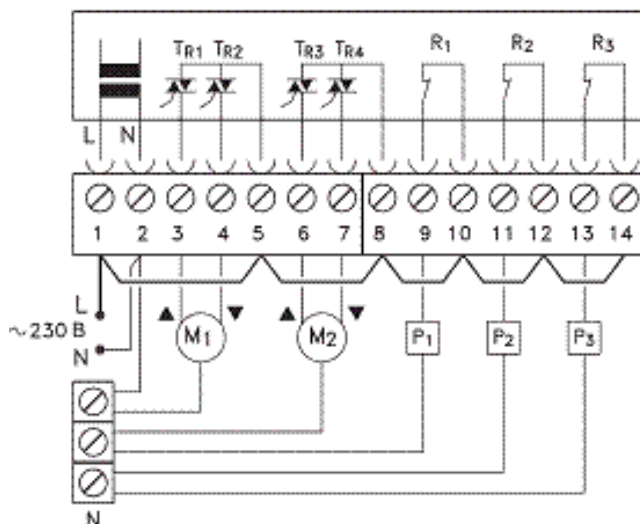
### 3.1.2. Схемы регулятора и серии ECLComfort 300 и соединений с картой C-14

Схема регулятора серии ECLComfort 300 представлена на следующем рисунке.



Управляющая карта C14 для ECL Comfort 300

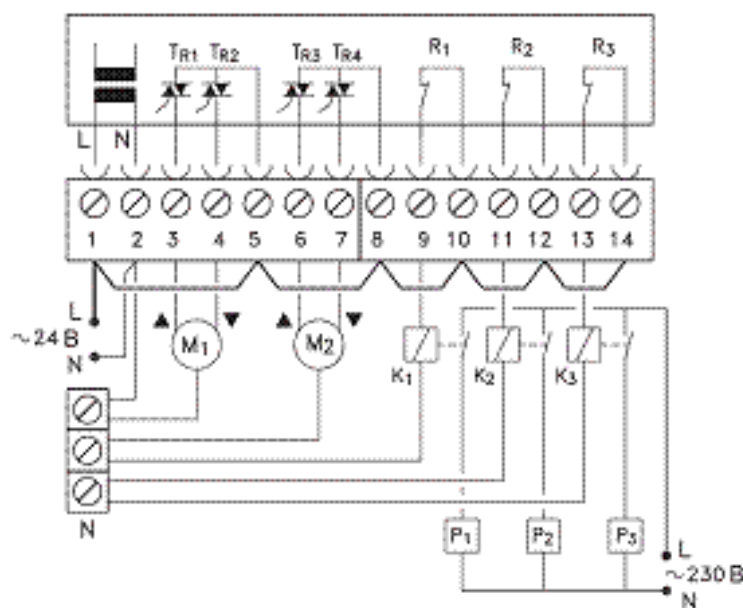
Подключение силовых цепей на ~230 В (общая схема)



Кле мма		Описание	Макс . нагруз- ка
		Напряжение пита- ния ~230 В (фаза)	
		Напряжение пита- ния ~230 В (нейтраль)	
	1	Электропривод (от- крытие)	0,2 А, 230 В
	1	Электропривод (за- крытие)	0,2 А, 230 В
		Фаза ~230 В для M <sub>1</sub>	
	2	Электропривод (от- крытие)	0,2 А, 230 В
	2	Электропривод (за- крытие)	0,2 А, 230 В
		Фаза ~230 В для M <sub>2</sub>	
	1	Насос/вентилятор	4(2) А, 230 В
0		Фаза ~230 В для R <sub>1</sub>	
1	2	Насос /заслонка	4(2) А, 230 В
		Фаза ~230 В для R <sub>2</sub>	

2			
3	3	По специальному заказу	4(2) А, 230 В
4		Фаза ~230 В для R <sub>3</sub>	

Подключение силовых цепей на ~24 В (общая схема)



Кле мма	Описание	Макс . нагруз- ка
	Напряжение питания ~24 В (фаза)	
	Напряжение питания ~24 В (нейтраль)	
1	Электропривод (от- крытие)	1 А , 24 В
1	Электропри- вод (закрытие)	1 А , 24 В
	Фаза ~24 В для M <sub>1</sub>	
2	Электропривод (от- крытие)	1 А , 24 В
	Электропри-	1 А ,

	2	вод (закрытие)	24 В
		Фаза $\sim 24$ В для $M_2$	
	1	Дополнительное реле насоса/вентилятора	Обмотка на $\sim 24$ В, контакты на 4(2)А, $\sim 230$ В
0		Фаза $\sim 24$ В для $R_1$	
1	2	Дополнительное реле насоса /заслонки	Обмотка на $\sim 24$ В, контакты на 4(2) А, $\sim 230$ В
2		Фаза $\sim 24$ В для $R_2$	
3	3	Дополнительное реле для $R_3$ (по специальному заказу)	Обмотка на $\sim 24$ В, контакты на 4(2) А, $\sim 230$ В
4		Фаза $\sim 24$ В для $R_3$	

### Примечания.

1. На схемах показаны все возможные элементы систем вентиляции, отопления и охлаждения.

2. Поперечное сечение кабеля для питающего напряжения 0,75–1,5 мм<sup>2</sup>.

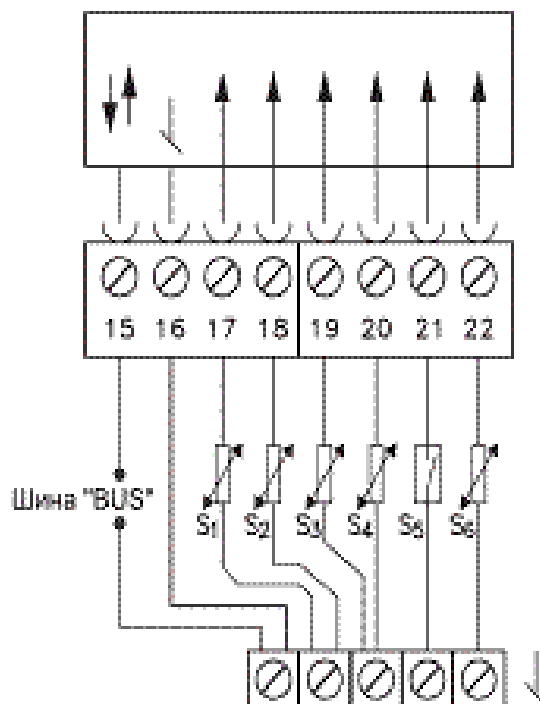
3. В каждую винтовую клемму могут быть введены два кабеля сечением до 1,5 мм<sup>2</sup>.

4. В клеммной панели ECL Comfort 300 необходимо установить перемычки между клеммами 1–5–8–10–12–14 и между общей колодкой "N" и клеммой 2.

5. Указанная максимальная нагрузка: без скобок — омическая; в скобках — индуктивная.

6. Материал кабелей — медь.

**Подключение датчиков (общая схема)**



Клеммы	Описание	Тип датчика
15 и 16	Системная шина	
17 и 16	Датчик темпер. наружного воздуха $S_1$ /пожарный датчик	ESMT
18 и 16	Датчик темпер. воздуха в помещении $S_2$	ESM-10
19 и 16	Датчик темпер. теплоносителя /воздуха в воздуховоде $S_3$	ESM-11, ESMB, ESMC, ESMU
20 и 16	Датчик темпер. обратного теплоносителя $S_4$	ESMU, ESM-11,

		ESMC
21 и 16	Внешняя ручная коррекция $S_5^*$	ECA 9010
22 и 16	Датчик защиты от замерзания $S_6^{**}$	KP61

\* Дистанционное переключение комфорт/пониженный.

\*\* Контакты 1 и 4 KP61 (размыкание при аварии).

### Примечания.

1. В клеммной панели ECL Comfort 300 необходимо установить перемычки между общей колодкой и клеммой 16.
2. Минимальное поперечное сечение кабеля для присоединения датчика 0,4 мм<sup>2</sup>.
3. Максимальная длина кабеля датчика или шины 50 м (суммарная длина кабелей более 100 м может исказить показания датчиков).
4. Материал кабелей — медь.

### Принцип регулирования

ПИ-регулирование температуры приточного воздуха  $S_3$  и П-регулирование температуры воздуха в помещении  $S_2$  с нейтральной зоной между работой воздухонагревателя и заслонок на теплоутилизаторе. Температура поддерживается на постоянном уровне последовательной работой клапана с электроприводом  $M_1$ , установленного на воздухонагревателе, и электропривода  $M_2$ , управляющего заслонками утилизационного теплообменника. Вентиляторы  $P_1$  управляются с помощью реле  $R_1$ .

### Основные настройки

Наименование	Диапазон настройки	Заводская настройка
Температура воздуха в воздуховоде или помещении, °C	От -20 до 110	20
Ограничение макс. и мин. температуры регулируемой среды, °C	От -20 до 110	Мин. 20, макс. 50
Нейтральная зона, °C	От 0 до 9	3 °C

Зона пропорциональности, °С	От 1 до 250	80 °С
Время интегрирования, с	От 5 до 999	30 с
Постоянная времени клапана с электроприводом, с	От 5 до 250	35 с

### 3.1.3. Расчет и выбор двухходового автоматического регулирующего клапана

Клапаны относят к классу трубопроводной арматуры. Они отличаются способом перекрытия потока теплоносителя, заключающимся в возвратнопоступательном перемещении затвора вдоль оси потока теплоносителя в седле корпуса арматуры. В соответствии со стандартом по назначению различают арматуру: запорную (для перекрытия потока), регулирующую (для изменения расхода теплоносителя), распределительно-смесительную (для распределения потоков теплоносителя по направлениям или для смешивания потоков), предохранительную (для защиты элементов системы при отклонении параметров теплоносителя за рекомендуемые пределы), обратную (для автоматического предотвращения изменения направления теплоносителя). Одно из главных отличий современной арматуры – это многофункциональность, т. е. предназначенность для выполнения нескольких функций. Такой арматурой является, например, запорнорегулирующая. Запорная арматура предназначена для перекрытия потока теплоносителя. Принимать запорную арматуру в качестве регулирующей не допускается. Это вызвано, прежде всего тем, что запорная арматура конструктивно не предназначена для таких задач: имеет низкую цикло-



вую нагрузку (быстрое срабатывание при частом использовании) и создает резкий перепад давления теплоносителя при закрывании. Регулирующая арматура предназначена для регулирования расхода теплоносителя. Независимо от конструктивного исполнения конечной целью ее подбора является обеспечение линейной зависимости между регулирующим воздействием и изменением регулируемого параметра.

Расчет и выбор элементов двухходовой автоматической регулирующей арматуры для регулятора теплового потока (первый клапан на схеме) и определить перепад давления, автоматически поддерживаемый регулятором перепада давления.

Клапан регулятора теплового потока подбирают для обеспечения линейности регулирования тепловым потоком теплообменника. Поскольку теплообменник имеет искривленную характеристику, клапан должен иметь логарифмическую расходную характеристику, близкую к идеальной.

Потери давления на клапане регулятора теплового потока  $\Delta P_{v1}$  определяют по консолидированному распределению потерь давления - на этом клапане и на автоматическом регуляторе перепада давления, т. е. между двумя клапанами, что позволяет ограничить максимальный расход теплоносителя у абонента. Тогда

$$\Delta P_{v1} = (\Delta P - \Delta P_m) / 2 = (2,0 - 1,0) / 2 = 0,5 \text{ бар.}$$

С целью уменьшения капитальных затрат (выбор клапана меньшего диаметра) может быть задана иная пропорция распределения давления между клапанами, если обеспечивается бескавитационная работа клапана с большим перепадом давления на нем.

Определяют расчетную пропускную способность клапана (плотность теплоносителя принимают  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) по уравнению из табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Определение пропускной способности клапана  $k_v(\text{м}^3/\text{ч})/\text{бар}^{0,5}$** 

$\Delta P$ , бар, $V$ , м <sup>3</sup> /ч	$\Delta P$ , кПа, $V$ , л/с	$\Delta P$ , мм вод. ст., $V$ , м <sup>3</sup> /ч	$\Delta P$ , кПа, $V$ , л/ч	$\Delta P$ , Па, $G$ , кг/ч
$k_v = \frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$	$k_v = 36 \frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$	$k_v = 0,1 \frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$	$k_v = 0,01 \frac{V}{\sqrt{\Delta P}}$	$k_v = 0,316 \frac{G}{\sqrt{\Delta P}}$

$$k_{vs} = \frac{V_N}{\sqrt{\Delta P_{vs1}}} = \frac{0,86Q}{\Delta t \sqrt{\Delta P_{vs1}}} = \frac{0,86 \times 100}{75 \sqrt{0,5}} = \frac{1,15}{\sqrt{0,5}} = 1,62 (\text{м}^3 / \text{ч}) / \text{бар}^{0,5}. \quad (3.10)$$

По каталогу выбирают регулирующий клапан с логарифмической расходной характеристикой VFS2  $d_y = 15$  мм и ближайшей пропускной способностью  $k_{vs} = 1,6 (\text{м}^3/\text{ч})/\text{бар}^{0,5}$ .

