

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Кузбасский государственный технический университет  
Кафедра электропривода и автоматизации

А.Е.МЕДВЕДЕВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ.  
КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Учебно-методическое пособие для студентов  
специальности 140604 “Электропривод  
и автоматика промышленных установок  
и технологических комплексов”

Утверждено на заседании кафедры  
Протокол №     от

Рекомендовано к печати учебно-  
методической комиссией по  
специальности 140604  
Протокол №     от

Электронная копия находится в  
библиотеке главного корпуса  
КузГТУ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Содержание курсового проекта.....	4
Раздел 1. Техническое задание на проектирование.....	7
1.1. Технологическая схема и задачи автоматизации объек- та.....	7
1.2. Технические требования к проектируемой системе автома- тизации.....	9
Раздел 2. Разработка функциональной структуры системы автоматиза- ции.....	14
2.1. Общие положения.....	14
2.2. ФСА объекта на базе программируемых контроллеров и персональных компьютеров.....	14
2.3. Выбор технических средств автоматизации объекта.....	18
Раздел 3. Автоматическое регулирование технологических параметров объекта.....	24
3.1. Общие положения.....	24
3.2. Расчет одноконтурной САР.....	27
3.2.1. Структура объекта и исходные данные для расчета.....	28
3.2.2. Расчет параметров настройки регулятора с помощью системы <i>IPC CAD</i> .....	32
3.2.3. Анализ качества регулирования.....	36
Раздел 4. Алгоритмическое и программное обеспечение систе- мы.....	43
4.1. Общие положения.....	43
4.2. Примеры алгоритмов и программ работы ПЛК.....	44
4.2.1. Алгоритм и программа автоматической защиты и сигнала- лизации по давлению в технологическом аппарате.....	44
4.2.2. Программа работы контроллера для реализации функ- ции дистанционного управления.....	46
4.2.3. Программа работы контроллера для реализации функ- ции автоматического регулирования технологического пара- метра.....	46
Раздел 5. Разработка электрических схем системы автоматиза- ции.....	54
5.1. Принципиальные электрические схемы.....	54
5.2. Схемы электрических соединений и подключения.....	55
5.3. Примеры электрических схем.....	56
Раздел 6. Расчет надежности системы автоматизации.....	61
6.1. Общие положения.....	61

6.2. Пример расчета надежности.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Правила работы с системой <i>IPC-CAD</i> .....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Правила работы с одноконтурной <i>CAP</i> .....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Работа в системе программирования <i>CoDeSys</i> .....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Пример программирования контроллера ОВЕН ПЛК.....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Показатели надежности технических средств авто- матизации.....	97
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Правила оформления пояснительной записки кур- сового проекта.....	100
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Список рекомендуемой литературы.....	109

## СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Цель выполнения курсового проекта (КП) по дисциплине “Автоматизация производственных процессов” заключается в получении студентами навыков проектирования систем автоматизации промышленных установок и технологических комплексов, а также в закреплении и расширении их знаний в области автоматизации промышленного производства.

Курсовой проект по дисциплине “Автоматизация производственных процессов” выполняется по теме “Разработка системы автоматизации технологического объекта”.

Технологические объекты в промышленном производстве весьма разнообразны. Это может быть как отдельная технологическая машина (аппарат), агрегат, или установка, так и комплекс технологического оборудования, реализующий некоторый завершённый технологический процесс.

Технологический объект и задачи его автоматизации для каждого КП определяются руководителем проекта при выдаче задания на проектирование. Студент может также самостоятельно, используя материалы производственной практики, предложить технологический объект автоматизации и по согласованию с руководителем проекта сформировать техническое задание на проектирование системы автоматизации.

Объём пояснительной записки (ПЗ) проекта составляет 50-60 страниц формата А4 текста с иллюстрациями. ПЗ проекта должна содержать материалы, располагаемые в следующей последовательности:

- Титульный лист курсового проекта;
- Оглавление;
- Введение;
- Разделы 1...6;
- Заключение;
- Список литературы;
- Приложения (если они будут в проекте).

Правила оформления пояснительной записки КП изложены в Приложении 6.

В ПЗ курсового проекта должны быть представлены следующие разделы и подразделы:

Раздел 1. Техническое задание на проектирование

1.1. Технологическая схема и задачи автоматизации объекта

1.2. Технические требования к проектируемой системе автоматизации

Раздел 2. Разработка функциональной структуры системы автоматизации

2.1. Функциональная схема автоматизации объекта на базе программируемых контроллеров и персональных компьютеров

2.2. Выбор технических средств автоматизации объекта

Раздел 3. Автоматическое регулирование технологических параметров объекта

3.1. Структура объекта и исходные данные для расчета САР технологического параметра

3.2. Расчет параметров настройки регулятора

3.3. Анализ качества регулирования

Раздел 4. Алгоритмическое и программное обеспечение системы

4.1. Алгоритм и программа работы контроллера для реализации функций автоматической защиты и сигнализации в системе

4.2. Программа работы контроллера для реализации функции дистанционного управления в системе

4.3. Программа работы контроллера для реализации функции автоматического регулирования технологического параметра

Раздел 5. Разработка электрических схем системы автоматизации

5.1. Принципиальные электрические схемы

5.2. Схемы электрических соединений и подключения

Раздел 6. Расчет надежности системы автоматизации

6.1. Функциональная структура и логическая схема расчета надежности

6.2. Расчет показателей безотказности системы

Список литературы, рекомендуемый студентам к использованию при разработке схем и программного обеспечения системы автоматизации, выборе технических средств для ее реализации, а

также при выполнении расчетов надежности и САР технологических параметров, приведен в Приложении 7.

Далее рассматриваются принципы и примеры выполнения разделов 1-6 курсового проекта.

## **Раздел 1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Техническое задание (ТЗ) является основой (исходными данными) для выполнения последующих разделов курсового проекта. Для объекта, заданного руководителем или выбранного самостоятельно студентом, в ТЗ включаются технологическая схема, задачи автоматизации объекта и технические требования к проектируемой системе автоматизации.

### **1.1. Технологическая схема и задачи автоматизации объекта**

В этом подразделе представляется упрощенная функциональная схема автоматизации объекта, содержащая технологическую часть, функциональные узлы системы управления и параметры контролируемые, регистрируемые и регулируемые с указанием их номинальных значений, а также приводится перечень задач автоматизации (задачи автоматического контроля, регулирования, управления, защиты и сигнализации), которые должны быть решены в процессе проектирования системы автоматизации.

В качестве примера формирования п.1.1 ниже приведены технологическая схема и перечень заданных задач автоматизации для парового котла.

Цель управления - получение пара с заданными параметрами - давлением, температурой и др. при экономичном сжигании топлива (горючего газа). На рис. 1.1 представлен фрагмент системы автоматизации парового котла в виде упрощенной функциональной схемы. В качестве задач автоматизации котла в рассматриваемом варианте системы приняты следующие:

1. Автоматическое регулирование (стабилизация) следующих параметров работы котла:

- Уровня воды в барабане котла ( $L_{\text{ном}}=0,5\text{м}$ );
- Давления пара в котле ( $P_{\text{ном}}=0,6\text{мПа}$ ).

2. Автоматический контроль:

- Уровня воды в барабане котла;
- Давления пара в котле;

- Тока электродвигателя насоса ( $I_{\text{ном}}=60\text{A}$ ).

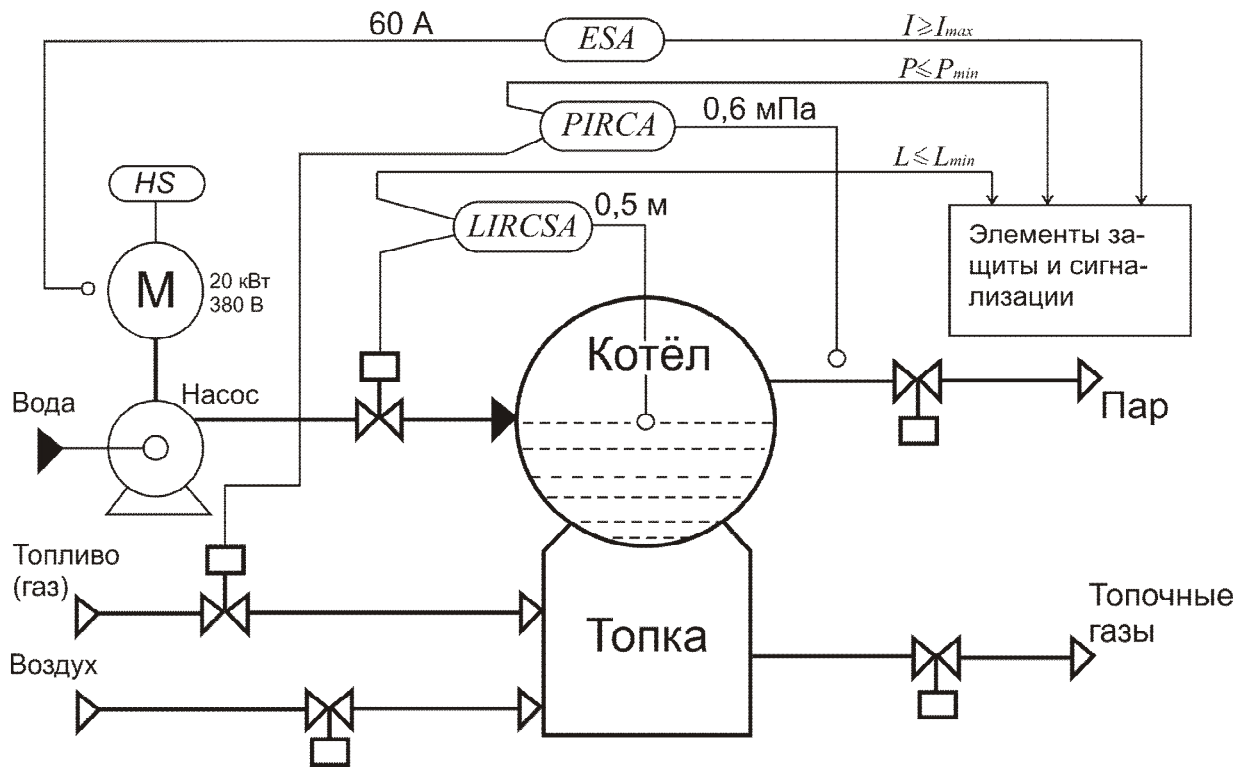


Рис. 1.1. Система автоматизации парового котла (фрагмент):

*HS* – узел дистанционного управления насосом; *LIRCSA* – узел индикации, регистрации, регулирования, защиты и сигнализации по уровню воды в барабане котла; *PIRCA* – узел индикации, регистрации, регулирования и сигнализации по давлению пара в котле; *ESA* – узел защиты и сигнализации по нагрузке (току) электродвигателя насоса

### 3. Автоматическая защита:

- Электродвигателя насоса путем его отключения при токе  $I \geq I_{\text{max}}$  (максимальная токовая защита);
- Котла по уровню воды в нем путем прекращения подачи горючего газа в топку при достижении минимально допустимого уровня  $L \leq L_{\text{min}}$  (защита котла от опорожнения).

### 4. Автоматическая сигнализация:

- Предупредительная о пониженном и аварийная о минимальном уровнях воды в котле;
- Предупредительная о снижении давления пара до заданного минимума;



- Аварийная об отключении насоса - о срабатывании максимальной токовой защиты;
- О состоянии насоса “Включен”/”Выключен”.

5. Дистанционное управление электродвигателем насоса с пульта оператора или автоматизированного рабочего места (АРМ).

## 1.2. Технические требования к проектируемой системе автоматизации

Система автоматизации объекта рассматривается как совокупность подсистем (систем) автоматического регулирования (САР), контроля (САК), защиты (САЗ), сигнализации (САС) и дистанционного управления (СДУ) объектом по команде оператора. Требования к проектируемым локальным системам оператора САР, САК, САЗ и САС оформляются в виде таблиц 1.1÷1.4 (в этих таблицах показаны примеры их заполнения), а для СДУ требования записываются текстом.

Правила заполнения таблиц требований к проектируемой СА:

1. Для САР (табл. 1.1):

- Заданное значение (уставка) регулируемой величины:

$$Y_{\text{здн}} = Y_{\text{ном}} ,$$

где  $Y_{\text{ном}}$  – номинальное значение регулируемой величины

- Допустимые значения статической и динамической ошибок регулирования:

$$Y_{\text{стат}}^{\partial} = (0,05 \div 0,1) Y_{\text{ном}} ,$$

$$Y_{\text{дин}}^{\partial} = (3 \div 4) Y_{\text{стат}}^{\partial} .$$

- Время регулирования:

принимается в диапазоне  $t_p^{\partial} = (10 \div 100)$  сек

- Перерегулирование, %:

принимается  $\gamma^{\partial} = 30\%$ .

2. Для САК (табл. 1.2):

- Диапазон измерения для  $i$ -го параметра, абс. ед.:

$$D_{Y_i} = (0,6 \div 1,4) Y_{\text{ном } i};$$

- Точность измерения, абс. ед.:

$$\Delta Y_i = (0,01 - 0,03) Y_{\text{ном } i};$$

Отображение информации (форма и способ):

Цифровая индикация на экране монитора и регистрация на персональном компьютере;

- Характеристики (рекомендуемые):
  - Температура  $t_{\text{ср}}^0 = (10 \div 40)^\circ\text{C}$ ;
  - Влажность  $W_{\text{ср}} = \text{до } 85\% \text{ и т.д.}$ ;
  - Вибрации: амплитуда  $A_{\text{в}} = (0 \div 0,1) \text{ мм}$ ,  
частота  $f_{\text{в}} = (0 \div 5) \text{ Гц}$ .

3. Для САС (табл. 1.3):

- Уставка включения предупредительной сигнализации по  $i$ -му параметру (столбец 2):

$$Y_{\text{сиг } i}^{\text{пр}} = 1,1 Y_{\text{ном } i} / \text{ или } 0,9 Y_{\text{ном } i} \text{ (для сигнализации по минимуму параметра);}$$

- Уставка включения аварийной сигнализации по  $i$ -му параметру (столбец 3):

$$Y_{\text{сиг } i}^{\text{ав}} = 1,2 Y_{\text{ном } i} / \text{ или } 0,8 Y_{\text{ном } i} \text{ (при аварийной сигнализации по максимуму или минимуму параметра);}$$

- Оперативная сигнализация о состоянии оборудования (столбец 4):

- включен/отключен (например, насос);
- открыт/закрыт (например, клапан) и т.д.

- Вид сигнала (столбец 5):

- звуковой;
- световой с указанием цвета (зеленый, красный и т.п.) на экране ПК;
- текстовое сообщение на экране ПК;

- комбинация звукового и светового сигналов.

- В примечании (столбец 6) отметить вид сигнализации:
  - предупредительная;
  - аварийная;
  - оперативная.

#### 4. Для САЗ (табл. 1.4):

- Уставка срабатывания защиты по  $i$ -му параметру (столбец 3):  
 $Y_{\text{защ } i} = 1,2 Y_{\text{ном } i} /$  или  $0,8 Y_{\text{ном } i}$  (для включения защиты по максимуму или по минимуму параметра). В столбце (3) следует записать для каждой защиты фразу:  
 “Переход (объекта) из состояния ... в состояние ... при  $Y_i \geq$  (или  $\leq$ )  $Y_{\text{защ } i}$ ”;

- В столбце (2) записываются возможные состояния оборудования:

S1 - Пуск (ввод объекта в работу);

S2 - Работа;

S3 - Останов;

S4 - Изменение параметров режима работы объекта и т.п.

#### 5. Для СДУ:

Система дистанционного управления должна обеспечивать «Включение/Отключение» объекта (либо его отдельного механизма) по команде оператора с его рабочего места (с панели оператора, компьютера), а также сигнализацию состояния «Включено/Отключено» на экране монитора ПК или панели оператора.

Таблица 1.1

### Требования к САР

Наименование регулируемой величины	$Y_{\text{здн}}$	Допустимые значения показателей качества регулирования				Примечание
		$Y_{\text{стат}}^{\partial}$	$Y_{\text{дин}}^{\partial}$	$t_p^{\partial}$	$\gamma^{\partial}$	
1	2	3	4	5	6	7
1. Давление пара $P$ 2. ...	1 МПа	0,1 МПа	0,3 МПа	90с	30%	-

Таблица 1.2

## Требования к САК

Наименование контролируемой величины	Диапазон измерения $D_Y$ , абс.ед.	Точность измерения $\Delta Y$ , абс. ед.	Отображение информации	Примечание (характеристика среды функционирования)
1	2	3	4	5
1. Давление пара ( $P_{\text{ном}}=1\text{МПа}$ )  2. ...	0,6÷1,4МПа	0,02МПа	Цифровая индикация и график $P(t)$ на дисплее	Температура $t_{\text{ср}}^{\circ}=10-30^{\circ}\text{C}$ ; Влажность $W_{\text{ср}}\leq 80\%$ ; Вибрации: $A_{\text{в}}=0,1\text{мм}$ $f_{\text{в}}=5\text{Гц}$

Таблица 1.3

## Требования к САС

Наименование сигнализации	Значение переменной, при которой появляется сигнал, абс. ед.		Оперативная сигнализация о состоянии оборудования, при котором появляется сигнал	Вид сигнала	Примечание (вид сигнализации)
	$Y_{\text{сиг}}^{\text{пр}}$	$Y_{\text{сиг}}^{\text{ав}}$			
1	2	3	4	5	6
1. Перегрев подшипников насосного агрегата (НА)	$t_{\text{пр}}^{\circ}=110^{\circ}\text{C}$		-	Желтый световой и звуковой сигналы	Предупредительная
		$t_{\text{ав}}^{\circ}=120^{\circ}\text{C}$	-	Красный мигающий световой и звуковой сигналы	Аварийная
2. Состояние	-	-	НА включен	Световой	Оперативная о ра-

НА				зеленый	боте НА
3. ...					

Таблица 1.4

## Требования к САЗ

Наименование защиты	Перечень возможных состояний оборудования (механизмов, агрегатов и т.д.)	Условия перехода оборудования из одного состояния в другое	Примечание (дополнительные требования к системе)
1	2	3	4
1. Защита НА от: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Перегрева подшипников;</li> <li>• Потери производительности (гидрозащита)</li> </ul> 2. ...	S1-НА отключен S2-Пуск НА S3-Работа в номинальном режиме	Переход из состояния S2, S3 в S1 при $t_{ав}^o \geq 130^{\circ}\text{C}$ , $Q_{ав} \leq 0,75 Q_{ном}$	Наличие аварийной сигнализации о срабатывании защиты

## **Раздел 2. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **2.1. Общие положения**

Функциональная схема автоматизации (ФСА) является важнейшим документом проекта, определяющим состав, функции и технические средства реализации проектируемой системы автоматизации. ФСА разрабатывается на основе технического задания (см. раздел 1), выполняется по принципу двухуровневого распределенного управления с использованием современных технических средств автоматизации: датчиков, исполнительных устройств, программируемых логических контроллеров (ПЛК), управляющих компьютеров. Раздел 2 включает в себя разработки собственно схемы (ФСА) и выбор технических средств для ее реализации.

### **2.2. ФСА объекта на базе программируемых контроллеров и персональных компьютеров**

Функциональная схема автоматизации для технологического объекта выполняется согласно заданным задачам автоматизации по ГОСТам, приведенным в [1]. На схеме в верхней части листа изображают технологическую схему объекта с встроенными датчиками и исполнительными механизмами, а в нижней части - прямоугольники: а) "Приборы по месту" (пусковая аппаратура, измерительные преобразователи, усилители мощности и т.д.); б) "Контроллер ПЛК"; в) "Компьютер оператора". При этом в прямоугольниках "Контроллер ПЛК" и "Компьютер оператора" выделяют суб-прямоугольники выполняемых ими функций, связи между элементами схемы изображают непрерывными линиями, а процесса обработки сигналов программным способом - пунктирными горизонтальными линиями. В этом же подразделе приводится мнемосхема

технологического объекта (экран 1 монитора), на которой показывают также элементы цифровой и световой индикации значений параметров, кнопки дистанционного управления объектом и световые линейки - индикаторы его состояния. Архивная информация представляется в виде графиков изменения контролируемых параметров (экран 2 монитора).

Далее рассматривается пример разработки ФСА для технологического участка (звена) “Насос - технологический аппарат (ТА)”, обеспечивающей решение следующих задач автоматизации:

1. Индикацию и регистрацию давления хладоносителя (воды) в технологическом аппарате;
2. Автоматическое регулирование – стабилизацию в ТА давления хладоносителя на заданном уровне  $P = P_{\text{зад}} = \text{const}$ ;
3. Автоматическую защиту ТА от чрезмерного повышения давления хладоносителя путем открытия клапана аварийного давления при  $P = P_{\text{ав}}$ ;
4. Предупредительную и аварийную сигнализацию по заданным значениям давления хладоносителя, соответственно,  $P = P_{\text{пр}}$  и  $P = P_{\text{ав}}$ ;
5. Сигнализацию состояния насоса Включен/Выключен;
6. Дистанционное управление насосом по командам оператора Включить/Выключить.

ФСА участка “Насос - ТА”, решающая вышеуказанные задачи автоматизации, показана на рис. 2.1.

На схеме вертикальными непрерывными линиями показаны связи между элементами системы, а пунктирными горизонтальными линиями - обработка сигналов в соответствии с алгоритмами контроля, регулирования и управления, реализуемыми программным обеспечением системы автоматизации (программами работы ПЛК и компьютера).

ПЛК выполняет функции локального управляющего устройства. Основное назначение компьютера – создание с помощью SCADA – системы интерфейса “Человек - машина”, обеспечивающего: а) отображение на экране монитора (на мнемосхеме технологического процесса) отображение значений параметров (здесь давления) цифровыми и световыми сигналами; б) задание уставок регулирования, защиты и сигнализации; в) подачу команд дистанци-

онного управления (“Включить”/”Выключить” электродвигатель насоса) и сигнализацию состояния управляемого механизма (здесь насоса); г) регистрацию (архивирование) параметров процесса (здесь давления).