По уравнению (3.10) уточняют потери давления на клапане

$$\Delta P_{vs1} = \frac{V_N^2}{k_{vs}^2} = \frac{1,15^2}{1,6^2} = 0,52 \text{ бар}.$$

Этот же перепад давления следует поддерживать автоматическим регулятором перепада давления, т. е.  $\Delta P_1 = \Delta P_{vs1} = 0,52 \text{ бар}$ .

Определяют требуемые потери давления на автоматическом регуляторе перепада давления

$$\Delta P - (\Delta P_m + \Delta P_{vs1}) \leq 2,0 - (1,0 + 0,52) = 0,48 \text{ бар}.$$

Проверяют клапаны на обеспечение бескавитационной и бесшумной работы.

В рассмотренном пункте предполагалось, что расходные характеристики клапанов, близки к идеальным, и базовыми авторитетами клапанов пренебрегали.

### 3.1.4. Регулятор температуры для установки на трубопроводе

Регуляторы температуры прямого действия предназначены для поддержания температуры воды в бойлере или на выходе из теплообменника, либо температуры воздуха за калорифером на заданном уровне. Принцип их работы состоит в уменьшении проходного сечения клапана (закрывание) при повышении температуры.

Регуляторы AVTB и AVT применяют преимущественно в системах горячего водоснабжения. В зависимости от используемого датчика их могут устанавливать как на подающем, так и на обратном трубопроводе. Однако AVTB 20-60 °С необходимо всегда устанавливать только на обратном трубопроводе, чтобы температура датчика была выше температуры корпуса клапана. В основу работы регулятора температуры положен принцип объемного расширения. Например, при изменении температуры измеряемой среды регулятором AVTB (рис.3.7) изменяется давление газа, которым заполнен чувствительный элемент (датчик), и передается через капиллярную трубку в сильфонный узел.



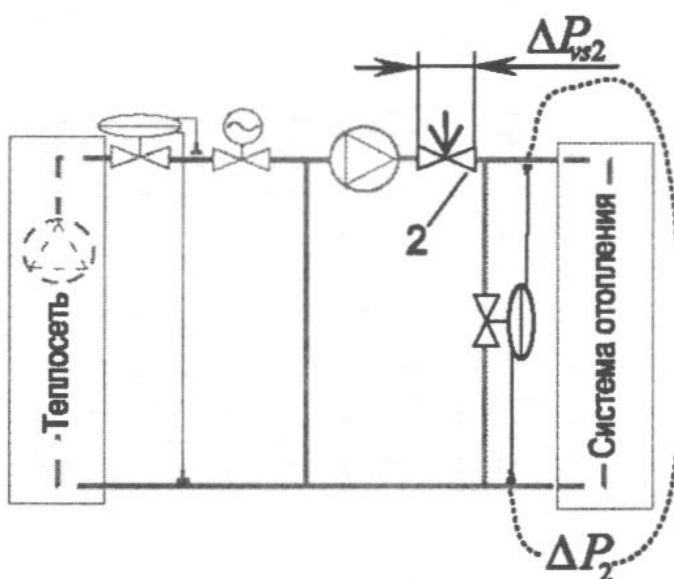
Рис. 3.7 Устройство регулятора температуры AVTB

Сильфон в зависимости от давления газа в датчике либо удлиняется, либо укорачивается и, воздействуя на шток, перемещает затвор

клапана . Затвор, в зависимости от положения, пропускает теплоноситель в большей, либо меньшей степени. Настройку регулятора на поддерживаемую температуру осуществляют вращением маховика, регулируя степень сжатия пружины . Силой давления пружины с одной стороны и давлением газа в сильфоне с другой стороны обеспечивают равновесное состояние затвора, соответствующее требуемой температуре. Диафрагмы с обеих сторон штока разгружают клапан по давлению теплоносителя, облегчая регулирование объекта. Датчик регулятора температуры располагают в специальной гильзе. Гильзу устанавливают в трубопровод либо воздуховод навстречу потоку. Положение датчика как относительно вертикальной плоскости, так и относительно корпуса клапана следует принимать по рекомендациям производителя.

### 3.1.5 Регулятор перепада давления прямого действия

К системе теплоснабжения присоединяют двухтрубную систему отопления здания с терморегуляторами у отопительных приборов по зависимой схеме.



Регуляторы перепада давления на стояках (либо поквартирных приборных ветках) системы отопления не предусмотрены.

Номинальный расход теплоносителя в системе отопления  $V_N = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Потери давления в системе отопления  $\Delta P^- = 0,25 \text{ бар}$  (между точками присоединения перепускной перемычки за насосом) безучета основного балансировочного клапана 2. Диаметр подающего трубопровода  $d_y = 32 \text{ мм}$ . Перепад давления между рабочей точкой насоса с максимальным к.п.д. и потерями давления в системе с учетом потерь давления в части циркуляционного кольца, расположенной до перепускной перемычки со стороны насоса, составляет  $\Delta P = 0,75 \text{ бар}$ .

Необходимо обеспечить работу насоса с максимальным к.п.д.

Работу насоса с максимальным к.п.д. при отсутствии регуляторов перепада давления на стояках или приборных ветках системы отопления обеспечивают общим двухходовым ручным балансировочным клапаном (второй клапан на схеме) с настройкой на потерю давления  $\Delta P_{v2} = \Delta P = 0,75 \text{ бар}$ .

По каталогу [63] выбирают балансировочный клапан с линейной характеристикой. Это клапан MSV-I (либо USV-I)  $d_y = 32 \text{ мм}$  и максимальной пропускной способностью  $k_{vs} = 6,3 \text{ (м}^3/\text{ч)}/\text{бар}^{0,5}$ . Зависимость пропускной способности клапана от настройки представлена в таблице.

Положение настройки $n$	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,2
Пропускная способность клапана $k_v, \text{ (м}^3/\text{ч)}/\text{бар}^{0,5}$	0,7	1,7	3,1	4,3	5,2	5,7	6,1	6,3

По традиционному методу определения настройки балансировочного клапана находят расчетную пропускную способность клапана (уравнение из табл. 3.1):

$$k_v = \frac{V_N}{\sqrt{\Delta P_{v2}}} = \frac{1,8}{\sqrt{0,75}} = 2,08 (\text{м}^3 / \text{ч}) / \text{бар}^{0,5}.$$

Интерполированием значений вышеприведенной таблицы определяют настройку клапана - 0,62. Настройку принимают с округлением до указанной на шкале дольной кратности. У данного типа клапана шкала настройки размечена через десятые доли, следовательно, принимают настройку  $n = 0,6$ .

По предлагаемому методу определения настройки клапана вначале определяют базовый авторитет клапана из преобразованного уравнения настройки, записанного в виде:

$$a_{\delta} a = a^+ = \frac{1 - (V_{100} / V)^2}{1 - (n_{\max} / n)^2} = \frac{1 - (k_{vs} / k_v)^2}{1 - (n_{\max} / n)^2}.$$

В данном расчете следует принимать внешний авторитет  $a = 1$ , ис-

ходя из условий гидравлического испытания клапана. Тогда, подставляя

максимальные значения параметров из последней колонки, а промежуточные - из любой другой колонки таблицы, находят базовый авторитет клапана

$$a_{\delta} = \frac{1 - (6,3 / 4,3)^2}{1 - (3,2 / 1,5)^2} = 0,32.$$

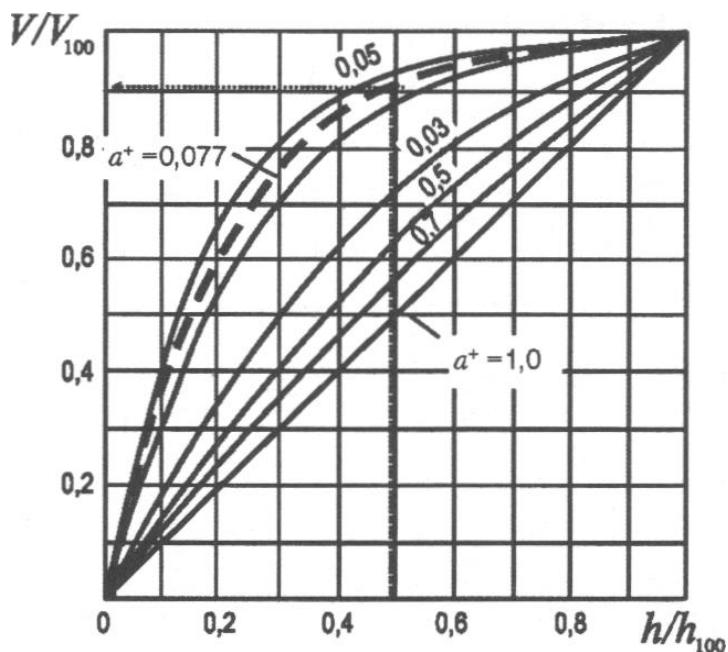
Большую точность данного параметра определяют усреднением значений, полученных при каждой настройке.

Минимальные потери давления на клапане при номинальном расходе

$$\Delta P_{vs2} = \frac{V_N^2}{k_{vs}^2} = \frac{1,8^2}{6,3^2} = 0,08 \text{ бар}.$$

По уравнению рассчитывают внешний авторитет клапана:

$$a = \Delta P_{vs} / (\Delta P_{vs2} + \Delta P^-) = 0,08 / (0,08 + 0,25) = 0,24.$$



Полный внешний авторитет клапана

$$a^+ = a_0 \times a = 0,32 \times 0,24 = 0,077.$$

Подставляя известные параметры в уравнение (6.16), находят настройку клапана

$$n = \frac{n_{\max}}{\sqrt{1 - \frac{1}{a^+} + \frac{\Delta P}{a_0 \Delta P_{vs}}}} = \frac{3,2}{\sqrt{1 - \frac{1}{0,067} + \frac{(0,25 + 0,75)}{0,32 \times 0,08}}} = 0,64.$$

Настройку принимают с округлением до указанной на шкале дольной кратности. У данного типа клапана шкала настройки размечена через десятые доли, следовательно, устанавливают настройку  $n = 0,6$ .

Отсюда следует, что по традиционному и предлагаемому методам настройка клапана совпадает, т. е. равна 0,6. В то же время, предлагаемый метод отображает гидравлическое взаимодействие клапана с системой при манипулировании им. Так, полный внешний авто-

ритет указывает на регулировочную характеристику клапана, по которой осуществляется регулирование реальной системы.

### **3.2.Обоснование законов и средств регулирования систем теплоснабжения**

В системе автоматического регулирования необходимо учитывать динамические характеристики объекта. Тогда работу регулятора настраивают по определенным принципам и законам. По принципу действия различают регуляторы непрерывного либо прерывистого действия. Регуляторы непрерывного действия, в свою очередь, подразделяют по закону регулирования. Законом регулирования считают закономерность изменения выходного сигнала регулятора в зависимости от сигнала на его входе. Различают следующие законы регулирования:

- 1) двухпозиционный;
- 2) пропорциональный;
- 3) интегральный (астатический);
- 4) пропорционально-интегральный (изодромный);
- 5) пропорционально-интегрально-дифференциальный.

Основы этих законов рассмотрим на примере работы системы теплоснабжения калорифера приточной системы вентиляции (рис. 6.56). Положительной и отрицательной осями  $Q$  указано соответственно теп-лопоступление и теплопотери помещения. Положительной и отрицательной осями  $t$  - повышение и понижение температуры воздуха. Положительной и отрицательной осями  $h$  - направление перемещения затвора клапана на открывание и закрывание.

Наиболее простое регулирование - двухпозиционное. При таком законе клапан либо полностью открыт, либо закрыт. Применение



двухпозиционного регулирования (пропусками), например, клапаном с электромагнитным (соленоидным) приводом в тепловых сетях запрещено [3]. В то же время, для регулирования конечного потребителя во внутренних системах здания, тако-

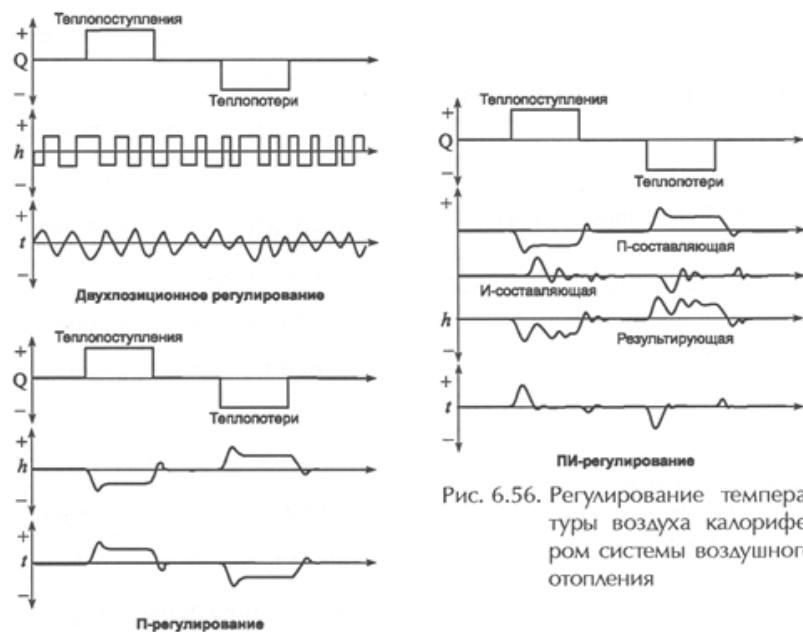


Рис. 6.56. Регулирование температуры воздуха калорифером системы воздушного отопления

го как калорифер, фанкойл, радиатор и т. п., двухпозиционный закон регулирования имеет широкое применение. Его реализуют клапанами с термоприводами. Термопривод изменяет положения затвора клапана (закрыто или открыто) в течение обычно не менее  $\tau = 3 \dots 5$  мин. Это позволяет предотвратить гидравлическую нестабильность работы системы: гидроудары, шум и пр.