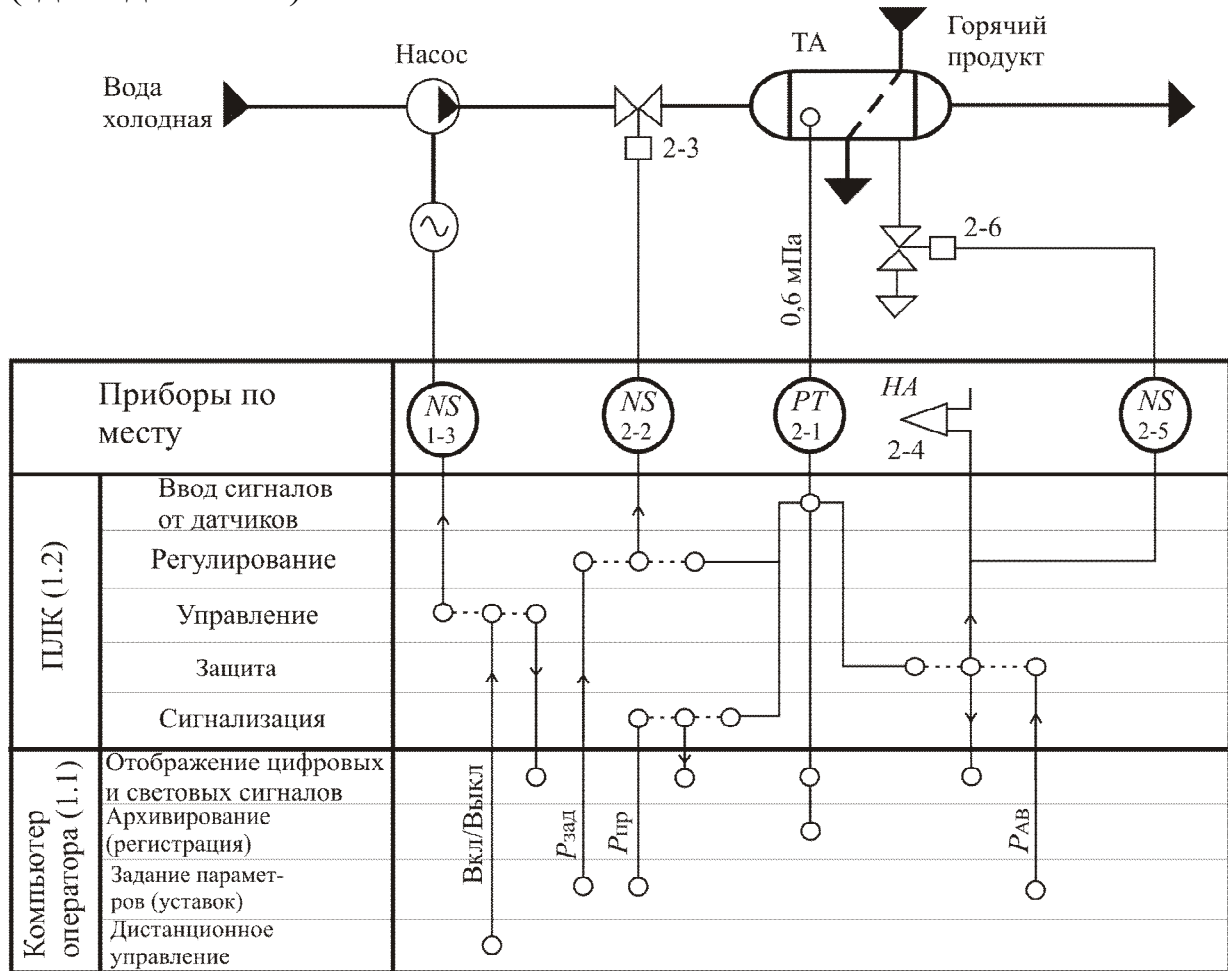


Рис. 2.1. ФСА участка “Насос - ТА”, выполненный на базе применения ПЛК и персонального компьютера (ПК): ТА – технологический аппарат (охладитель горячего продукта);  $P_{\text{зад}}$ ,  $P_{\text{пр}}$ ,  $P_{\text{ав}}$  – уставки, соответственно для регулирования, предупредительной и аварийной сигнализации и защиты ТА по давлению хладоносителя в ТА

На рис. 2.2 представлен вариант мнемосхемы технологического участка (экран 1 монитора), на котором показаны элементы цифровой и световой индикации значений давления, кнопки дистанционного управления насосом и световые линейки индикатора его состояния.



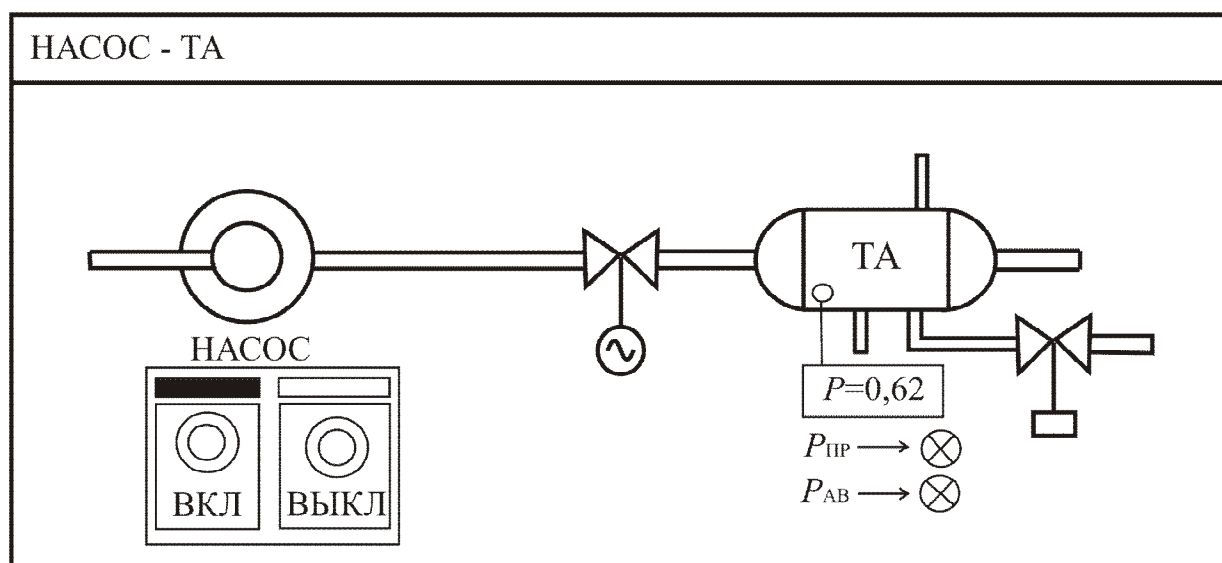


Рис. 2.2. Мнемосхема технологического участка на экране монитора (экран 1)

Представление архивной информации в графическом виде (экран 2) показано на рис. 2.3.

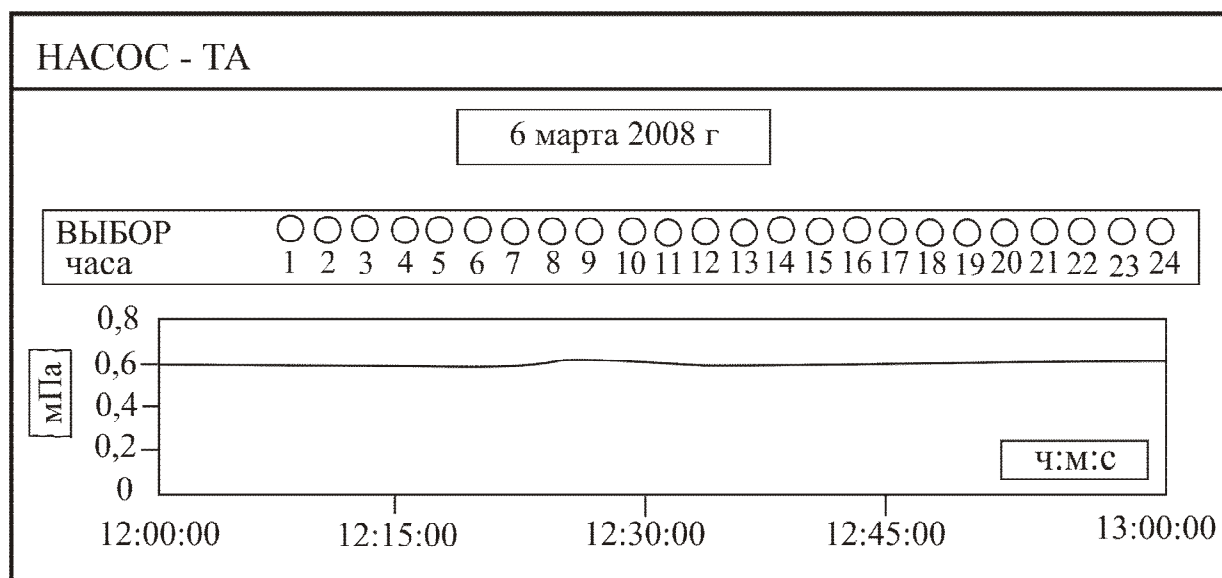


Рис. 2.3. График изменения давления хладоносителя в ТА в течение часа с 12:00:00 до 13:00:00 6 марта 2008 г (экран 2)

### 2.3. Выбор технических средств автоматизации объекта

Выбор технических средств автоматизации (ТСА) проводится на основании анализа:

- Технических требований к системе автоматизации (см. п.1.2);
- Разработанной структуры ФСА (см. п.2.1);
- Характеристик технологической среды, где будут находиться первичные преобразователи (датчики) и исполнительные устройства (механизмы), и помещений, где будут расположены остальные средства автоматизации (регуляторы, контроллеры, компьютеры и др.);
- Планируемого уровня капитальных затрат на создание системы автоматизации;
- Требований к метрологическим характеристикам системы (точность измерения контролируемых величин, надежность системы управления объектом);
- Технических и стоимостных характеристик как отечественных так и зарубежных ТСА и других показателей.

Исходя из вышеизложенного подраздел 2.3 пояснительной записки курсового проекта КП должен включать в себя следующие технические документы:

- Исходные данные для выбора ТСА, представленные в виде табл. 2.1 (в скобках указан рекомендуемый диапазон для задания данных)
- Перечень отечественных и зарубежных ТСА с их краткой технической характеристикой, представленный в виде табл. 2.2. В таблицу 2.2 следует записать только те средства автоматизации, которые соответствуют заданным исходным данным (см. табл. 2.1) и структуре ФСА.

Данные для заполнения табл. 2.2 формируются студентом в процессе обзора ТСА, выпускаемых отечественными и зарубежными производителями, и располагаются в этой таблице по 4 группам в следующем порядке:

1. Средства отбора информации (датчики, измерительные преобразователи);

2. Средства регулирования и логического управления (автоматические регуляторы, программируемые логические контроллеры, промышленные и персональные компьютеры);

3. Средства воздействия на объект (пусковая аппаратура: реле, контакторы, пускатели, исполнительные механизмы, преобразователи энергии и др.);

4. Комплексы технических средств (КТС).

Для возможности последующего выбора ТСА для проектируемой системы (формирования спецификации ее элементов) в табл. 2.2 должны быть представлены 2-3 типа устройств по каждому элементу системы (например, 2 типа датчиков давления, 3 типа ПЛК и т.д.).

В табл. 2.2 приведен пример записи данных для одного из элементов группы 2, а именно, контроллера типа *ADAM-5510*. Аналогично выполняются записи данных для других элементов.

Выбранные окончательно в результате анализа данных табл. 2.2 на соответствие параметрам табл. 2.1 и структуре ФСА, ТСА с их краткой технической характеристикой представляются в виде табл. 2.3 “Спецификация технических средств системы автоматизации”. В табл. 2.3 в качестве примера представлена спецификация ТСА для ФСА участка “Насос - технологический аппарат” (см. п.2.1).

Понятие “функциональный узел” в табл. 2.3 (см. столбец 1) означает совокупность элементов (приборов и средств автоматизации), выполняющих набор определенных функций в системе автоматизации. Например “Узел дистанционного управления и сигнализации состояния насоса” выполняет функции управления насосом и сигнализации его состояния.

В столбце 3 табл. 2.3 записываются позиционные обозначения элементов, входящих в состав каждого функционального узла системы.

Выбор технических средств автоматизации следует проводить, используя различные источники (см. Приложение 7), в частности:

- Каталоги средств автоматизации отечественных и зарубежных фирм;
- Справочники по приборам и средствам автоматизации;

- Научно технические журналы;
- Компьютерные базы данных по приборам и средствам автоматизации;
- Руководства по эксплуатации приборов и средств автоматизации;
- Веб-сайты *Internet* отечественных и зарубежных фирм по их продукции для автоматизации технологических объектов.

Таблица 2.1

## Исходные данные для выбора ТСА

Наименование исходных данных	Значения данных, принимаемые для проектируемой системы автоматизации
1. Структура САР	Одноконтурная САР ..... (наименование регулируемого параметра)
2. Условия эксплуатации СА	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Взрыво – и пожаробезопасная среда;</li> <li>• Вибрация: <math>A_B \leq 0,1</math> мм, <math>f_B \leq 20</math> Гц;</li> <li>• Температура среды: <math>(15 \div 30</math> °С);</li> <li>• Влажность: <math>(70 \div 90</math> %)</li> </ul>
3. Точность измерения контролируемых параметров	$(1 \div 3$ %)
4. Надёжность – среднее время безотказной работы системы	$(5000 \div 8000$ часов)
5. Планируемая стоимость капитальных затрат на создание системы	$(200 \div 300$ тыс. руб.)

Таблица 2.2

Перечень технических средств автоматизации

№ п/п	Наимено- вание, тип	Фирма из- готовитель	Функцио- нальные возможности	Основные тех- нические дан- ные	Показатели надежности	Условия эксплуата- ции	Ориентировочная стоимость
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Програм- мируемый контроллер <i>ADAM-5510</i>	<i>ADVAN – TECH</i> (Тай- вань)	В локальных и распреде- ленных АСУ ТП в качест- ве автоном- ного кон- троллера: обработка и обмен ин- формацией, авторегули- рование, ло- гическое управление	4 модуля вво- да-вывода: 32 канала анало- гового ввода- вывода, 64 дис- кретных кана- лов ввода- вывода. Ком- муникацион- ные порты <i>RS-485</i> и <i>RS-232</i> . Гальваническая развязка по входу, выходу и питанию. Питание от +10 до + 30 В	$P(t)=0,99$ при $t=2000$ час	Температура от -10 до +75 °С. Влажность до 95 % без конденсации влаги	30 тыс. рублей

Таблица 2.3

Спецификация технических средств системы автоматизации  
(пример для участка “Насос – технологический аппарат”)

Функциональный узел	Функции узла	Позиционное обозначение элемента	Наименование и тип элемента. Технические данные	Место установки элемента
1	2	3	4	5
<u>HS</u> 1	Дистанционное управление и сигнализация состояния насоса	1-1	Промышленный компьютер <i>PPC-153</i> (ф. <i>Advantech</i> , Тайвань). Предназначен для построения интерфейсов “Человек-машина”. Процессор <i>Intel Pentium III</i> . Коммуникационные порты <i>RS-232/485</i> , контроллер <i>Ethernet</i> . Стальной каркас. Температура среды 0-60 °С, влажность до 95 %. ЖК-дисплей	Пульт оператора
		1-2	Программируемый контроллер ОВЕН <i>GKR150</i> . Предназначен для обработки и обмена информацией, логического уравнения, ПИД-регулирования. Встроенные интерфейсы <i>Ethernet</i> , <i>RS-232/485</i> , <i>USB</i> . 6(4) дискретных и 4(2) аналоговых входов (выходов). Температура от 10 °С до 70 °С, влажность до 85 %	Шкаф управления
		1-3	Пускатель магнитный ПМ-12: ~ 380 В, температура среды от +1 до +60 °С	По месту

Продолжение табл. 2.3

1	2	3	4	5
<u>PIRCSA</u> 2	Измерение, индикация, регистрация, регулирование, защита и сигнализация давления в технологическом аппарате	2-1	Преобразователь избыточного давления ПД 100-ДИ: измеряемое давление до 0,1 МПа, погрешность измерения 1 %, выходной сигнал 4...20мА, диапазон температуры среды - 40...80 °С, степень защиты <i>JP 65</i>	По месту
		2-2	Пускатель бесконтактный реверсивный ПБРЗ: номинальное напряжение 380 В, ток 3 А, напряжение питания цепей управления 24 В	По месту
		2-3	Механизм электрический однооборотный МЭО-630/25: 380 В, токовый датчик положения	По месту
		2-4	Сирена СИ-1. Предназначена для звуковой аварийной сигнализации. Напряжение +24 В	По месту
		2-5	Реле электромагнитное HE-4; ~ 220 В	Шкаф управления
		2-6	Клапан ПР-Э 3,25 с электромагнитным приводом. Входной сигнал ~ 220 В. Условная пропускная способность 0,2 м <sup>3</sup> /г, диаметр 3 мм, давление 1МПа	По месту
		1-2	Контроллер ОВЕН ПЛК 150	-
		1-1	Компьютер PPC-153	-

## **Раздел 3. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА**

### **3.1. Общие положения**

Задача автоматического регулирования возникает при необходимости обеспечения заданного режима работы объекта путем стабилизации или изменения по какому-либо закону технологических переменных, например, расхода, температуры, давления, скорости и т. п.

В процессе проектирования системы автоматического регулирования (САР) можно выделить 2 этапа:

- Идентификация объекта управления (определение алгоритмической структуры и параметров математической модели объекта);
- Синтез и анализ САР, задачами которых являются: а) определение структуры системы и алгоритма (закона) регулирования; б) расчет параметров настройки регулятора (регулирующих, компенсирующих, корректирующих элементов); в) анализ устойчивости и качества процесса регулирования.

Структура модели объекта определяется теоретическим анализом сведений о нем. В большинстве случаев она может быть представлена: а) для статических объектов – апериодическим звеном с запаздыванием (или без него); б) для астатических объектов – интегрирующим звеном с запаздыванием (или без него).

Параметры модели объекта (коэффициент передачи, постоянные времени) либо определяют путем обработки разгонной (переходной) или импульсной характеристики объекта, либо задают их, используя различные литературные источники.

Для выбора структуры локальной САР в качестве исходных данных используются: а) статические и динамические характеристики каналов воздействия входных переменных (управляющее и возмущающее воздействия) объекта на регулируемую переменную (передаточные функции объекта по управляющему и возмущающему каналам); б) требования к устойчивости и качеству процесса



регулирования. Эти данные должны быть определены в п.1.2 (см. табл. 1.1).

Управляющий канал должен обеспечить необходимый диапазон изменения управляющего воздействия, чтобы компенсировать все возмущающие воздействия, а также иметь благоприятные динамические свойства, которые можно характеризовать соотношением времени запаздывания  $\tau_0$  канала к его постоянной времени  $T_0$  (чем меньше  $\tau_0/T_0$ , тем лучше динамические свойства объекта по рассматриваемому каналу управления).

Регулирующие устройства (РУ) в зависимости от характера изменения их выходного сигнала делятся на:

- Позиционные;
- Аналоговые;
- Импульсные;
- Цифровые.

В цифровых РУ происходит квантование входного сигнала по уровню и времени. В большинстве случаев в настоящее время в качестве цифровых РУ используют микропроцессорные контроллеры, в которых имеются алгоритмы позиционного, аналогового или импульсного регулирования (контроллеры реализуют один из перечисленных алгоритмов).

Для обеспечения заданной точности регулирования время цикла работы контроллера должно удовлетворять условию:

$$t_{\text{ц}} \leq \Delta t_{\text{п}},$$

где  $\Delta t_{\text{п}}$  – предельная величина интервала квантования входного сигнала по времени. Эта величина может быть определена из условия Котельникова-Шеннона:

$$\Delta t_{\text{п}} = \frac{1}{(2 \div 8) f_{\text{max}}},$$

где  $f_{\text{max}}$  – максимальная частота спектральной характеристика входного для РУ сигнала (регулируемой переменной).

Так как спектральную характеристику входного сигнала получить затруднительно, то приближенно предельную величину интервала квантования можно определить из выражения:

$$\Delta t_{\text{п}} = 0,15 T_{\text{max}},$$

где  $T_{\max}$  – наибольшая постоянная времени в цепи объект - датчик регулируемой переменной.

Так как время цикла большинства микропроцессорных контроллеров лежит в пределах от сотых долей секунды до нескольких секунд, то рассмотренную выше процедуру рекомендуется проводить для малоинерционных объектов (электродвигатель, участок трубопровода и т.д.).

Выбор типа РУ осуществляется исходя из требований к качеству регулирования и динамических свойств управляющего канала. В [3] отмечается, что удовлетворительное качество управления можно получить в САР с различными типами регуляторов, если выбирать их из условия:

$$\frac{\tau_0}{T_0} < 0,2 \text{ – позиционный регулятор,}$$

$$\frac{\tau_0}{T_0} < 0,5 \text{ (0,6) – аналоговый или импульсивный регулятор,}$$

$$\frac{\tau_0}{T_0} > 0,5 \text{ (0,6) – специальные регуляторы (многоконтурные САР).}$$

Современные средства автоматизации позволяет реализовать, практически, любые алгоритмы функционирования одно- и многоконтурных САР. Для регулирования одной переменной применяют либо одноконтурные САР по отклонению, либо многоконтурные комбинированные или каскадные САР. Комбинированные системы применяют при наличии одного или двух существенно влияющих на регулируемую переменную возмущающих воздействий, которые можно оперативно измерять при работе объекта. Каскадные САР рекомендуются для объектов с большим запаздыванием и инерционностью управляющего канала и при возможности выбора в объекте измеряемой промежуточной переменной, менее инерционной к управляющему воздействию.

Для объектов, имеющих две и более регулируемых переменных и перекрестные управляющие каналы, применяют многоконтурные системы связанного регулирования.

Рекомендуется следующий порядок выполнения раздела 3:

1. Определить (или обосновано задать) динамическую структуру и параметры объекта регулирования (записать его передаточную функцию);
2. Провести расчет САР по одной регулируемой переменной (определить структуру системы и алгоритм (закон) регулирования, параметры настройки регулирующего устройства, устойчивость и показатели качества регулирования), используя в качестве исходных данных требования к САР (см. табл. 1.1) и динамическую модель (передаточную функцию) объекта.

Расчет САР рекомендуется выполнять на персональном компьютере с помощью пакета программ, называемого “Система *IPC-CAD*” (*Industrial Process Control-Computer Aided Design*). Расчет включает в себя три этапа: 1) Определение структуры (модели) объекта и исходных данных для расчета; 2) Расчет параметров настройки регулятора; 3) Анализ качества регулирования.

Далее рассматриваются методика расчета на компьютере одноконтурной САР технологического параметра.

### **3.2. Расчет одноконтурной САР**

Содержание и порядок расчета одноконтурной системы автоматического регулирования на ПК с помощью пакета программ “Система *IPC-CAD*” представлены на примере САР температуры потока жидкости на выходе из теплообменника смешения.

### 3.2.1. Структура объекта и исходные данные для расчета

На рис. 3.1. представлена упрощенная ФСА теплообменника смешения.

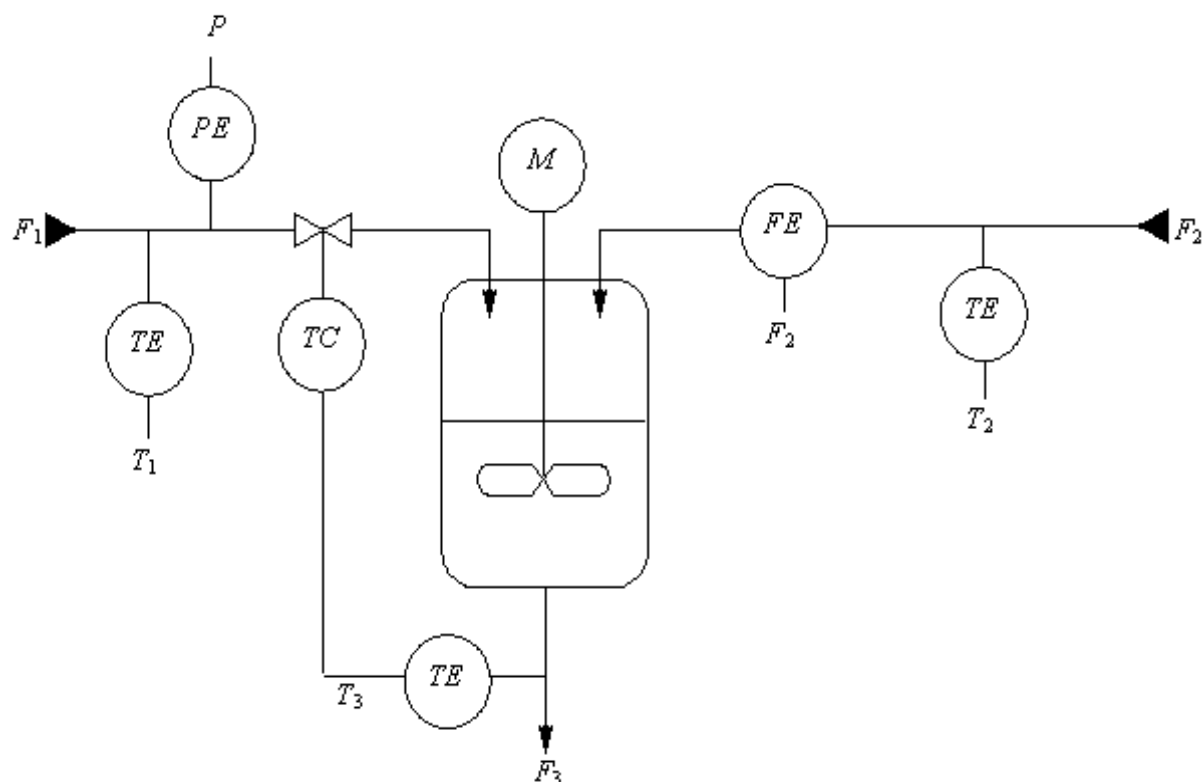


Рис. 3.1. Упрощенная схема автоматизации теплообменника смешения:  $F_1$  – расход 1-го потока, Т/час;  $F_2$  – расход 2-го потока, Т/час;  $F_3$  – расход выходящего потока жидкости, температуру которого необходимо регулировать, Т/час;  $T_1$  – температура 1-го потока жидкости, °C;  $P_1$  – давление в трубопроводе 1-го потока жидкости перед регулирующим клапаном;  $T_2$  – температура 2-го потока жидкости, °C;  $T_3$  – температура потока  $F_3$ , °C

Структурная схема технологического объекта управления (ТОУ) показана на рис. 3.2.