Пропорциональное регулирование (П-регулирование), по своей сути, является реализацией идеального регулирования, рассмотренного в п. 5.1.1. Изменению теплового состояния объекта регулирования соответствует перемещение затвора клапана. При использовании этого закона необходимо учитывать влияние инерционности клапана на его расходную характеристику. В противном случае возникает остаточная неравномерность регулируемого параметра.

Пропорционально-интегральный закон регулирования (ПИ- регулирование) сочетает положительные свойства пропорционального и интегрального регулирования (И-регулирование). Пропорциональной составляющей обеспечивается лучший процесс перехода в новое положение затвора клапана, а интегральной - создается колебательное перемещение затвора, возобновляющее регулируемый параметр без остаточной неравномерности. Таким образом, регулирующее воздействие пропорционально отклонению регулируемого параметра и интегралу времени этого отклонения. При этом происходит лишь незначительное отклонение температуры воздуха  $t$  в начале изменения теплового баланса помещения. Эта способность достигнута применением гибкой (упругой) обратной связи между регулируемым параметром и регулирующим клапаном. Поэтому для своевременного реагирования на изменение теплового режима в помещении регуляторы непрямого действия управляют электроприводами.

Пропорционально-интегральное регулирование имеет преимущество при регулировании быстро и резко изменяющихся регулируемых величин с самовыравниванием и без самовыравнивания за счет тепловой инерции регулируемого объекта, например, тепловой инерции здания. При регулировании температуры воздуха в помещениях здания с ограждающими конструкциями, имеющими большую тепловую инерцию и незначительном запаздывании реагирования температуры воздуха на изменение температурной обстановки, выбор пропорционального либо пропорционально-интегрального закона регулирования не дает существенных преимуществ. Однако в зданиях с ограждающими конструкциями, имеющими малую тепловую инерцию, преимущества пропорционально-интегрального закона более значительны. В любом случае, возможность реализации регуляторами непрямого дей-

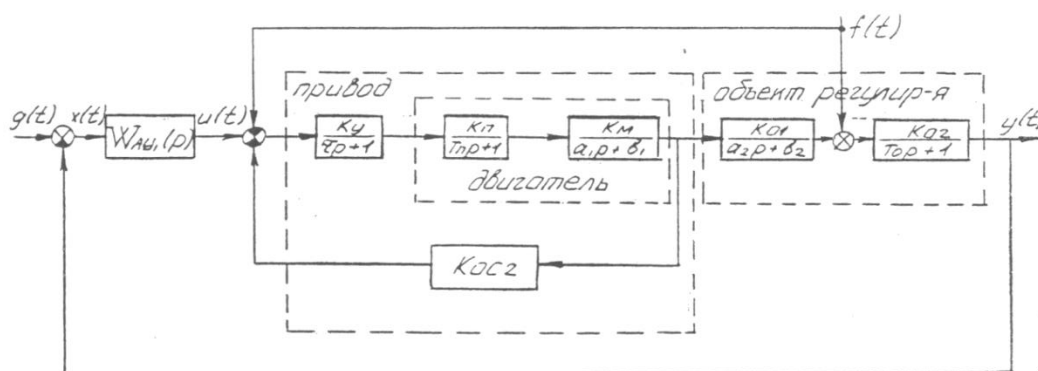
ствия регулирования по погодным условиям, режима выходного дня и т. п. позволяет получить экономический эффект за счет своевременного обеспечения теплового комфорта.

При регулировании инженерных систем здания пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования практически не применяют. Его особенность состоит в том, что перемещение затвора клапана ставят в зависимость не только от скорости, но и от ускорения изменения регулируемой величины, что с учетом инерционности рассматриваемых объектов регулирования является мало востребованной функцией.

### 3.2.1. Анализ устойчивости следящего привода

Блок-схема следящего привода приведена на следующем рисунке.

Проведем анализ устойчивости этой схемы.



Исходные данные

$K_И$	$K_П$	$T_И$	$K_М$	$a_1$	$K_{О1}$	$b_1$	$a_2$	$K_{О2}$	$T_О$	$K_{ОС2}$	$W_{АИД}(p)$
в/в	в/в	с	$A^{-1}c^{-2}$	с				Мс/град $^{\circ}$	с	вс/град $^{\circ}$	
40,80	0,7	0,003	0,3	0,1	3	1	0,2	0,15	0,5	1,5	$\frac{50p+200}{p}$
	$\frac{1}{T}$	0,005	0,8	0,1				0,1	0,4		
1,1	0,7	0,005	2,0	1	1	1	0,1	0,1	0,5	1,5	

1.1. Запишем передаточную функцию привода, которая будет иметь вид:

$$W_{np}(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)k_{oc2}}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)k_{oc2}}, \quad (3.2.1.)$$

$$\text{где } W_1(p) = \frac{k_y}{\tau p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_n}{T_{np} p + 1}; \quad W_3(p) = \frac{k_m}{a_1 p + 1}.$$

Подставив значения  $W_1(p), W_2(p), W_3(p)$  в выражение (3.2.1), получим:

$$W_{np}(p) = \frac{\frac{k_y}{\tau p + 1} \frac{k_n}{T_{np} p + 1} \frac{k_m}{a_1 p + 1} k_{oc2}}{1 + k_{oc2} \frac{k_y}{\tau p + 1} \frac{k_n}{T_{np} p + 1} \frac{k_m}{a_1 p + 1} k_{oc2}} = \frac{\frac{80}{0,7 p + 1} \frac{0,7}{0,003 p + 1} \frac{0,3}{0,1 p + 1} \cdot 1,5}{1 + \frac{80}{0,7 p + 1} \frac{0,7}{0,003 p + 1} \frac{0,3}{0,1 p + 1} \cdot 1,5}$$

Откуда, путем математических преобразований, получаем передаточную функцию привода:

$$W_{np}(p) = \frac{25,2}{0,000021 p^3 + 0,07051 p^2 + 0,803 p + 26,2}. \quad (3.2.2)$$

1.2. Запишем передаточную функцию объекта регулирования, которая будет иметь вид:

$$W_{op}(p) = W_4(p)W_5(p), \quad (3.2.3)$$

$$\text{где } W_4(p) = \frac{k_{01}}{a_2 p + b_2}; \quad W_5(p) = \frac{k_{02}}{T_0 p + 1}.$$

Подставив значения  $W_4(p)$  и  $W_5(p)$  в выражение (3.2.3), получим:

$$W_{op}(p) = \frac{k_{01}}{a_2 p + b_2} \cdot \frac{k_{02}}{T_0 p + 1} = \frac{3}{0,2 p + 1} \cdot \frac{0,15}{0,5 p + 1}.$$

Откуда, путем математических преобразований, получим передаточную функцию объекта регулирования:

$$W_{op}(p) = \frac{0,45}{0,1p^2 + 0,7p + 1}. \quad (3.2.4)$$

2. Построить частотные характеристики для привода, объекта регулирования и заданного ФАУ.

2.1. Построим АФЧХ привода.

Для этого в выражении (3.2.2) произведем замену  $p = j\omega$  и получим:

$$W_{np}(j\omega) = \frac{25,2}{0,000021j\omega^3 + 0,07051j\omega^2 + 0,803j\omega + 26,2}.$$

Разделим знаменатель на действительную и мнимую части, а числитель умножим на сопряженное знаменателю число:

$$\begin{aligned} W_{np}(j\omega) &= \frac{25,2}{(26,2 - 0,07051\omega^2) + j(0,803\omega - 0,000021\omega^3)} = \\ &= \frac{25,2((26,2 - 0,07051\omega^2) - (0,803\omega - 0,000021\omega^3))}{(26,2 - 0,07051\omega^2)^2 + (0,803\omega - 0,000021\omega^3)^2} \end{aligned}$$

Разделяя действительную и мнимую части  $W_{np}(j\omega)$ , получим:

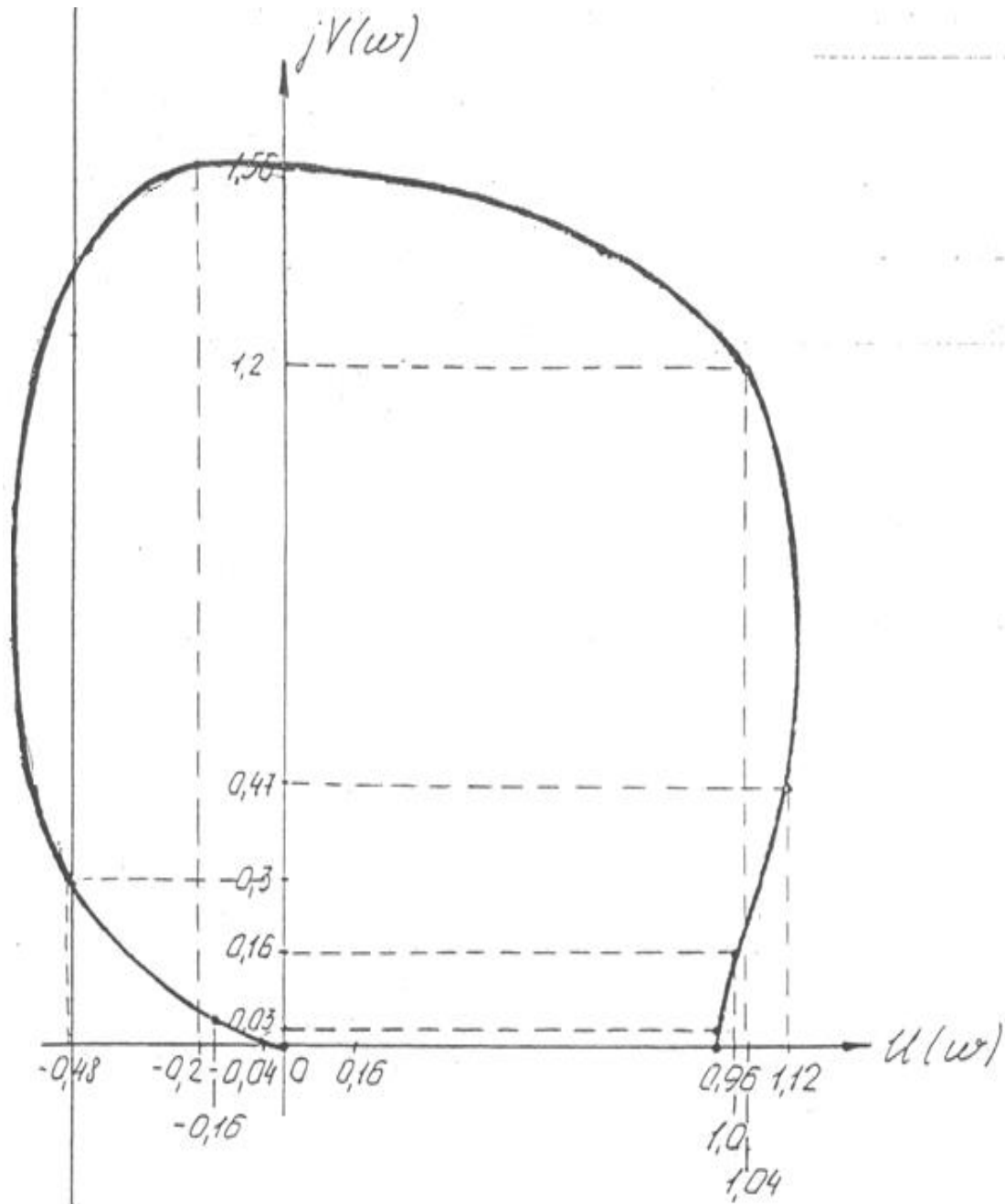
$$\begin{aligned} W_{np}(j\omega) &= \frac{660,24 - 1,776852\omega^2}{(26,2 - 0,07051\omega^2)^2 + (0,803\omega - 0,000021\omega^3)^2} - \\ &- j \frac{20,2356\omega - 0,0005292\omega^3}{(26,2 - 0,07051\omega^2)^2 + (0,803\omega - 0,000021\omega^3)^2} \end{aligned} \quad (3.2.5)$$

Подставим в формулу (5)  $\omega = 0$ ,  $\omega = \infty$  и некоторые другие значения. Результаты заносим в табл. 3.2.1.

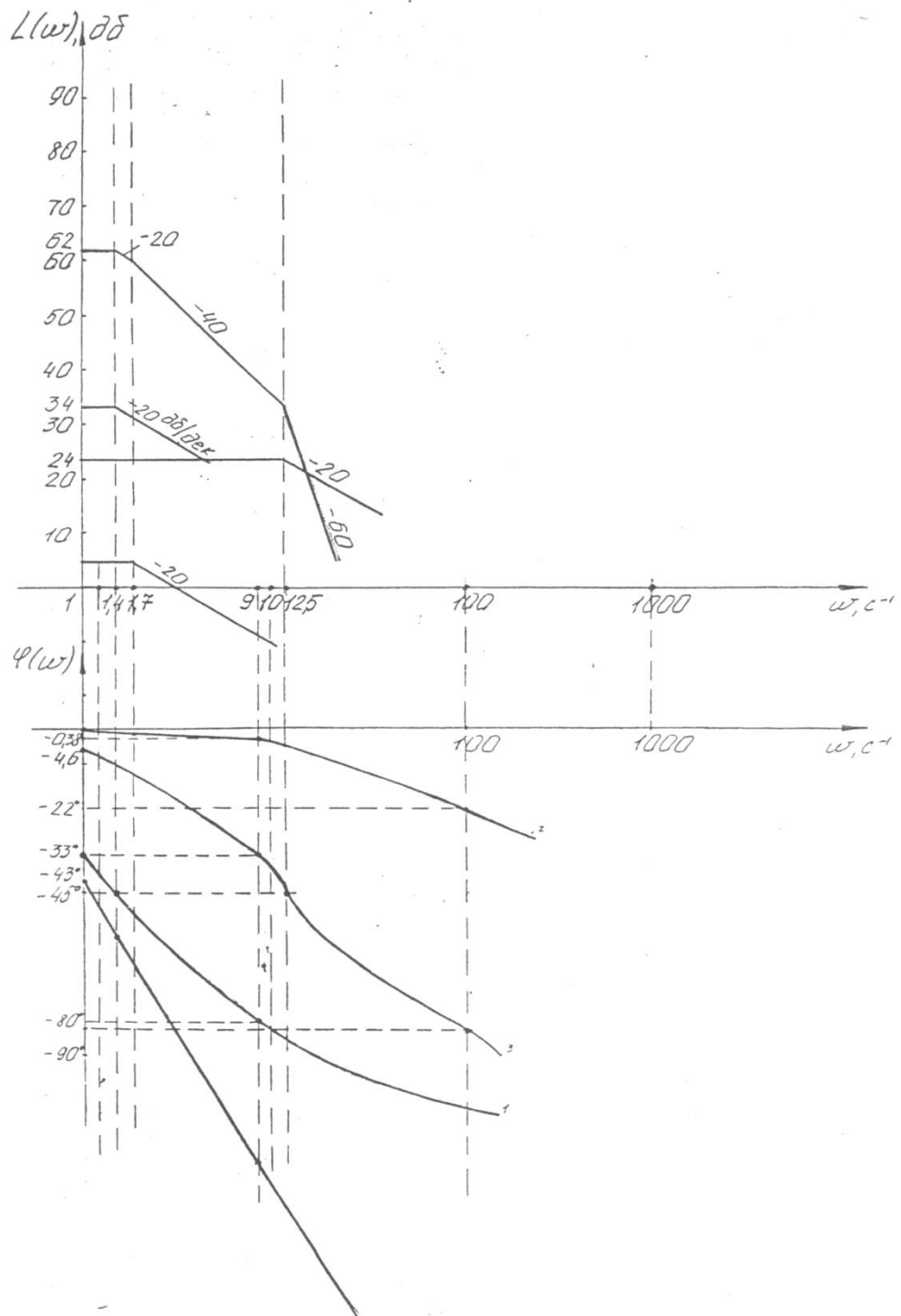
Таблица 3.2.1

$\omega$	$U(\omega)$	$jV(\omega)$	$\omega$	$U(\omega)$	$jV(\omega)$
0	0,95	0	20	-0,2	1,55
$\infty$	0	0	30	-0,48	0,3
10	1,12	0,47	50	-0,16	0,04
5	1	0,16	100	-0,04	0,00
15	1,04	1,2	1	0,96	3
					0,03

Используя табл. 3.2.1, строим на комплексной плоскости АФЧХ привода



В логарифмическом масштабе строим ЛАЧХ и ЛФЧХ привода (см. следующую страницу).





## 2.2. Строим АФЧХ объекта регулирования

Все действия выполняются аналогично, как и для привода.

$$W_{op}(j\omega) = \frac{0,45}{-0,1\omega^2 + j0,7\omega + 1} = \frac{0,45((1 - 0,1\omega^2) - 0,7j\omega)}{(1 - 0,1\omega^2)^2 - (0,7\omega)^2}.$$

Путем математических преобразований получим:

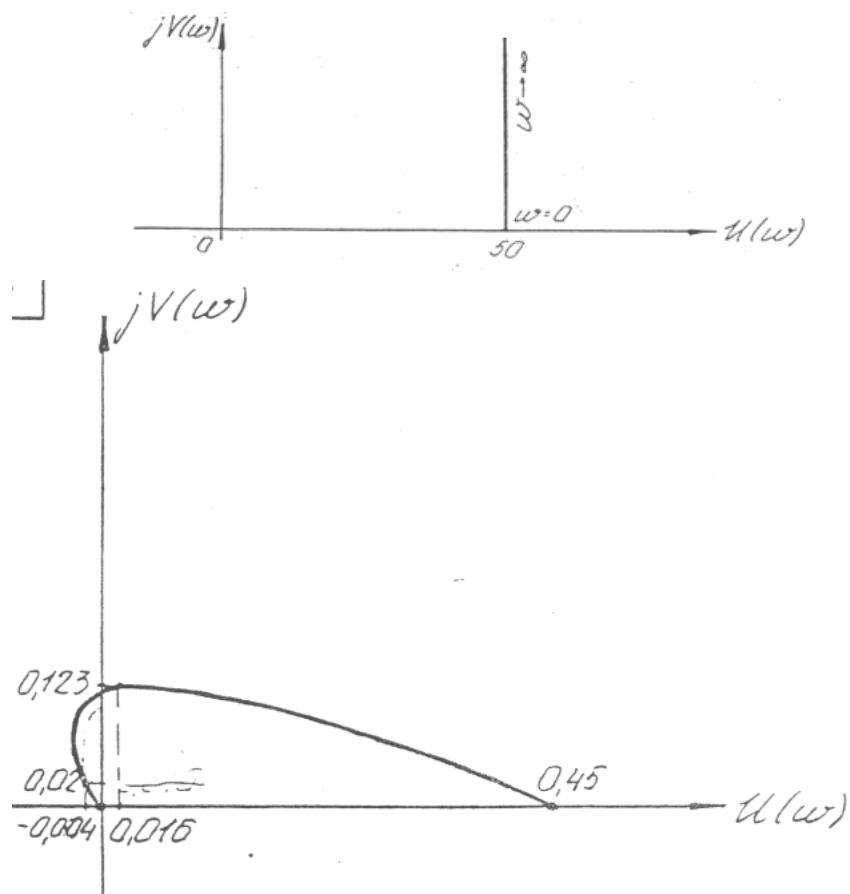
$$W_{op}(j\omega) = \frac{0,45 - 0,0145\omega^2}{(1 - 0,1\omega^2)^2 + (0,7\omega)^2} - j \frac{0,315\omega}{(1 - 0,1\omega^2)^2 + (0,7\omega)^2}. \quad (3.2.6)$$

Подставляем в формулу (6)  $\omega = 0$ ,  $\omega = \infty$  и некоторые другие значения. Результаты заносим в табл. 2.

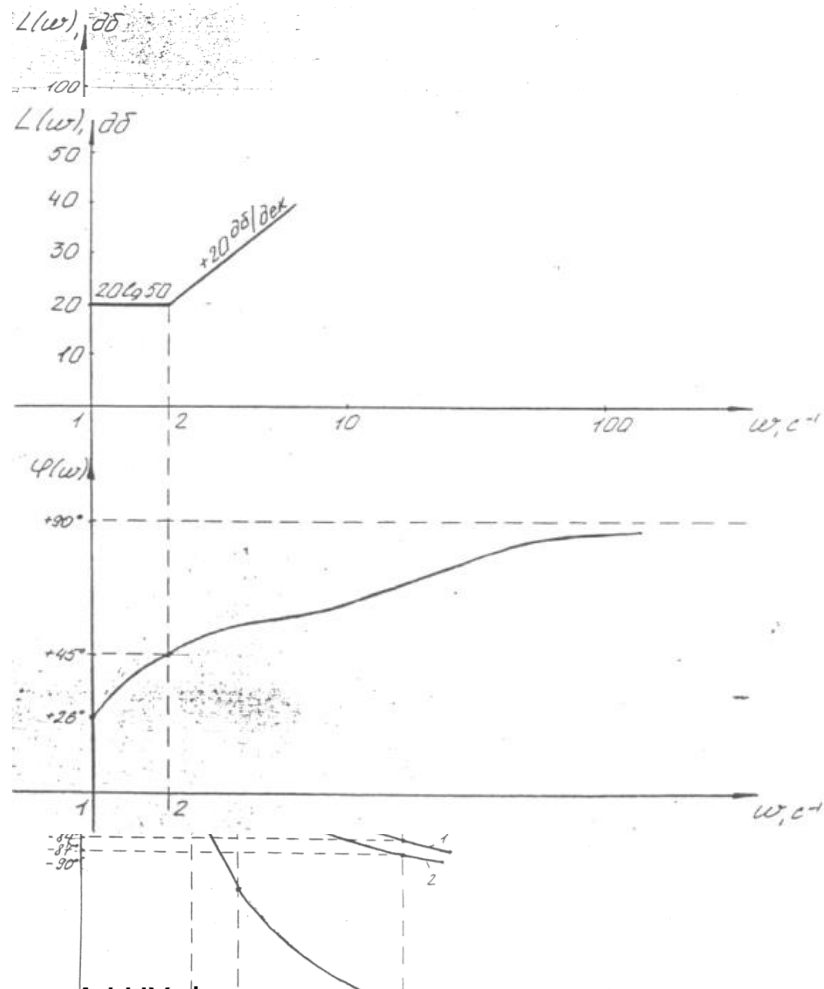
Таблица 3.2.2

$\omega$	$U(\omega)$	$jV(\omega)$
0	0,45	0
$\infty$	0	0
5	0,016	0,123
10	-0,004	0,02

Используя табл. 3.2.2, строим на комплексной плоскости АФЧХ объекта управления:



Строим ЛАЧХ и ЛФЧХ объекта регулирования (см. следующую страницу).