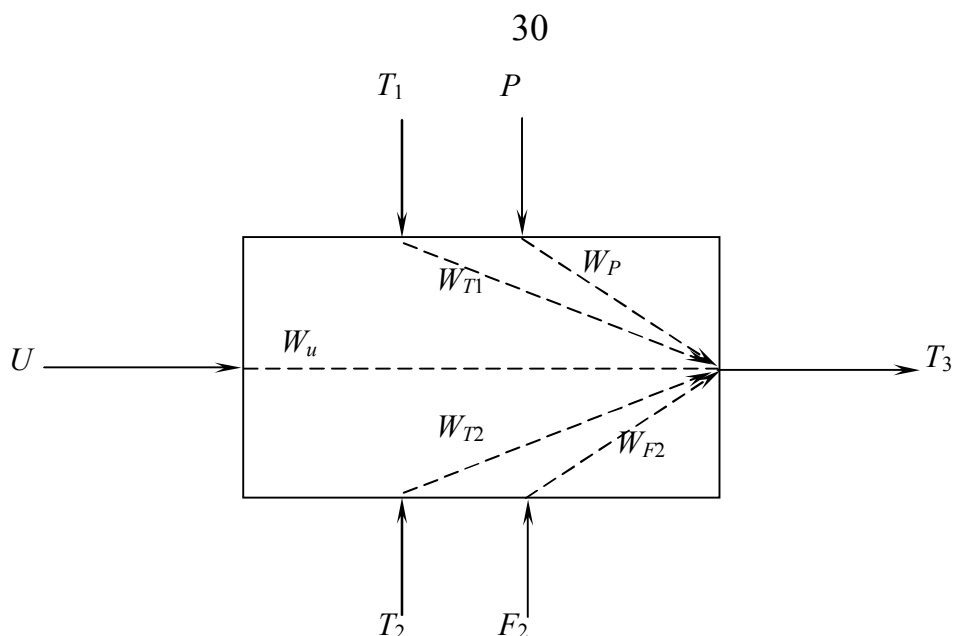


Рис. 3.2. Структурная схема ТОУ:  $U$  – управляющее воздействие – положение регулирующего клапана на трубопроводе 1-го потока, обычно выражается в % хода регулирующего органа (% х. р. о.);  $T_3$  – регулируемая переменная, °C; возмущающие воздействия:  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $F_2$ ,  $P$ ;  $W_u$ ,  $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ,  $W_{F2}$ ,  $W_P$  – передаточные функции управляющего ( $W_u$ ) и возмущающих каналов технологического объекта управления (ТОУ)

Структурная схема одноконтурной САР в системе IPC CAD имеет вид, который показан на рис. 3.3.

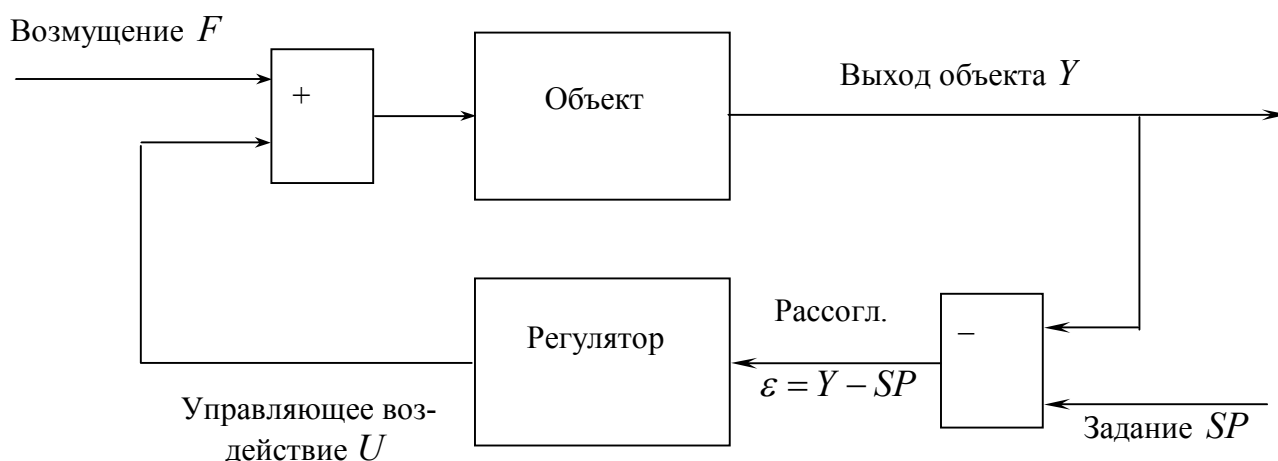


Рис. 3.3. Структурная схема одноконтурной САР

## Исходные данные для расчета САР

Исходные данные для расчета одноконтурной САР определяются по результатам анализа:

- Технической литературы, где имеется описание и характеристики объекта автоматизации;
- Требований технологического регламента к показателям качества регулирования, полученные студентом на предприятии в период прохождения им производственной практики;
- Данных эксплуатации объекта автоматизации в конкретных производственных условиях.

Перед началом выполнения расчетной части курсового проекта исходные данные уточняются у преподавателя, консультирующего данный раздел. Они включают в себя:

- Передаточную функцию управляющего канала объекта автоматизации, взятую из литературных источников или полученную при обработке данных экспериментального исследования объекта;
- Диапазоны изменения основных возмущающих воздействий, установленные по данным эксплуатации объекта управления за достаточно длительный промежуток времени;
- Коэффициенты передачи основных возмущающих каналов объекта, полученные путем расчетов или в результате обработки экспериментальных данных;
- Допустимые значения прямых показателей качества регулирования;
- Заданное значение регулируемой переменной или диапазон, в котором может меняться это значение при изменении режима работы объекта автоматизации.

Для рассматриваемого примера исходные данные могут иметь следующий вид:

- Передаточная функция управляющего канала объекта:

$$W_u(p) = \frac{K_u}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} e^{-\tau_u p},$$

где  $K_u$  – коэффициент передачи канала ( $K_u = 2$  (°C/% *х.р.о.*));

$\tau_u$  – время запаздывания ( $\tau_u = 3$  мин);  $T_1$ ,  $T_2$  – постоянные времени канала ( $T_1 = 10$  мин,  $T_2 = 7$  мин);

- Диапазоны изменения возмущающих воздействий:
  - а) температура потока  $F_1$  (86-90°C);
  - б) температура потока  $F_2$  (12-20°C);
  - в) расход потока  $F_2$  (10-12) т/ч;
  - г) давление перед регулирующим клапаном (200-220) кПа;
- Коэффициенты передачи возмущающих каналов объекта:  
 $K_{T_1} = 0,5$ ;  $K_{T_2} = 0,5$ ;  $K_{F_2} = 4$  (°C·ч/Т);  $K_p = 0,2$  (°C/кПа);
- Допустимые значения прямых показателей качества регулирования, которые рассчитываются в системе *IPC CAD*:  
 $y_d^0 = \pm 6$  °C;  $t_p^0 = 25$  мин;  $\psi^0 = 0,75$ ;  $y_{cm}^0 = \pm 1,5$  °C,

где  $y_d^0$ ,  $t_p^0$ ,  $\psi^0$ ,  $y_{cm}^0$  – допустимые значения, соответственно, динамической ошибки, времени регулирования, степени затухания, статической ошибки;

- Заданное значение регулируемой переменной  $y_{здн} = (40-42)$  °C.

### Расчет максимального возмущающего воздействия

Оценка работоспособности САР, т.е. обеспечение системой необходимых показателей качества регулирования и запаса устойчивости, проводится при самом неблагоприятном сочетании возмущающих воздействий. Определение данного сочетания для реального технологического объекта представляет собой сложную задачу, решаемую на основании анализа большого объема информации по эксплуатации объекта управления. Поэтому часто в инженерной практике для оценки работоспособности САР используют максимальное возмущающее воздействие, определяемое по выражению:

$$U_{max} = \frac{D_{T_1} \cdot K_{T_1} + D_{T_2} \cdot K_{T_2} + D_{F_2} \cdot K_{F_2} + D_p \cdot K_p}{K_u},$$



где  $D_{T_1}$ ,  $D_{T_2}$ ,  $D_{F_1}$ ,  $D_p$  – диапазоны изменения возмущающих воздействий.

Как следует из данного выражения  $U_{\max}$  оказывает на регулируемую переменную заведомо большее влияние, чем самое неблагоприятное сочетание возмущающих воздействий, т.к. для большинства реальных технологических объектов одновременное и однознаковое изменение всех возмущающих воздействий на всем возможном диапазоне маловероятно. Кроме этого, выражение (2) не учитывает разные динамические свойства возмущающих каналов.

Необходимо заметить, что представление  $U_{\max}$  в процентах хода регулирующего органа позволяет проверить одно из основных условий выбора управляющего канала объекта:

$$U_{\max} \leq 100\% \text{ х.р.о.}$$

Невыполнение данного условия означает, что полный (100 %) ход регулирующего органа не позволяет компенсировать влияние максимального возмущающего воздействия на регулируемую переменную.

Для теплообменника смешения максимальное возмущающее воздействие будет определено следующим образом:

1) вычислим диапазон изменения возмущающих воздействий

$$\begin{aligned} D_{T_1} &= 90-86 = 4 \text{ }^\circ\text{C}; & D_{T_2} &= 20-12 = 8 \text{ }^\circ\text{C}; \\ D_{F_2} &= 12-10 = 2 \text{ т/ч}; & D_p &= 220-200 = 20 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

2) вычислим максимальное возмущающее воздействие

$$U_{\max} = \frac{4 \cdot 0,5 + 8 \cdot 0,5 + 2 \cdot 4 + 20 \cdot 0,2}{2} = 9 \text{ \% х.р.о.}$$

### 3.2.2. Расчет параметров настройки регулятора с помощью системы *IPC CAD*

Перед расчетом параметров настройки регулятора необходимо ознакомиться с правилами работы с системой *IPC CAD* (Приложение 1) и правилами работы с одноконтурной САР (Приложение 2).

Коэффициент передачи управляющего канала ТООУ в системе *IPC CAD* представляет собой отношение приращения регулируемой

переменной ( $T_3$ ), выраженной в процентах шкалы нормирующего преобразователя к приращению управляющего воздействия, выраженного в процентах хода регулирующего органа. Если коэффициент передачи выражен в других единицах, то перед началом расчета его необходимо перевести в единицы измерения, используемые в системе *IPC CAD*. Например, для теплообменника смешения коэффициент передачи управляющего канала представлен в единицах ( $^{\circ}\text{C}/\% \text{ х.р.о.}$ ). В рассматриваемой схеме автоматизации для измерения температуры потока  $F_3$  использован термометр сопротивления и нормирующий преобразователь с диапазоном шкалы (0-50)  $^{\circ}\text{C}$ , т.е. при изменении температуры в данном диапазоне выходной сигнал нормирующего преобразователя будет меняться от 0 до 100 %, например, унифицированный токовый сигнал от 0 до 5 мА. Исходя из этого, коэффициент передачи управляющего канала объекта будет равен

$$K'_u = \frac{K_u}{D_{T_3}} 100 \% = \frac{2}{50} 100 = 4 \text{ (\% шк. } T_3/\% \text{ х.р.о.)}.$$

Расчет САР с использованием системы *IPC CAD* включает в себя: 1) выбор закона регулирования; 2) расчет параметров настройки регулятора; 3) построение графиков переходных процессов в системе при рассчитанных параметрах настройки и в режиме проверки САР «на грубость»; 4) определение прямых показателей качества регулирования. Расчет производится в следующей последовательности:

- 1) запускается программа *IPC CAD*;
- 2) выбирается в меню одноконтурная САР;
- 3) задается характеристика управляющего канала ТООУ в форме передаточной функции объекта с самовывравниванием и численными значениями параметров модели ( $K_u$ ,  $\tau_u$ ,  $T_u$ );
- 4) выводится передаточная функция на экран монитора и проверяется правильность введенных параметров;
- 5) выбираются последовательно пункты меню: «НАСТРОЙКА», «РАСЧЕТ параметров регулятора», «ПИД-регулятор», «Апериодический процесс»;

6) записываются полученные значения параметров настройки регулятора;

7) для построения переходного процесса в САР последовательно выбираются пункты меню: «Выбор воздействий», «Возмущение на входе объекта», «По нагрузке», «Вид воздействия», «Скачок», «Моделирование переходных процессов в САР»;

8) записываются прямые показатели качества регулирования;

9) выбирается пункт меню «Проверка САР на грубость»;

10) зарисовываются графики переходных процессов, показанные на экране монитора;

11) записываются прямые показатели качества регулирования, полученные в режиме «Проверка САР на грубость»;

12) выбирается режим настройки САР «НАСТРОЙКА» и выполняются пункты 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 при параметрах регулятора, рассчитанных для типового процесса «С умеренным затуханием»;

13) повторяется пункт 12 при параметрах регулятора, рассчитанных для типового процесса «Колебательный»;

14) проводится анализ прямых показателей качества регулирования, полученных для трех типовых процессов в режимах «НАСТРОЙКА» и «Проверка САР на грубость»;

15) из данных типовых процессов выбирается тот, который имеет минимальные значения динамической ошибки и времени регулирования при степени затухания больше 0,75; если минимальные значения данных показателей качества регулирования принадлежат разным процессам, то предпочтение отдается процессу, который имеет максимальный запас устойчивости системы, т.е. максимальное значение степени затухания;

16) строится график переходного процесса в САР при нанесении возмущения «По заданию» при параметрах настройки регулятора соответствующих выбранному в пункте 15 типовому процессу;

17) для построения графика, указанного в пункте 16, последовательно выполняются следующие операции: выбирается меню «Режим работы» → «Произвольный ввод параметров» → «ПИД-закон регулирования» → присвоение параметрам настройки регулятора численных значений → с помощью клавиши «ESC» возврат в меню «Режим работы» → «Выбор воздействия» → «Скачок по за-

данию» → «Моделирование переходного процесса» → запись показателей качества регулирования → «Проверка САР на грубость» → копирование графиков переходных процессов, показанных на мониторе → запись показателей качества регулирования, полученных в режиме «Проверка САР на грубость».

Необходимо отметить, что графики, выводимые на экран монитора, а также передаточные функции, структурная схема САР и другие материалы можно занести в документ *Word*. Для этого клавишей клавиатуры ПК *Print Screen* необходимо скопировать изображение в буфер обмена. Переключиться в редактор *Paint*, нажав клавиши *Alt+Tab*. Отредактировав изображение графика, затем снова скопировать и передать через буфер обмена в документ *Word*.

В результате расчета САР с приведенными выше исходными данными получены показатели качества регулирования приведенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты расчета и моделирования в одноконтурной САР

Типовой процесс	Параметры настройки ПИД регулятора			Режим моделирования	Показатели качества регулирования		
	$K_p,$ $\left[ \frac{\%x.p.o}{\%шк.у} \right]$	$T_n,$ <i>мин.</i>	$T_d,$ <i>мин.</i>		$y_d,$ $\%шк.у$	$\Psi$	$t_p,$ <i>мин.</i>
Апериодический	0,67	11,73	2,93	Настройка	1,03	0,996	33,00
				Проверка на грубость	1,24	0,997	30,00
С умеренным затуханием	0,86	10,21	2,55	Настройка	0,91	0,993	27,00
				Проверка на грубость	1,13	0,998	22,00
Колебательный	1,37	9,77	2,44	Настройка	0,73	0,990	18,00
				Проверка на грубость	САР неустойчива		

В соответствии с пунктом 15 расчета параметров настройки регулятора предпочтение отдается параметрам настройки ПИД ре-

гулятора, полученным для типового переходного процесса «С умеренным затуханием».

При данных параметрах настройки регулятора моделируется процесс в САР при нанесении возмущения «По заданию».

### 3.2.3. Анализ качества регулирования

Полученные с помощью системы «*IPC CAD*» графики переходных процессов – это реакция САР на ступенчатое изменение (скачок) управляющего воздействия в 1 % х.р.о. представленные в процентах шкалы регулируемой переменной. Так как допустимые значения показателей качества регулирования (статическая и динамическая ошибки) в технологическом регламенте задаются, как правило, в абсолютных единицах, необходимо произвести перерасчет значений регулируемой переменной, откладываемой на полученных графиках по оси ординат, из относительных единиц (процент шкалы) в абсолютные единицы ( $^{\circ}\text{C}$ ). Это делается путем умножения регулируемой переменной, выраженной в процентах шкалы, на коэффициент перевода, который определяется из следующего выражения:

$$K_{\Pi} = \frac{D_{T_3}}{100 \%}$$

Так как при анализе САР производится оценка способности системы обеспечивать необходимые показатели качества регулирования при самых неблагоприятных сочетаниях возмущающих воздействий, то полученные значения регулируемой переменной необходимо умножить на максимальное возмущающее воздействие ( $U_{\max}$ ).

Для вывода об удовлетворительной (или неудовлетворительной) работе САР на полученные после преобразования регулируемой переменной графики переходных процессов нанести область допустимых значений этой переменной (рис. 3.4).

При анализе САР кроме оценки прямых показателей качества регулирования необходимо установить факт устойчивости и робастности системы.

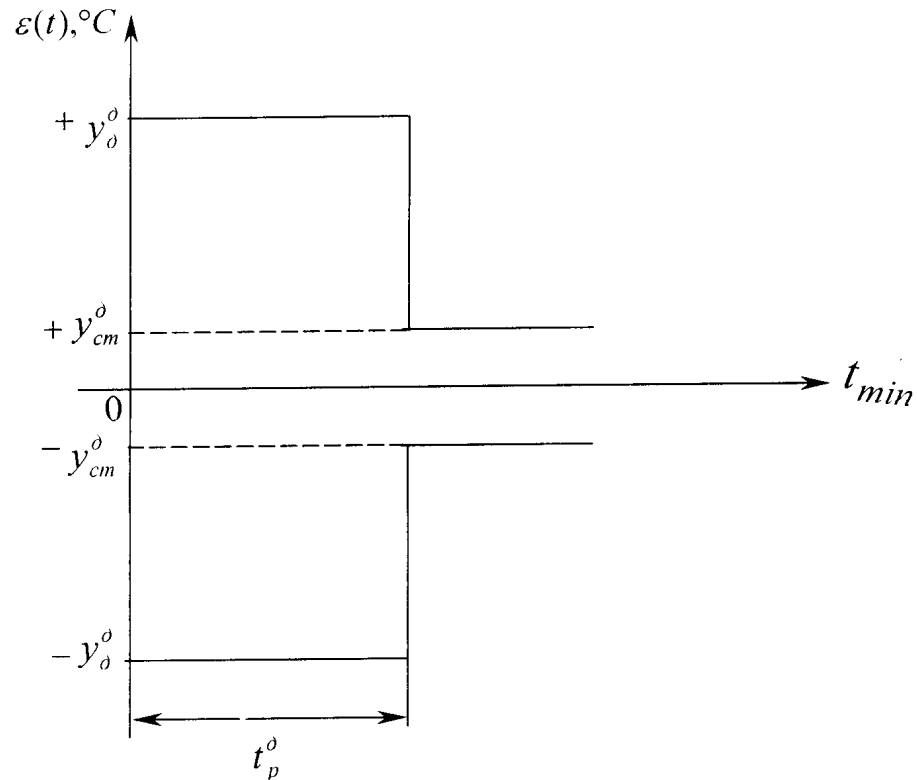


Рис. 3.4. Область допустимых значений регулируемой переменной:  $\pm y_{\delta}^{\delta}$  – допустимая динамическая ошибка САР,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\pm y_{\text{ст}}^{\delta}$  – допустимая статическая ошибка САР,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_p^{\delta}$  – допустимое время регулирования, мин;  $\varepsilon(t)$  – величина сигнала рассогласования между текущим и заданным значениями регулируемой переменной,  $^{\circ}\text{C}$

Устойчивость в системе «*IPC-CAD*» оценивается по степени затухания переходного процесса –  $\psi$ . Величина степени затухания, равная 0,75 в инженерной практике считается границей допустимого запаса устойчивости системы. Поэтому при анализе результатов теоретического исследования системы, полученных в режимах нанесения возмущения «по нагрузке», «по заданию», при проверке САР «на грубость», необходимо проверить выполнение условия:

$$\psi \geq 0,75$$

Робастность или малая чувствительность САУ к изменению свойств и характеристик объекта управления оценивается в режиме «Проверка САР на грубость». В этом режиме на 20% меняется коэффициент передачи объекта и его время запаздывания. САУ считается робастной, если при проверке её «на грубость» прямые пока-

затели качества управления не вышли за пределы их допустимых значений.

На графиках переходных процессов в САР, полученных при нанесении возмущения «по заданию», значения регулируемой переменной, откладываемые по оси ординат, умножаются на коэффициент перевода (4) и диапазон изменения задания.

$$\Delta y_{30} = 42 - 40 = 2^{\circ}\text{C}$$

После проведения указанных операций по графикам переходных процессов в САР определить прямые показатели качества регулирования, в режимах «Настройка» и «Проверка САР на грубость». При этом надо иметь в виду, что динамическую ошибку в абсолютных единицах можно определить как по графикам переходного процесса (по оси ординат, где значения сигнала рассогласования умножены на коэффициент  $K_{\Pi}$  и максимальное возмущающее воздействие  $U_{\max}$ ), так и путем умножения динамической ошибки, полученной в программе *IPC CAD* в соответствующем режиме, на  $K_{\Pi}$  и  $U_{\max}$ . Время регулирования определяется по графикам переходного процесса, как промежуток времени от момента нанесения возмущающего воздействия (начало координат на графиках переходных процессов) до момента входа (последнего входа, если процесс колебательный) регулируемой переменной в область допустимой статической ошибки. Степень затухания при переходе от относительных единиц регулируемой переменной к абсолютным остается неизменной.

Завершается данный подраздел краткими выводами по результатам анализа.

Анализ качества регулирования рассмотрим для САР с параметрами настройки регулятора, указанными в табл. 3.1 для типового процесса «С умеренным затуханием».

Графики переходных процессов для данного режима показаны на рис. 3.5.