2.3. Построим АФЧХ формирователя алгоритма управления (ФАУ)

$$W_{\text{ФАУ}}(p) = \frac{50p + 25p^2}{p} = 50 + 25p.$$

Так как это звено является стандартным формирующим звеном первого порядка, то его АФЧХ имеет вид:

Строим ЛАЧХ и ЛФЧХ ФАУ

3. Для того, чтобы записать АФЧХ разомкнутой системы, необходимо перемножить передаточные функции ФАУ, привода и объекта регулирования, только без обратной связи:

$$W_p(p) = \frac{50 + 25p}{1} \cdot \frac{25,2}{0,000021p^3 + 0,07051p^2 + 0,803p + 26,2} \cdot \frac{0,45}{0,1p^2 + 0,7p + 1}$$

Проведя математические преобразования, получим:

$$W_p(p) = \frac{567 + 283,5p}{0,0000021p^5 + 0,0070657p^4 + 0,129678p^3 + 3,25261p^2 + 19,143p + 26,2}$$

Производим замену  $p = j\omega$  в  $W_p(p)$ , в результате чего получим:

$$W_p(j\omega) = \frac{567 + 283,5j\omega}{-0,0000021j\omega^5 - 0,0070657\omega^4 - 0,129678j\omega^3 - 3,25261\omega^2 - 19,143j\omega + 26,2}$$

Произведя математические преобразования, получаем АФЧХ разомкнутой системы в виде действительной и комплексной частей:

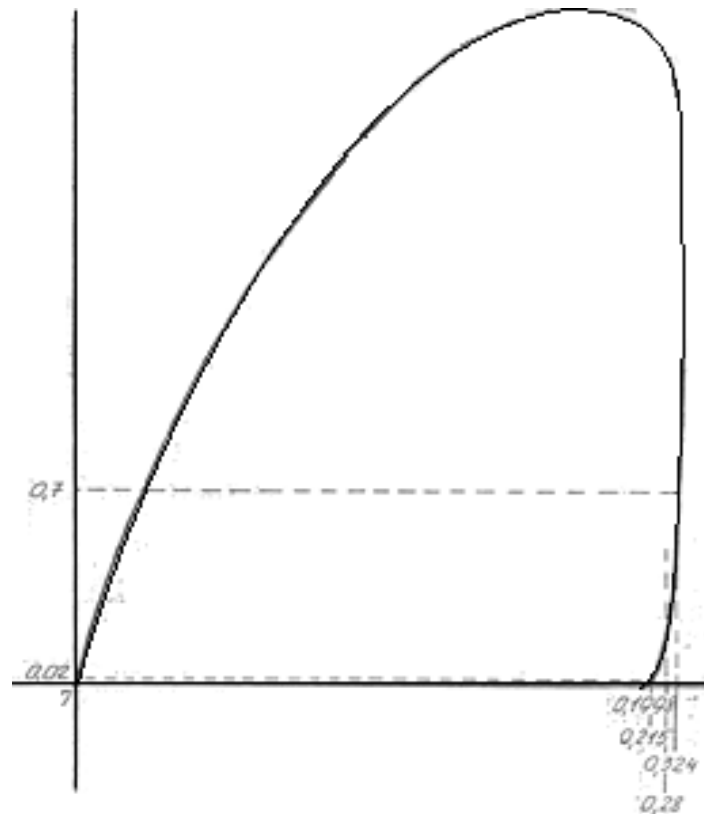
$$W_p(j\omega) = \frac{864770 + 1,913328\omega^4 + 47457,8136\omega^2 + 0,0006048\omega^6}{(26,2 - 0,0070657\omega^4 - 3,25261\omega^2)^2 + (19,143\omega - 0,0000021\omega^5 - 0,129678\omega^3)^2} + j \frac{72765\omega - 42340,0932\omega^3 - 0,0111456}{(26,2 - 0,0070657\omega^4 - 3,25261\omega^2)^2 + (19,143\omega - 0,0000021\omega^5 - 0,129678\omega^3)^2}$$

Подставляем в эту формулу  $\omega = 0$ ,  $\omega = \infty$  и некоторые другие значения. Результаты заносим в табл. 3.2.3.

Таблица 3.2.3

$\omega$	$jV(\omega)$	$U(\omega)$
0	0	0,1998
$\infty$	0	0
1	0,02	0,215
4	0,7	0,324
10	2,28	0,28

Строим АФЧХ разомкнутой системы на комплексной плоскости (смотри на следующей странице):



Строим ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы. Для этого достаточно графически просуммировать построенные ранее ЛАЧХ и ЛФЧХ привода, объекта регулирования и ФАУ. Результирующие ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы представлены после п.4 на следующей странице.

4. Запишем передаточную функцию замкнутой системы, которая будет выглядеть следующим образом:

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)K_{wy_1}}{1 + W_p(p)K_{wy_1}}$$

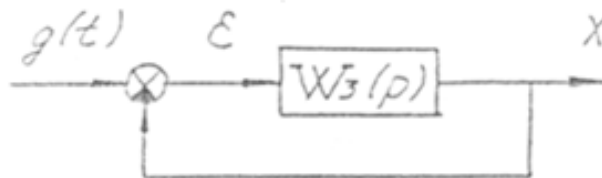
Подставим  $W_p(p)$  из предыдущего пункта

$$W_3(p) = \frac{\frac{567 + 283,5p}{0,0000021p^5 + 0,0070657p^4 + 0,129678p^3 + 3,25261p^2 + 19,143p + 26,2}}{1 + \frac{567 + 283,5p}{0,0000021p^5 + 0,0070657p^4 + 0,129678p^3 + 3,25261p^2 + 19,143p + 26,2}}$$

Путем математических преобразований получаем передаточную функцию замкнутой системы

$$W_3(p) = \frac{567 + 283,5p}{0,0000021p^5 + 0,0070657p^4 + 0,129678p^3 + 3,25261p^2 + 19,143p + 26,2}$$

Рассмотрим систему при задающем воздействии и  $f(t) = 0$ . Тогда исходная структурная схема примет вид, как показано на рис. 3.2.1,

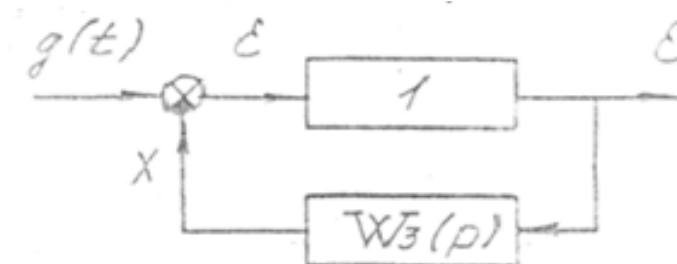


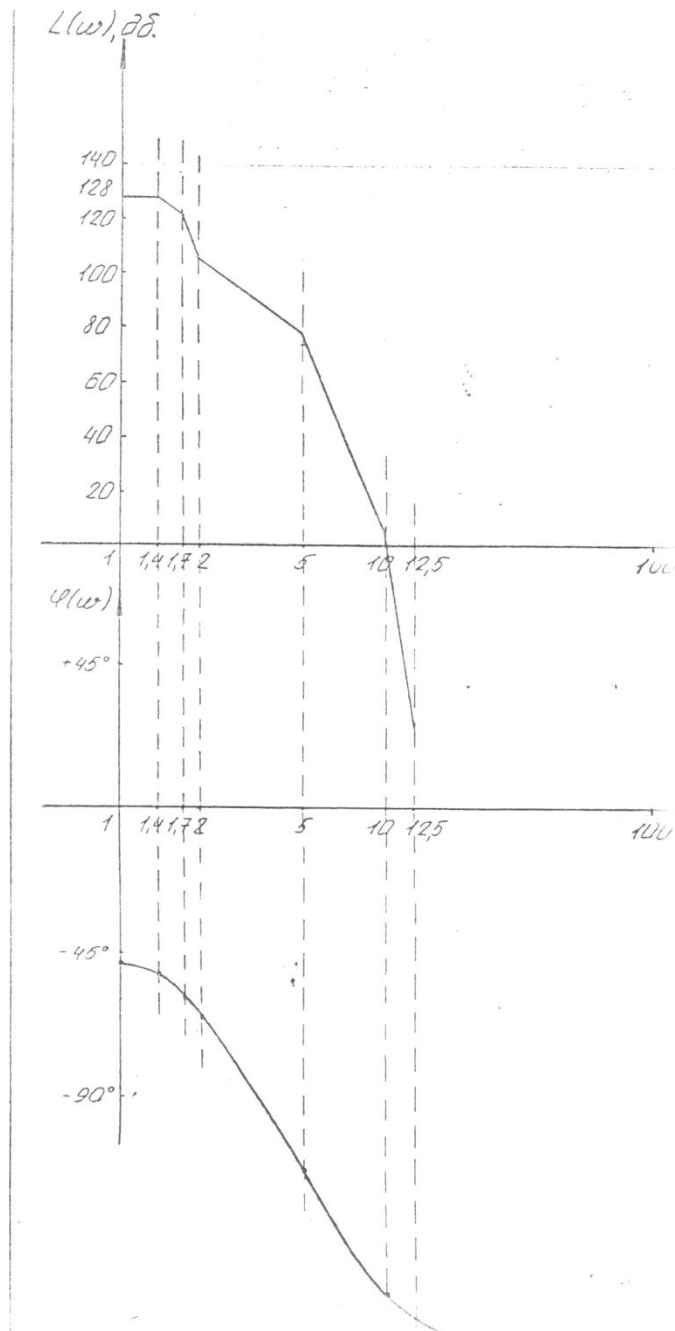
а передаточная функция замкнутой системы по задающему воздействию, – в виде:

$$W_f(p) = \frac{W_3(p)}{1 + W_3(p)}$$

Определим выражение для передаточной функции замкнутой системы по ошибке. Поведение такой системы развивается только при задающем воздействии  $g(t) = 0$ , а варьируемой величиной системы является ошибка (рис. 2). Тогда передаточная функция замкнутой системы по ошибке равна:

$$W_\varepsilon(p) = \frac{1}{1 + W_3(p)}$$





Характеристическое уравнение замкнутой системы привода  $A(p)$  в разомкнутом виде можно представить выражением:

$$A(p) = a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0,$$

где  $a_3 = T_M T_{\text{я}} T_{\text{п}}$ ;  $a_2 = T_M (T_{\text{я}} + T_{\text{п}})$ ;  $a_1 = T_M + T_{\text{п}}$ ;  $a_0 = 1 + K_p = K_0$ .

Используя алгебраический критерий Гурвица, можно определить устойчивость системы по последнему определителю

$$\Delta_3 = \det \begin{vmatrix} a_2 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_2 & a_0 \end{vmatrix} = a_0 \det \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_0 \Delta_2.$$

Так как  $a_0 > 0$ , необходимо исследовать знак предпоследнего определителя

$$\Delta_2 = \det \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 a_1 - a_3 a_0.$$

Подставив значения коэффициентов, можно получить условие устойчивости привода:

$$\Delta_2 = T_M (T_я + T_п) (T_M + T_п) - K_0 T_M T_я T_п > 0,$$

откуда  $K_p < \frac{T_M}{T_п} + \frac{T_M}{T_я} + \frac{T_п}{T_я}.$

Для сохранения запаса устойчивости и надежности работы привода расчетные значения коэффициента  $K_p$  при проектировании уменьшают на 1 - 1,5%.

### **3.2.2. Синтез последовательного корректирующего устройства следящего электропривода методом логарифмических частотных характеристик**

Устройства, вводимые специально в контур регулирования для обеспечения требуемых динамических свойств следящего электропривода (СЭП), называют корректирующими устройствами (КУ). Широкое применение нашли разные методы коррекции: вязкое демпфирование, уменьшение нелинейности СЭП, изменение частотных характеристик СЭП. Для первого метода коррекции характерно введение в СЭП дополнительного момента вязкого трения, формируемого на валу двигателей специальными устройствами-демпферами (воздушными или электромагнитными). Основой второго метода является уменьшение



нелинейности СЭП, связанной с наличием зазоров, момента трения в исполнительном механизме(ИМ), путем использования вибрации с большой частотой и малой амплитудой.

Коррекция приводов изменением частотных характеристик наиболее приемлема для СЭП. При этом методе сигнал управления содержит и погрешности сигналов, пропорциональных производным и интегралам от погрешности и возмущающих воздействий. Место включения КУ определяют в зависимости от формируемого закона управления. По этому признаку КУ подразделяют на последовательные, параллельные и корректирующие обратные связи(ОС), линейные и нелинейные. По виду частотных характеристик КУ делят на дифференцирующие, интегрирующие и интегро-дифференцирующие.

Если передаточную функцию, соответствующую желаемым характеристикам разомкнутой системы управления, обозначать  $W_{ж}(p)$ , передаточную функцию нескорректированной исходной части(располагаемой)  $-W_n(p)$ , а регулятора последовательного типа  $-W_p(p)$ , то можно записать уравнение:

$$W_{жс}(p) = W_p(p) \cdot W_n(p) \quad W_p(p) = W_{жс}(p) / W_n(p), \quad (3.2.2.1)$$

или, переходя к ЛАЧХ, можно получить:

$$Lm[W_p(j\omega)] = Lm[W_{жс}(j\omega)] - Lm[W_n(j\omega)] \quad (3.2.2.2)$$

На основании (2) можно констатировать, что логарифмическая амплитудная характеристика(ЛАЧХ) регулятора может быть получена путем вычитания ЛАЧХ располагаемой части из ЛАЧХ желаемой. На основании вида  $Lm[W_p(j\omega)]$  выбирают тип и параметры регулятора. Однако при построении ЛАЧХ<sub>ж</sub> следует учитывать исходные данные на проектирование СЭП. При единичном возмущении, если заданы пока-

затели качества переходного процесса (время переходного процесса  $t_{п.п}$ , перерегулирование  $\sigma$ ) построение ЛАЧХ<sub>ж</sub> осуществляется в следующем порядке:

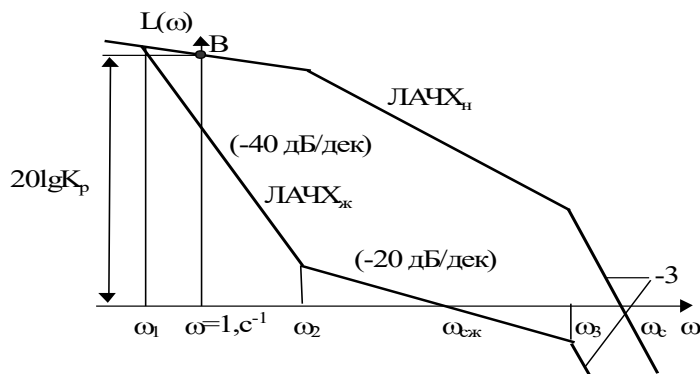


Рис. 3221. Построение ЛАЧХ<sub>ж</sub> при единичном возмущении

1. На оси ординат ( $L(\omega)$ ) определяют точку В с координатами  $20\lg K_p$  и  $\omega=1, c^{-1}$ . Перемещают ЛАЧХ<sub>н</sub> неизменяемой части по оси ординат до прохождения ее через точку В (рис. 1).