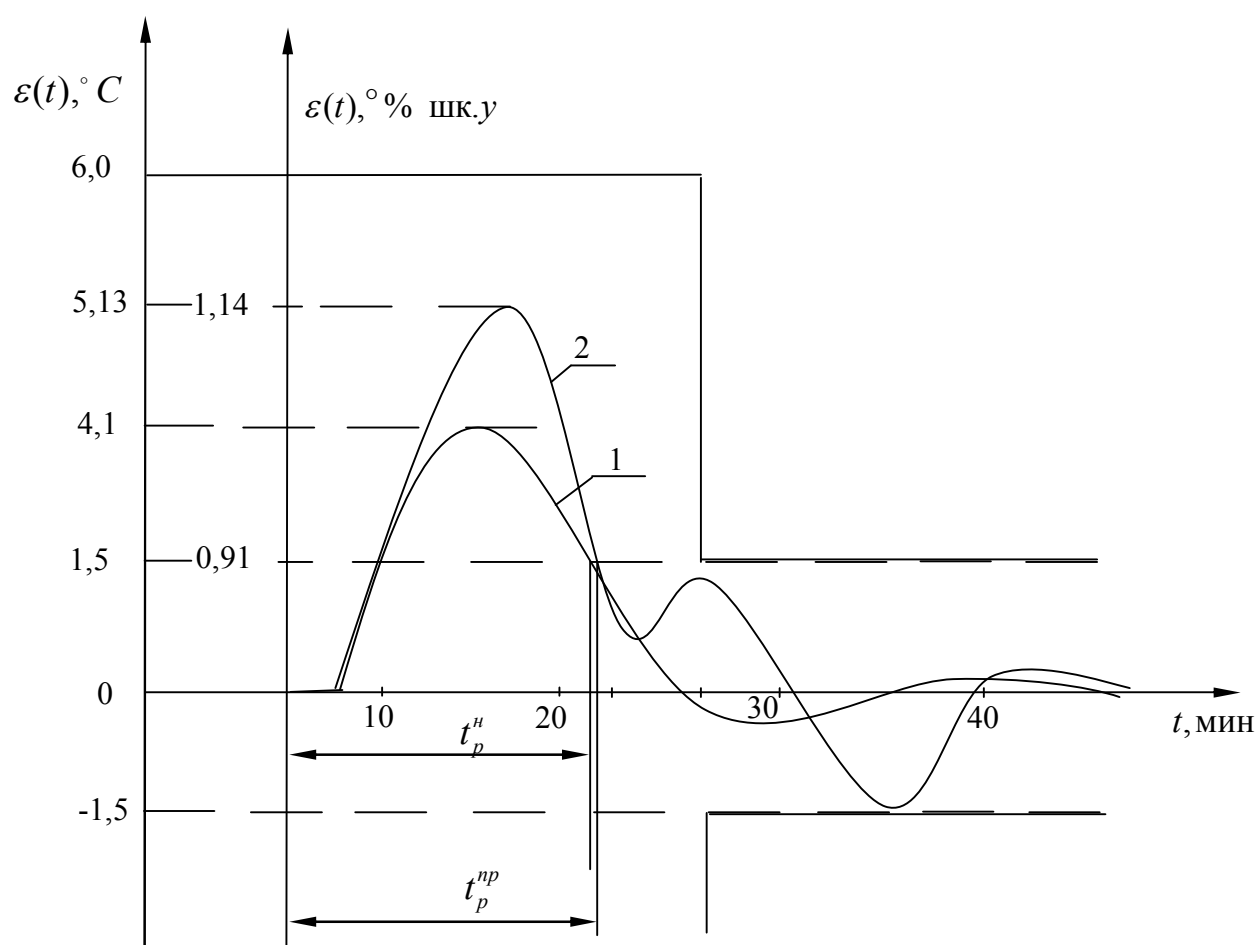


Рис. 3.5. Графики переходных процессов в САР при нанесении возмущения «По нагрузке» в режимах «Настройка» (1) и «Проверка на грубость» (2)

Так как ординаты, показанные на рис. 3.5 представлены в процентах шкалы регулируемой переменной ( $\% \text{ шк.у}$ ) их необходимо перевести в абсолютные единицы (градусы Цельсия) путем умножения на коэффициент перевода  $K_{\Pi}$ . В данном случае этот коэффициент равен

$$K_{\Pi} = \frac{50^{\circ}C}{100\% \text{ шк.у}} = \frac{0,5^{\circ}C}{\% \text{ шк.у}}.$$

В линейных системах форма графика переходного процесса остается неизменной при любой величине ступенчатого воздейст-



вия, так как в них соблюдается принцип суперпозиции. Поэтому для получения реакции САР на максимальное возмущающее воздействие ( $U_{\max}$ ) достаточно ординаты графика, выраженные в градусах Цельсия, умножить на величину  $U_{\max}$ . Полученные таким образом значения регулируемой переменной можно отложить на ось, которая проходит параллельно исходной оси ординат.

Используя данную ось на координатное поле необходимо нанести допустимую область изменения регулируемой переменной и из полученных графиков определить показатели качества регулирования. В режиме «Настройка» время регулирования составит:  $t_p = 23_{\text{мин.}}$ , в режиме «Проверка на грубость»:  $t_p = 24_{\text{мин.}}$ . Динамическая ошибка в режиме «Настройка»  $y_{\delta} = 4,10^{\circ}\text{C}$ , в режиме «Проверка на грубость»  $y_{\delta} = 5,13^{\circ}\text{C}$ .

Динамическую ошибку можно вычислить используя ее значение, приведенное в табл. 3.1 (с умеренным затуханием).

В режиме «Настройка»:  $y_{\delta} = 0,91 \cdot 0,5 \cdot 9 = 4,095^{\circ}\text{C}$ .

В режиме «Проверка на грубость»:  $y_{\delta} = 1,14 \cdot 0,5 \cdot 9 = 5,13^{\circ}\text{C}$ .

Из графика и из приведенных выше результатов видно, что полученные при расчете САР прямые показатели качества регулирования удовлетворяют требованиям технологического регламента.

$$y_{\delta} < y_{\delta}^{\delta} (4,09^{\circ}\text{C} < 6^{\circ}\text{C}; 5,13^{\circ}\text{C} < 6^{\circ}\text{C});$$

$$t_p < t_p^{\delta} (23_{\text{мин}} < 25_{\text{мин}}; 24_{\text{мин}} < 25_{\text{мин}});$$

$$\Psi > 0,75 (0,993 > 0,75; 0,998 > 0,75);$$

$$y_{cm} = 0.$$

Из полученной степени затухания можно сделать вывод, что система имеет достаточно большой запас устойчивости ее можно считать малочувствительной к изменению характеристик объекта управления, т. к. при проверке САР на «грубость» прямые показатели качества регулирования не вышли за допустимые пределы.

Так как заданное значение регулируемой переменной может меняться в пределах от  $40$  до  $42^{\circ}\text{C}$  необходимо построить график переходного процесса в САР при нанесении ступенчатого воздействия «по заданию». Умножить ординаты графика на коэффициент  $K_{\Pi}$  и диапазон изменения задания и после этого, определить показатели качества регулирования САР при данном возмущении. При

параметрах настройки регулятора, указанных в табл. 3.1 (с умеренным затуханием), получены графики переходных процессов, которые показаны на рис. 3.6, и рассчитаны показатели качества регулирования, приведенные в табл. 3.2.

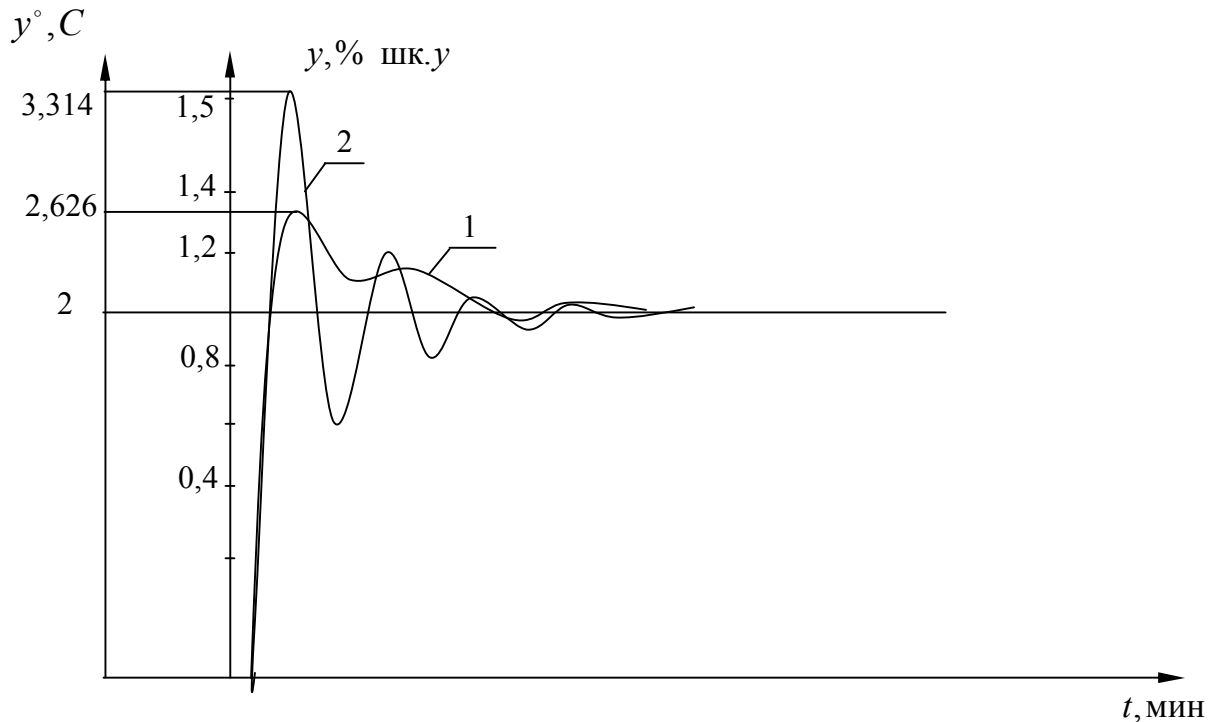


Рис. 3.6. Графики переходных процессов в САР при нанесении возмущения «По заданию» в режимах «Настройка» (1) и «Проверка на грубость» (2)

Таблица 3.2

Показатели качества регулирования, полученные при нанесении возмущения «По заданию»

Режим моделирования САР	Показатели качества регулирования		
	$y_{\partial}, \% \text{ шк.у}$	$\Psi$	$t_p, \text{мин.}$
«Настройка»	0,313	0,997	28,0
«Проверка САР на грубость»	0,657	0,757	42,0

На рис. 3.6 показаны графики переходных процессов при нанесении ступенчатого возмущения по заданию в один процент шкалы регулируемой переменной (% шк.у) или в 0,5 градуса зада-

ния, т.к. диапазон шкалы регулируемой переменной составляет  $50^{\circ}\text{C}$ .

Для перевода ординаты графиков в абсолютные единицы их необходимо умножить на коэффициент  $K_{\pi} = 0,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ шк.у}}$  и для получения реакции системы на диапазон изменения задания ( $2^{\circ}\text{C}$ ) на 4 ( $2^{\circ}\text{C} / 0,5^{\circ}\text{C} = 4$ ).

Полученные значения ординаты графика приведены на рис. 3.6. Из графиков определяются показатели качества регулирования. Динамическая ошибка в режиме «Настройка»:  $y_{\delta}^H = 2,626 - 2 = 0,626^{\circ}\text{C}$ , в режиме «Проверка САР на грубость»:  $y_{\delta}^r = 3,314 - 2 = 1,314^{\circ}\text{C}$ .

Так как динамическая ошибка в обоих режимах моделирования не вышла за пределы допустимой статической ошибки ( $1,5^{\circ}\text{C}$ ), принимаем, что время регулирования в данных режимах равна нулю ( $t_p = 0$ ). Степень затухания, приведенная в табл. 3.2, показывает, что запас устойчивости при возмущении «По заданию» удовлетворяет требованиям технологического регламента ( $\Psi > 0,75$ ).

## Раздел 4. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

### 4.1. Общие положения

В данном разделе должны быть представлены алгоритмы и программы выполнения программируемым логическим контроллером (ПЛК) следующих функций системы автоматизации:

- Алгоритм и программа работы автоматической защиты и сигнализации;
- Программа дистанционного управления оператором с рабочего места электродвигателем рабочего механизма (по указанию руководителя проекта);
- Программа автоматического регулирования (стабилизации) технологического параметра.

Исходными документами для разработки вышеуказанных алгоритмов и программ является ФСА (функциональная схема автоматизации) проектируемой системы и графические языки программирования международного стандарта МЭК61131-3 *SFC* (последовательных функциональных схем), *LD* (релейных диаграмм) и *FBD* (функциональных блок-схем).