2. Выбирают тип среднечастотной части желаемой ЛАЧХ<sub>ж</sub>.

3. По заданным значениям  $t_{п.п}$  и  $\sigma$  определяют частоту среза  $\omega_{сж}$  ЛАЧХ<sub>ж</sub>.

4. Определяют частоты сопряжения  $\omega_2$  и  $\omega_3$ . Через точку  $\omega_{сж}$  проводят асимптоту с наклоном  $-20$  дБ/дек в частотном диапазоне  $\omega_2 - \omega_3$ .

5. Построение высокочастотной части ЛАЧХ<sub>ж</sub> осуществляют в дальнейшем по аналогии с высокочастотной частью ЛАЧХ<sub>н</sub> неизменяемой части СЭП.

6. Для сопряжения среднечастотной асимптоты ЛАЧХ<sub>ж</sub> с высокочастотной асимптотой из точки с ординатой, соответствующей частоте  $\omega_3$ , проводят прямую с наклоном  $-40$  дБ/дек до пересечения с ЛАЧХ<sub>н</sub>.

7. Сопряжение среднечастотной части асимптоты с низкочастотной ЛАЧХ<sub>ж</sub> выполняют построением прямой с наклоном  $-20$ ,  $-40$  или  $-60$  дБ/дек, выходящей из точки с ординатой на частоте  $\omega_2$  в соответ-

ствии с выбранным типом ЛАЧХ<sub>ж</sub>, и продолжают ее до пересечения с низкочастотной асимптотой при частоте  $\omega_1$ .

8. В соответствии с ЛАЧХ<sub>ж</sub> затем строят желаемую ЛФЧХ<sub>ж</sub>.

9. По построенным ЛАЧХ<sub>ж</sub> и ЛФЧХ<sub>ж</sub> определяют запасы устойчивости СЭП.

При заданных гармоническом законе движения управляющего вала и частотных показателях качества желаемую ЛАЧХ<sub>ж</sub> строят в несколько ином порядке.

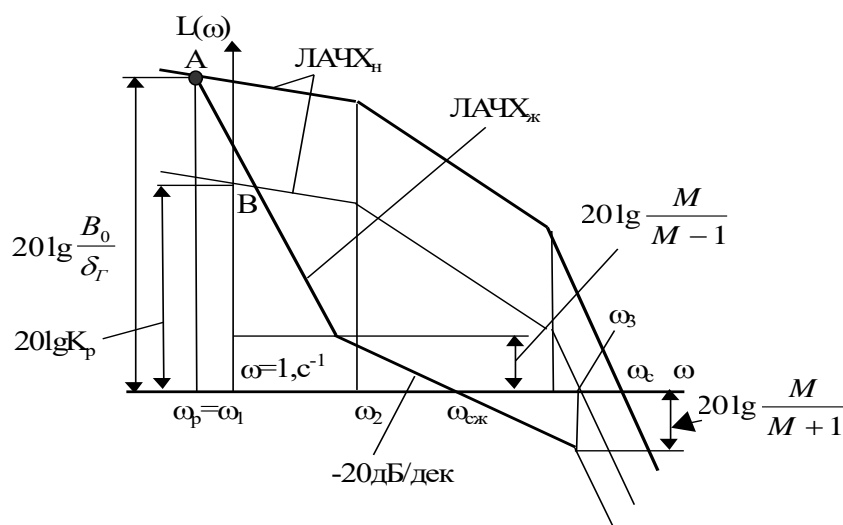


Рис. 3.2.2.2. Построение ЛАЧХ<sub>ж</sub> при гармоническом воздействии

1. Выбирают тип ЛАЧХ<sub>ж</sub>.
2. Низкочастотную асимптоту сопряжения ЛАЧХ<sub>ж</sub> проводят через рабочую точку А (рис. 2) с координатами  $\omega_p$  и  $20\lg(\beta_0/\delta_r)$ , где  $\beta_0 = \Omega_n/\omega_p$ ,  $\omega_p = \varepsilon_n/\Omega_n$ ,  $\omega_p$  - рабочая частота изменения сигнала.

3. Если задано значение показателя колебательности  $M$ , то определяют границы среднечастотной асимптоты ЛАЧХ<sub>ж</sub>.

4. Определяют частоты сопряжения  $\omega_2$  по пересечению среднечастотной асимптоты (с наклоном -20дб/дек) и линии сопряжения ЛАЧХ<sub>ж</sub> с верхней границей зоны (т. А),  $\omega_3$  - с нижней границей зоны.

5. Перемещают ЛАЧХ неизменяемой части СЭП по оси ординат до сопряжения с типовой ЛАЧХ<sub>ж</sub> в точке, соответствующей частоте  $\omega_1$  и не ниже рабочей точки А. Последнее условие вытекает из необходимости обеспечения требуемой точности воспроизведения гармонического сигнала.

6. Для простоты технической реализации КУ за высокочастотную асимптоту ЛАЧХ<sub>ж</sub> принимают высокочастотную асимптоту ЛАЧХ неизменяемой части СЭП.

7. Строят ЛФЧХ<sub>ж</sub> привода и определяют запасы устойчивости.

Расчет номиналов RC-элементов реализуемого КУ производят исходя из вида полученной ЛАЧХ КУ, определения передаточной функции корректирующего контура в соответствии с рекомендациями по применению заранее известных контуров пассивного или активного типа на базе операционных усилителей(ОУ).

В дальнейшем спроектированный СЭП, кроме свойств устойчивости, должен быть проверен на соответствие и частотным показателям качества. Если в задании на проектирование нет особых указаний, то качество СЭП следует определить по виду переходного процесса, возникающего в системе при отработке возмущения по входу и нагрузке. Расчет переходных процессов производят с использованием программного пакета MathCAD.

### **3.3. Моделирование систем теплоснабжения с законами регулирования**

#### **3.3.1. Моделирование следящего электропривода в MATLAB**

Для случая, когда постоянные времени сильно различаются  $T_2 \gg T_1$  целесообразно строить ПИ регулятор, который компенсировал бы большую постоянную времени объекта

$$W_p(s) = \frac{(T_2s + 1) \cdot k_p}{T_2s} = k_p + \frac{k_p}{T_2s} = k_{II} + \frac{k_{II}}{s} \quad (3.3.1.1)$$

Тогда передаточная функция разомкнутой системы будет равна:

$$W_{PA3}(s) = \frac{(T_2s + 1) \cdot k_{cp} k_p k_{oc}}{T_2s} \cdot \frac{1/k_E}{(T_1s + 1) \cdot (T_2s + 1)} = \frac{k_{cp} k_p k_{oc} / k_E}{T_2s \cdot (T_1s + 1)} \quad (3.3.1.2)$$

Оптимум по модулю в такой системе достигается при

$\frac{T_2 k_E}{k_{cp} k_p k_{oc}} = 2T_1$ , откуда находятся коэффициенты передачи пропорциональной и интегральной части регулятора.

$$k_{II} = k_p = \frac{T_2 k_E}{2T_1 k_{cp} k_{oc}}, \quad k_{II} = \frac{k_p}{T_2} \quad (3.3.1.3)$$

Модель одноконтурной скоростной системы (**файл DC\_Mod\_Reg1**) показана на рис.1. Двигатель в модели представлен тремя звеньями (TransferFcn, TransferFcn1,  $k_E$ ). Момент нагрузки на двигатель моделируется двумя блоками (Step,  $1/K_M$ ). Силовой регулятор представлен безинерционным звеном ( $K_{cp}$ ) с насыщением, которое определяется конечной величиной напряжения питания силового регулятора.

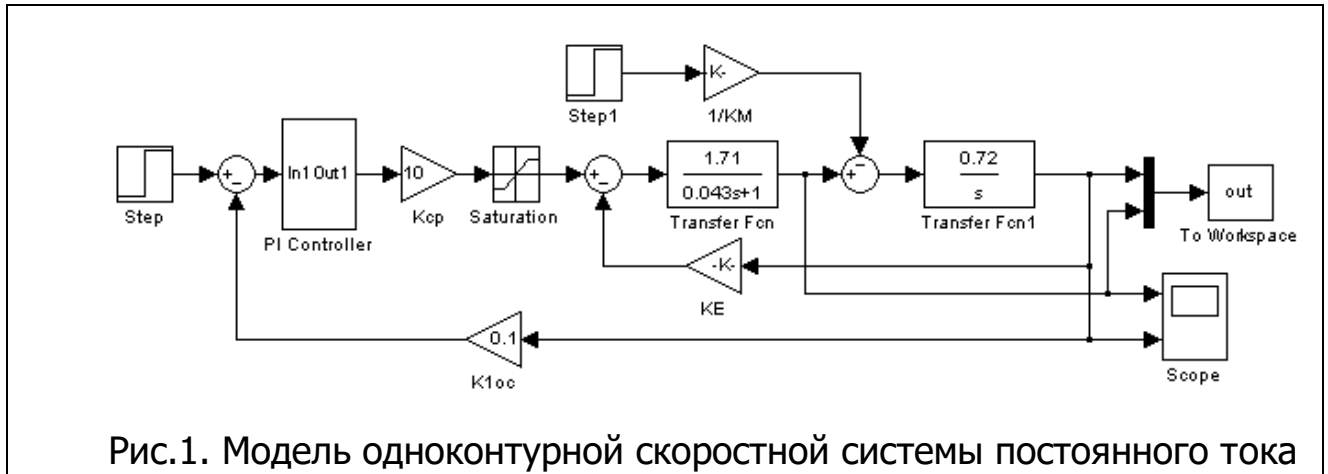


Рис.1. Модель одноконтурной скоростной системы постоянного тока

При  $\kappa_{cp} = 10$ ,  $\kappa_{oc} = 0.1$  параметры регулятора, рассчитанные по уравнению (5) будут равны  $\kappa_{II} = 8.3$ ,  $\kappa_{II} = 3.86$ , а переходные процессы в замкнутом скоростном контуре по току (моменту) и скорости при скачке входного сигнала в момент времени  $t=0$  и скачке возмущающего сигнала (момента на валу ДПТ) в момент времени  $t=0.5c$ . представлены характеристиками на рис.2.

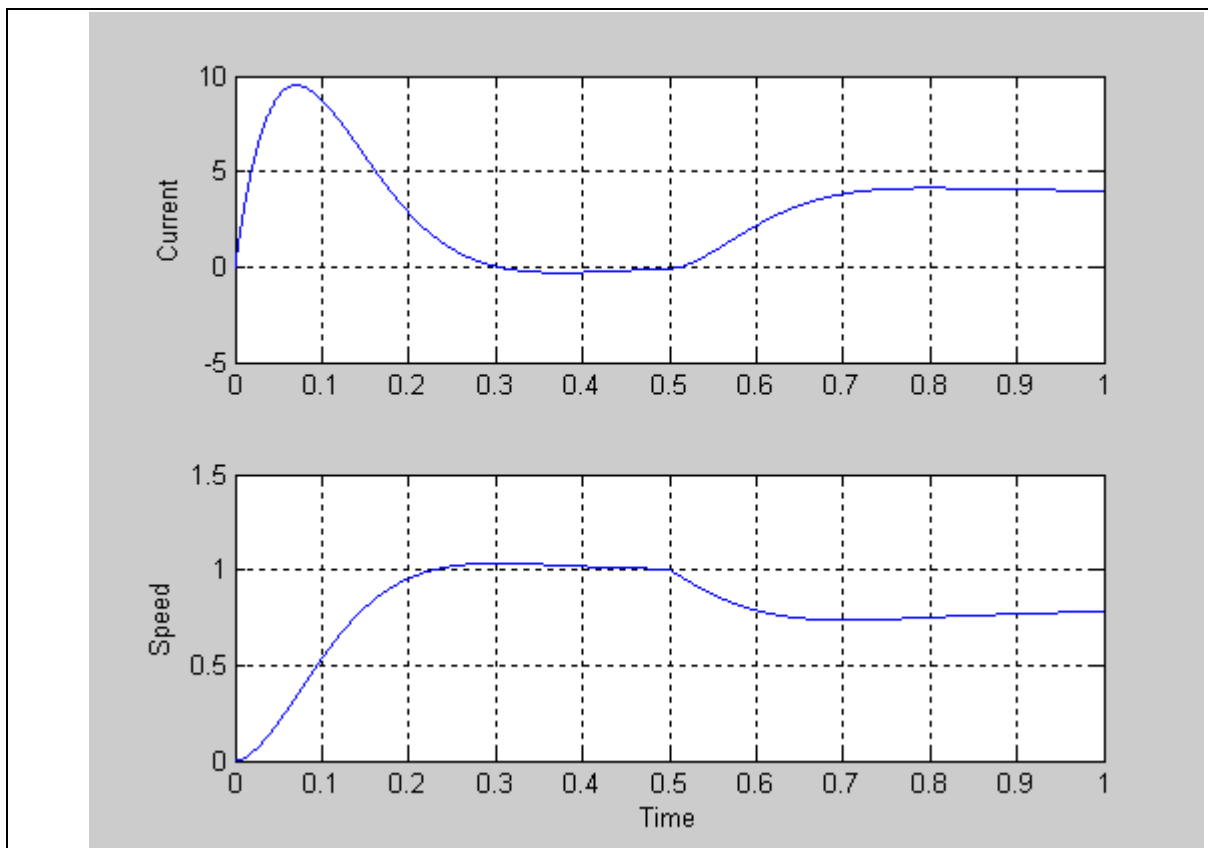


Рис. 3.3.1.2. Переходные процессы в одноконтурной скоростной системе постоянного тока при  $T_2 \gg T_1$

В замкнутой системе процесс по возмущению апериодический при этом постоянная времени компенсации возмущающего сигнала приблизительно равна постоянной  $T_2$  двигателя.

Для проверки правильности расчета параметров регулятора с реальным ШИП следует использовать модели силового регулятора, полученные ранее. На рис. 3 показаны переходные процессы по скорости в замкнутой системе с симметричным и несимметричным ШИП, коэффициент усиления которых приняты равными  $k_{cp} = 10$  т.е. такими же, как в непрерывной модели рис. 2.

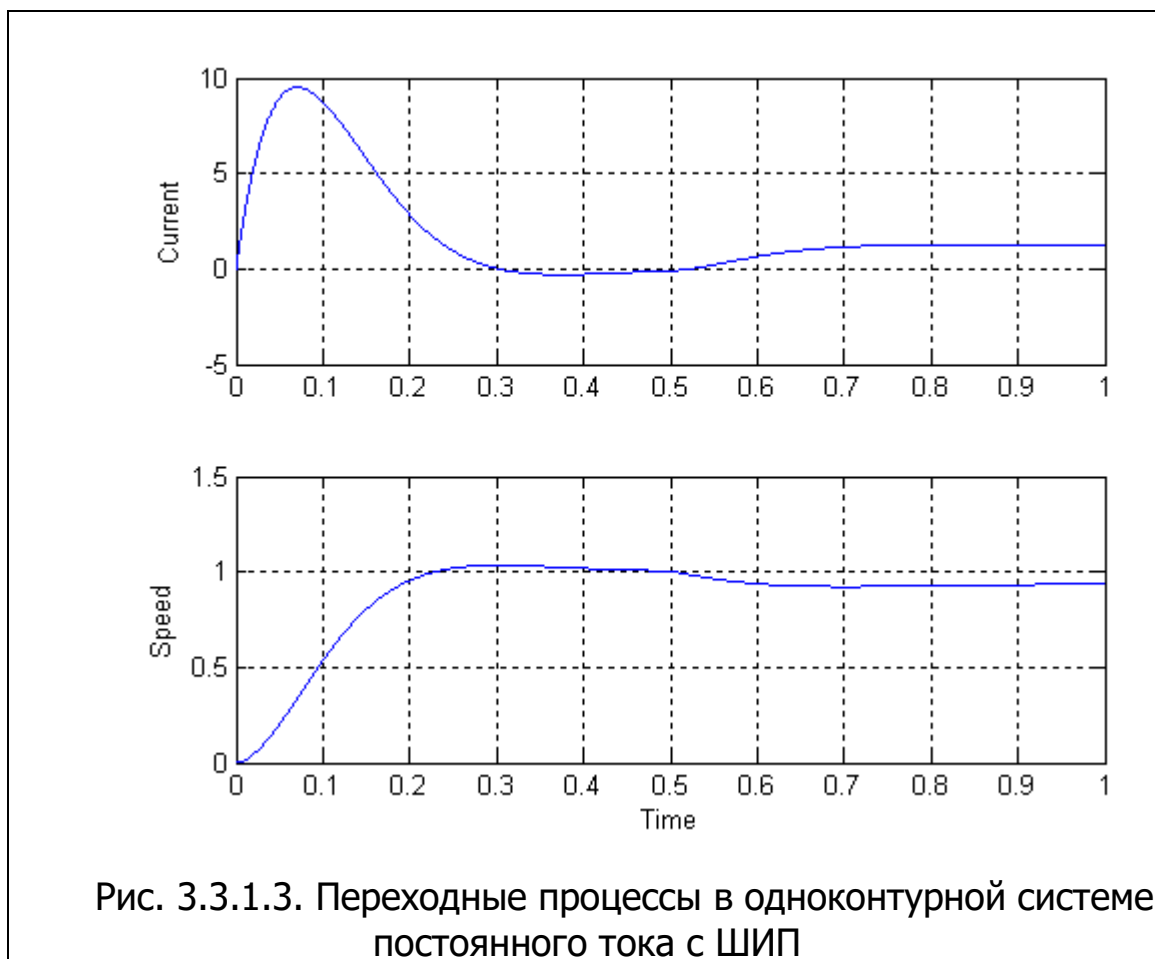


Рис. 3.3.1.3. Переходные процессы в одноконтурной системе постоянного тока с ШИП

Сравнение результатов моделирования непрерывной модели с безинерционным силовым регулятором и модели с "реальным" ШИП свидетельствует о достаточно хорошем совпадении этих результатов.

Поэтому, во многих практических случаях можно строить одноконтурную систему постоянного тока, считая ШИП безинерционным динамическим звеном.

При значительной величине входного сигнала в силовом преобразователе происходит ограничение напряжения, связанное с конечной величиной питания ( в данном случае  $U_{II} = 110B$ ). Переходные процессы по управлению и возмущению ( в «большом») для этого режима работы системы показаны на рис. 3.3.1.4.

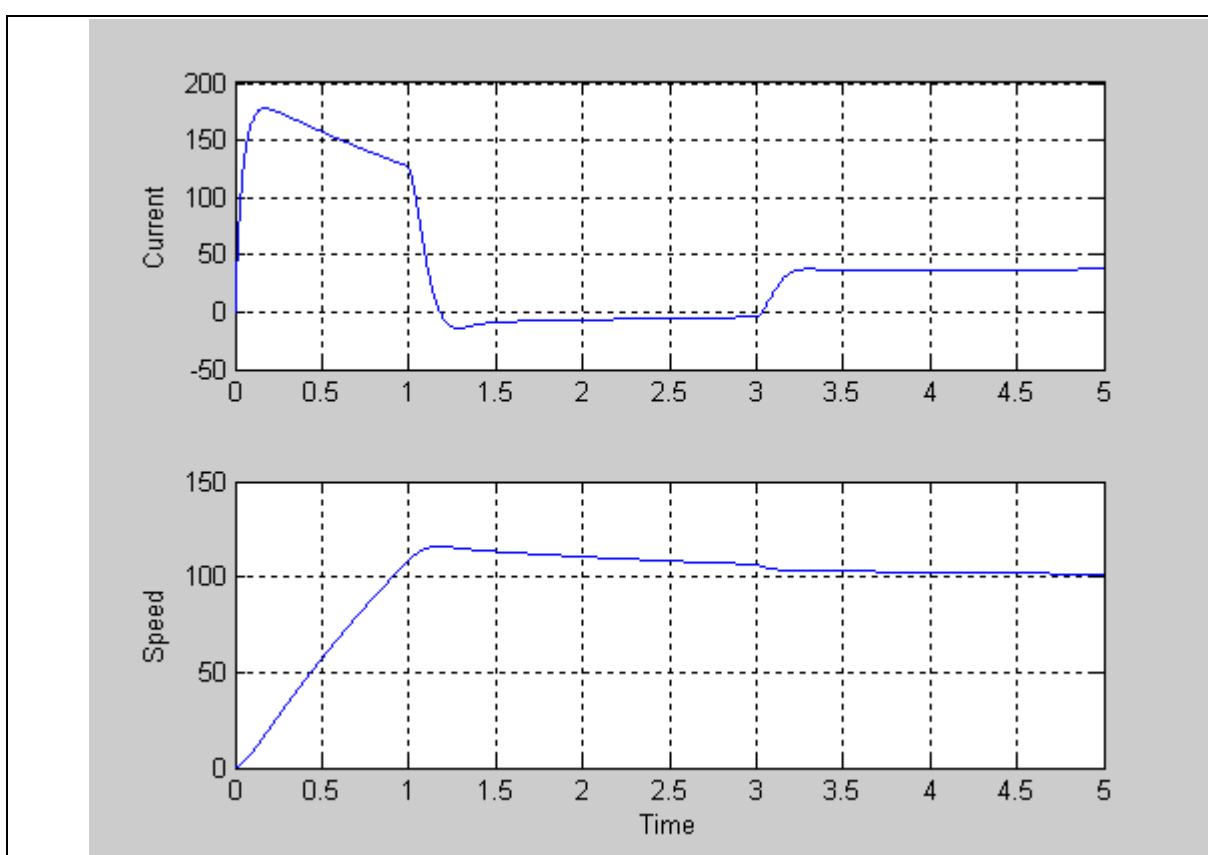


Рис. 3.3.1.4. Переходные процессы в одноконтурной скоростной системе постоянного тока «в большом»

При анализе нелинейной системы важно убедиться в ее устойчивости. Поэтому вывод о том, что система остается устойчивой в «большом» можно считать достаточным при исследовании. При нарастании скорости на интервале от 0 до 1.0 с. в осциллограмме тока явно прослеживается влияние противоэдс.



#### 4. Спецификация на приборы и средства авто- матики с указанием их стоимости

Спецификация на приборы и средства автоматики с указанием их стоимости в ценах на март 2002 года приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Спецификация на приборы и средства автоматики**

№	Наименование прибора	Цена, EUR О без НДС	Кол-во на объекте	Стоимость по объекту, EURO без НДС	Фирма-изготовитель
1.	Регулятор температуры на систему вентиляции ECLComfort-300 в комплекте:				Данфосс
	1.1. Датчик температуры воздуха в помещении (S2) типа ESM-10	42			

	1.2. Датчик температуры наружного воздуха (S1) типа ESM-10	42			
	1.3. Датчик температуры теплоносителя (S3) типа ESM-11	42	2		
	1.4. Датчик температуры обратной воды в схеме обвязки калориферов (S4) типа ESMU	69	2		
	1.5. Регулятор ECL 300 с картой C-14	343 36			
	1.6. Регулирующий клапан 2-х ходовой VB-2 фланцевый. T <sub>max</sub> =120°C, P <sub>y</sub> =16 бар. Ду=15 мм, Kvs=2,5 м <sup>3</sup> /ч.	225			
	1.7. Электропривод AMV-13 с возвратной пружиной для клапана VB-2, диаметр управляемого клапана 15-25 мм.	351			
ИТОГО:		1150	1	1150	
2	Термометр для измерения температуры воздуха биметаллический - 50...+50, ТБ-1	20,7	2	41.	АРК Энергосервис
3.	Манометр для измерения давления теплоносителя класс точности 1,6; 1/2"; 100 мм, 16 бар	13,9 8	6	83,88	WIKА, Германия; (Термия)
4.	Термометр для изме-	22	4		Тесофи;

	рения температуры теплоносителя спиртовой в оправе, ТВ 1100			88	Франция (Термия)
5.	Подобранная пара термопреобразователей типа ТПТ-Н 500 П для дистанционного измерения температуры теплоносителя	32,1	1	32,1	Теплоком
6.	Датчик давления ПДИ-1 для дистанционного измерения давления теплоносителя	66	2	132	Теплоком
7.	Датчик температуры для дистанционного измерения температуры воздуха типа ТПТ	14,3	1	34	Теплоком
8.	Микропроцессорный показывающий и регистрирующий прибор ТЕХНОГРАФ-100 с шестью каналами измерения от датчиков температуры и давления с цифровой индикацией на табло	1 274	1	1 274	Теплоприбор

## 5. Расчет экономической эффективности установки приборов и средств автоматизации

Экономическую эффективность автоматизации тепловых пунктов определяют технико-экономическим сопоставлением различных проектных решений. При этом сравнивают капитальные и эксплуатационные расходы, сроки монтажа и эксплуатации систем. Рассчитывают

также срок окупаемости капитальных вложений за счет уменьшения эксплуатационных расходов и соотносят его с нормативным значением. Обычно для стимулирования энергосберегающих мероприятий устанавливают срок окупаемости не выше 12...12,5 лет. Факторы, влияющие на энергосбережение от использования автоматизированных систем, – многогранны. На сегодняшний день отсутствуют полноценные отечественные методики их всестороннего учета, а имеющиеся – разобщены. Причиной является тот факт, что владельца здания (помещения), в первую очередь, интересуют реально ощутимые доходы, полученные от применения энергосберегающих мероприятий, в то время как, эти мероприятия имеют государственное и глобальное планетарное значение. В любом случае, основным фактором выступает экономия топливозаэнергетических ресурсов при обеспечении теплового комфорта в помещении. Одна из методик определения энергосбережения системами отопления здания с различной степенью автоматизации теплового пункта представлена в VDI 3808. В ней дана оценка энергосберегающих мероприятий по экономии теплопотребления вследствие ручного либо автоматического временного понижения (ночного, выходного дня) температуры помещения, недопущения избыточных теплопритоков, поддержания температурных условий в помещении. Суммарное влияние регулировочно-технического оснащения системы отопления и теплового пункта отражено коэффициентом сокращения теплопотребления вследствие поддержания требуемых температурных условий в помещении

$$r_R = \frac{t_{R2} - t_Z}{t_{R1} - t_Z}, \quad (5.1)$$

где  $t$  – заданная температура здания, равная нормируемой температуре основных помещений от 17 °С до 23 °С;  $t_Z$  – средняя темпера-

тура наружного воздуха за отопительный период, °С;  $f_{R1}$  и  $f_{R2}$  – коэффициент качества регулировочно-технического оснащения системы соответственно для базового и применяемого варианта проектных решений (табл. 5.1).

Ориентировочные значения коэффициента качества  $f_R$   
по VDI 2067 Blatt 2

Таблица 5.1

Регулировочно-техническое оснащение	Коэффициент $f_R$
1. Ручное регулирование с незначительным вмешательством пользователя	1,13
2. Ручное регулирование при частом вмешательстве пользователя	1,10
3. Ручное регулирование и термостатические клапаны	1,08
4. Регулирование по погодным условиям без применения терморегуляторов	1,06
5. Комнатный терморегулятор, управляющий насосом, и терморегуляторы	1,06
6. Регулирование температуры подаваемого теплоносителя с адаптацией кривой отопления по погодным условиям и/или условиям помещения	1,05
7. Регулирование температуры подаваемого теплоносителя и терморегуляторы	1,03
8. Регулирование температуры подаваемого теплоносителя с адаптацией кривой отопления по погодным условиям и/или условиям помещения и терморегуляторы	1,02
9. Центральное непрерывное регулирование температуры в помещении и терморегуляторы (односемейный дом)	1,02
10. Два либо больше уровней регулирования по внешним условиям <ul style="list-style-type: none"> <li>• без адаптации кривой отопления</li> <li>• с адаптацией кривой отопления</li> </ul> и разделом управления по сторонам света (применяемого независимо от расположения солнца), с терморегуляторами либо с зональным регулированием отдельных помещений	1,015 1,010

При расчете коэффициента снижения теплотребления по уравнению (5.1) в качестве базового варианта сравнения проектных решений принимают ручное регулирование с незначительным вмешательством пользователя.

Необходимо определить снижение теплотребления здания при модернизации теплового пункта путем установки регулятора подачи теплоносителя по погодным условиям. Система отопления без терморегуляторов на отопительных приборах. Температура здания принята  $t$

= 18 °С (в соответствии с бывшими нормами, до введения изменения).  
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период –  $t_Z$   
= 1,4 °.

За базовый вариант принимают систему отопления с тепловым пунктом при незначительном вмешательстве пользователя и ручном регулировании –  $fR1 = 1,13$  (позиция 1 табл. 5.1). Проектируемый вариант – система отопления без терморегуляторов (при незначительном вмешательстве пользователя и ручном регулировании) и тепловым пунктом с регулятором температуры подаваемого теплоносителя по погодным условиям –  $fR2 = 1,05$  (позиция 6 табл. 5.1). Тогда по уравнению (5.1)

$$r_R = \frac{18 \times 1,05 - 1,4}{18 \times 1,13 - 1,4} = 0,924.$$

Снижение теплотребления составит

$$(1 - 0,924) \times 100 = 7,6 \%$$

Дополнительный эффект, вносимый увеличением уровней автоматического регулирования, определяют сравнением вариантов проектных решений с различной степенью автоматизации.

Аналогичный подход, адаптированный к местным условиям, представлен в "Методике расчета удельного энергопотребления на отопление здания в течение отопительного периода". Сокращение требуемой теплоты достигают за счет восприятия теплопоступлений (бытовых, от солнечной радиации) сенсорами автоматического оборудования и адекватного воздействия регулируемыми клапанами на тепловую мощность системы отопления. Степень восприятия теплопоступлений оценивают коэффициентом эффективности авторегулирования подачи теплоты в систему отопления  $\zeta$  (табл. 5.2). Чем выше восприятие системой отопления внешних и внутренних теплопоступ-

лений, тем больше значение этого коэффициента, и, следовательно, значительнее энергосберегающий эффект.

Таблица 5.2 Коэффициент эффективности авторегулирования

Регулировочно-техническое оснащение	Коэффициент $\zeta$
1. Однотрубная система с терморегуляторами и с пофасадным авторегулированием на вводе или поквартирной горизонтальной разводкой	1,00
2. Двухтрубная система отопления с терморегуляторами и с центральным авторегулированием на вводе	0,95
3. Однотрубная система с терморегуляторами и с центральным авторегулированием на вводе или однотрубная система без терморегуляторов и с пофасадным авторегулированием на вводе	0,90
4. Однотрубная система с терморегуляторами и без авторегулирования на вводе	0,85
5. Система без терморегуляторов и с центральным авторегулированием на вводе	0,70
6. Система без терморегуляторов и без авторегулирования на вводе, но с центральным регулированием в ЦТП или котельной	0,50

Представленные выше методики определения энергоэффективности применения автоматизации абонентских вводов являются не комплексными, т. к. основаны на рассмотрении системы отопления, которая отделена от других инженерных систем здания и их энергетического взаимодействия. Кроме того, например, в, недостаточно обоснована трансформация показателей энергоэффективности двухтрубных систем отопления в однотрубные. Современный подход, реализуемый в странах европейского сообщества, основан на совместном рассмотрении систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и электроснабжения с учетом их конструктивных особенностей, взаимосвязи, а также удельных теплотерь здания и его полезной отапливаемой площади. Причем данный подход дает оценку всем звеньям цепи трансформации энергии: от источника энергии до потребителя. Такой подход определяет энергосберегающий и экологический эффекты принимаемых технических решений у энергогенерирующей компании и

у потребителя как на стадии проектирования, так и при аудите существующих зданий.

Наиболее истинные данные по энергосбережению получают мониторингом городов, микрорайонов, объектов. Особенно ярко выражен этот эффект при модернизации зданий. Тогда появляются базовые показатели, с которыми сравнивают достигнутые результаты.

Поучителен опыт получен при термомодернизации зданий. В течение десятка лет под наблюдением находилось примерно 150 многоквартирных и 200 односемейных зданий общей жилой площадью 600 тыс. м<sup>2</sup>. До 2005 г. в этих зданиях установлено 128 компактных автоматизированных тепловых пунктов с регуляторами по погодным условиям и заменены для 15 зданий центральные тепловые пункты с большей эффективностью. Кроме того,

- установлено 37000 терморегуляторов на отопительных приборах;
- установлено 9820 клапанов на стояках, что автоматизировало балансировку систем отопления примерно в 90 % зданий;
- установлено тепломеров в 98 % квартир;
- установлено 3000 терморегуляторов на циркуляционных трубопроводах систем горячего водоснабжения;
- утеплено 332052 м<sup>2</sup> наружных стен, что составляет около 96,9 % зданий, построенных до 1992 г.; в 2005 г. дополнительно утеплено еще 86000 м<sup>2</sup>;
- утеплено 79180 м<sup>2</sup> крыш, что составляет около 50% зданий, построенных до 1992 г.;
- заменено стеклопакетами 10700 окон в квартирах;
- заменено стеклопакетами окна на лестничных клетках многоквартирных зданий.



За счет предпринятых мероприятий эффект энергосбережения составил: на отопление зданий – 58,6 %; на горячее водоснабжение – 52,1 %. При этом стоимость тепловой энергии за рассматриваемый период возросла на 55,3 %, что отразилось на изменении стоимости коммунальных услуг: за отопление – уменьшилась на 16 %; за горячее водоснабжение увеличилась на 16 %. Таким образом, термомодернизация здания с комплексной автоматизацией его инженерных систем приносит ощутимый экономический эффект, заключающийся в 50 % снижении потребления тепловой энергии. Оцененный период возврата инвестиций составляет 3,8 года.

При адаптации европейского опыта в энергосбережении и методик его оценки к условиям Украины необходимо учитывать то, что по сравнению с нашими зданиями европейские здания отличаются следующим:

- в несколько раз лучшей теплозащищенностью ограждающих конструкций и, следовательно, меньшим тепlopоступлением от солнечной радиации;
- оснащенностью системами горячего водоснабжения с меньшим в три раза водопотреблением и, следовательно, меньшим тепlopоступлением от этих систем;
- применением бытовой техники с более высоким КПД и, следовательно, меньшим тепlopоступлением от нее;
- использованием кухни в значительно меньшей степени и, следовательно, меньшим тепlopоступлением.

У наших зданий также иная пропорция между бытовыми тепlopоступлениями и тепlopотерями, иной способ теплоснабжения, характеризующийся большой инерционностью...Поэтому энергосберегающий

эффект от применения автоматизации инженерных систем зданий у нас несколько выше, несмотря на то, что мы постепенно приближаемся к европейским показателям: по утеплению зданий, автоматизации инженерных систем и оснащению качественным бытовым оборудованием. Так, экономический эффект лишь от модернизации тепловых пунктов в 2000 г. школ г. Днепродзержинска превысил все ожидания (табл. 5.3). Это свидетельствует о значительной экономической выгоде автоматизации тепловых пунктов и учета теплотребления не только во вновь возводимых, но и в существующих зданиях.

Таблица 5.3 *Экономический эффект от модернизации тепловых пунктов*

Объект	Экономия денежных средств на отопление					
	Январь		Февраль		Март	
	%	Грн.	%	Грн.	%	Грн.
Школа № 21	34,5	7967	35,8	6748	50,2	7742
Школа № 29	26,8	5139	21,7	3350	16,5	2050
Школа № 30	40,3	8844	38,3	6780	36,3	5174
Школа № 40	32,8	7782	27,8	5255	20,6	3080

При модернизации тепловых пунктов школ применено минимальное автоматическое оснащение: заменен элеватор на насос, установлен регулятор теплового потока и тепломер. Регулирование теплотребления осуществлено по погодным условиям и по времени суток. Основным экономический эффект получен, прежде всего, за счет несоответствия расчетного теплотребления, по которому ранее осуществлялась оплата, фактическому. Это несоответствие представлено в процентном отношении, а разница в оплате расчетного и фактического теплотребления – в денежном выражении (табл. 5.3).

Расчетное теплотребление определено по утвержденным методикам, исходя из удельных затрат тепловой энергии на 1 м<sup>2</sup> отапливаемой площади. Фактическое – регистрировалось тепломерами. Полученные данные показывают, что окупаемость затрат на модерниза-

цию теплового пункта составляет не более одного отопительного периода, поскольку затраты составляли примерно 12000 грн. Целесообразность модернизации теплового пункта для отечественного потребителя состоит не только в автоматизации абонентского ввода, но и в фактическом учете теплопотребления.

Чем выше автоматическое регулировочно техническое оснащение теплового пункта, тем выше экономический эффект.

Термомодернизация зданий, включающая комплексную автоматизацию инженерных систем и теплоизоляцию ограждающих конструкций здания, приводит к примерно 50 % экономии тепловой энергии и сохранению коммунальных платежей на прежнем уровне при росте стоимости тепловой энергии примерно на 50 %.

### **Библиографический список по системам вентиляции и кондиционирования воздуха**

16. ГОСТ 21.404-85 «Приборы и средства автоматизации. Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов»
17. Калмаков А.А., Кувшинов Ю.Я. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции.-М.: Стройиздат, 1986.-479 с.
18. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция, кондиционирование» / Госстрой СССР .-М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.-64 с.
19. СНиП 2.04.07-86 «Тепловые сети»
20. СНиП II-35-76 «Котельные установки»
21. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов
22. СНиП 2.04.08-87 Газоснабжение.-М.: ГП ЦПП,1996.-68 с.
23. Правила учета тепловой энергии
24. Каталоги фирмы «Danfoss».
25. Каталоги фирмы «Взлет».

26. Каталоги фирмы «Логика».
27. Каталоги фирмы «Теплоком».
28. Каталоги фирмы «Теплоавтоматика».
29. Каталоги фирмы «Овен».
30. Автоматизация и управление процессами теплоснабжения и вентиляции. Задания к контрольной работе для студентов специальности 290700 «Теплогазоснабжение и вентиляция» заочной и заочной ускоренной форм обучения на базе среднего специального профессионального образования на 2003-2004 учебный год.
31. Аналитическая справка./Информприбор.
32. Смирнов Ю.А., Панков В.Н. Практикум автоматизации систем жилищно-коммунального хозяйства . – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2016. – 202 с. (Учебники и учебные пособия для студентов СПО и ВПО).
33. Пырков В.В. «Современные тепловые пункты; Автоматика и регулирование».