В курсовом проекте рекомендуется использовать отечественные свободно программируемые контроллеры компании ОВЕН. Программирование контроллеров ОВЕН ПЛК осуществляется в среде *CoDeSys* [14]. На сегодняшний день это одна из лучших в мире программных сред для свободно программируемых контроллеров, выполненная на базе языков программирования стандарта МЭК61131-3. Правила работы в системе программирования *CoDeSys* изложены в Приложении 3. Пример программирования контроллера ОВЕН ПЛК в системе *CoDeSys* приведен в Приложении 4.

Перед программированием задач проекта студентам рекомендуется ознакомиться с приложениями 3,4.

Ниже представлены примеры алгоритмов и программ в системе *CoDeSys* для ОВЕН ПЛК применительно к задачам ранее рассмотренной в разделе 2 ФСА (дистанционное управление электродвигателем насоса, автоматическое регулирование, защита и сигнализация по давлению в технологическом аппарате).

## 4.2. Примеры алгоритмов и программ работы ПЛК

### 4.2.1. Алгоритм и программа автоматической защиты и сигнализации по давлению в технологическом аппарате

Блок схема алгоритма автоматической защиты и сигнализации представлена на рис. 4.1.

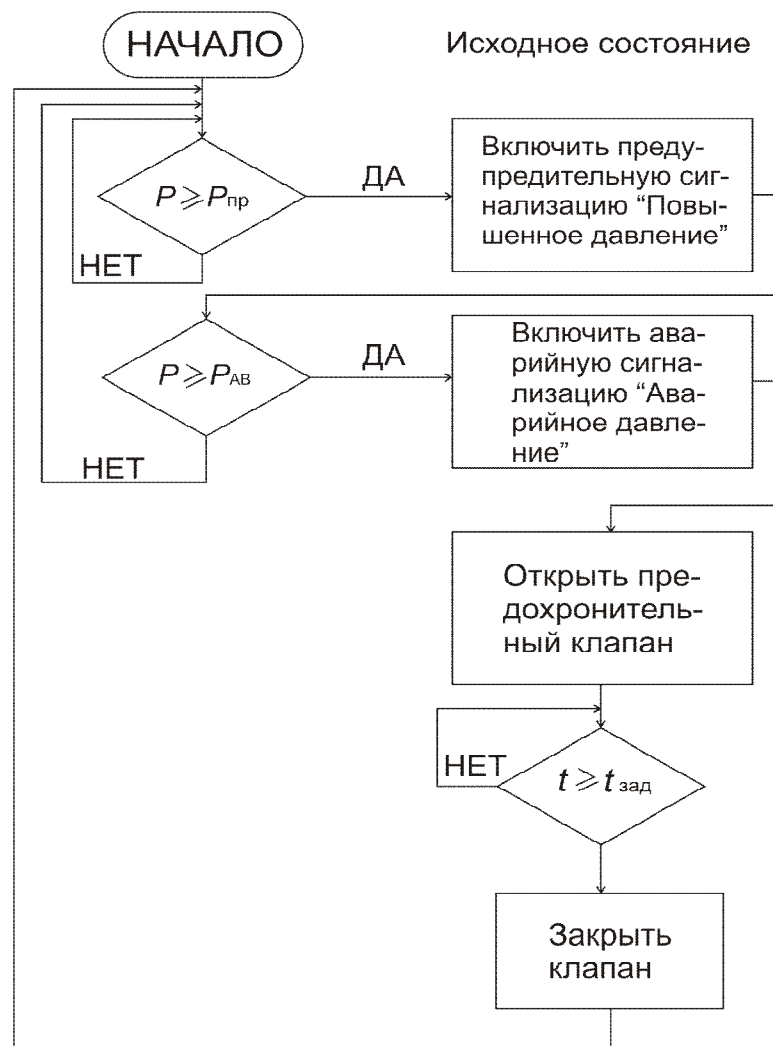


Рис. 4.1. Алгоритм автоматической защиты и сигнализации по давлению в технологическом аппарате:

$P_{пр}$ ,  $P_{ав}$  – заданные значения давления для включения предупредительной сигнализации, защиты и аварийной сигнализации;

$t_{зад}$  – заданное время открытого состояния предохранительного клапана (например, 2 мин.)

В соответствии с алгоритмом (см. рис. 4.1) составлена на языке *SFC* и представлена на рис. 4.2 программа работы контроллера при реализации им функций защиты и сигнализации в проектируемой системе.

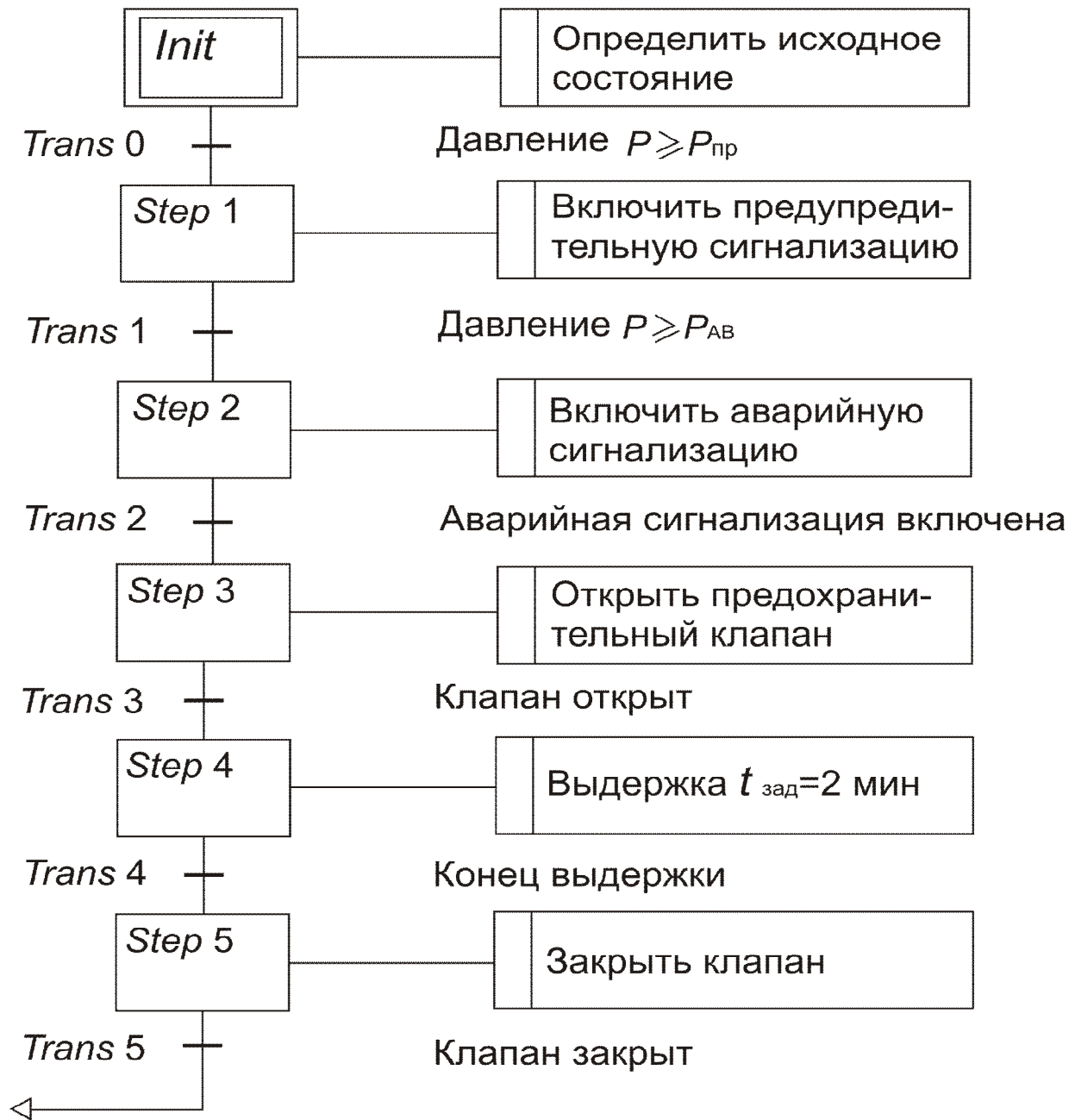


Рис. 4.2. Программа работы контроллера для реализации функций защиты и сигнализации на языке *SFC*:

*Init* – начальный шаг;

*Trans* – переход;

*Step* – текущий шаг

#### 4.2.2. Программа работы контроллера для реализации функции дистанционного управления

Программа, составленная на языке LD, представлена на рис. 4.3.

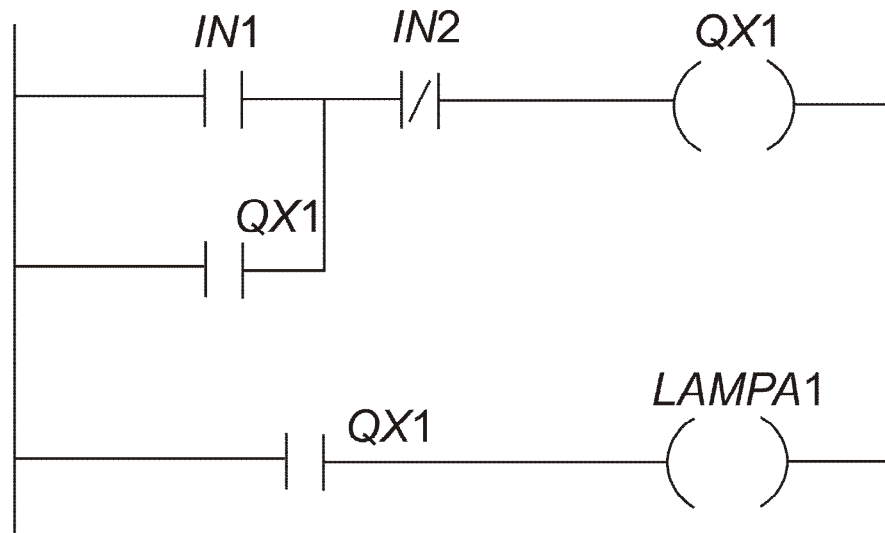


Рис. 4.3. Программа дистанционного управления электродвигателем насоса:

$IN1, IN2$  – входные битовые переменные, поступающие с компьютера при подаче оператором команд вкл/выкл;

QX1 – выходная битовая переменная, управляющая включением/выключением пускателя;

*LAMPA1* – выходная битовая переменная, управляющая световым сигналом на экране компьютера “Пускатель включен”

#### 4.2.3. Программа работы контроллера для реализации функции автоматического регулирования технологического параметра

Программа для автоматического регулирования контроллером технологического параметра (см. ФСА проектируемой системы) составляется на языке *FBD* с использованием в качестве основного функционального блока функции ПИД-регулирования (рис. 4.4) из библиотеки ОВЕН функциональных блоков управления и регулирования. Параметры настройки ПИД-регулятора устанавливаются в

соответствии с данными, полученными при расчете соответствующей САР.

Рассмотрим ПИД-регулирование без автонастройки регулятора [14].

Поведение объекта при классическом ПИД-регулировании демонстрирует кривая 1 на рис. 4.5.

При длительном выходе на уставку может произойти «перерегулирование» объекта, которое связано с тем, что в процессе выхода на уставку накопилось очень большое значение интегральной составляющей в выходном сигнале ПИД-регулятора. После «перерегулирования» начинается уменьшение значения интегральной составляющей, что, в свою очередь, приводит к провалу ниже уставки – «недорегулированию». Только после одного-двух таких колебаний ПИД-регулятор выходит на требуемое значение мощности.

Во избежание «перерегулирования» и «недорегулирования» следует ограничить сверху и снизу значение накопленной интегральной составляющей. Ограничение накопления интегральной составляющей можно задать равное выходной мощности, необходимой для поддержания заданной уставки, определенной опытным путем. Максимальное ограничение необходимо задать на 5...15 % больше этой мощности, а минимальное – на 5...15 % меньше требуемой мощности.

Вид переходного процесса при ограничении накопления интегральной составляющей представлен на рис. 4.5 кривой 3.

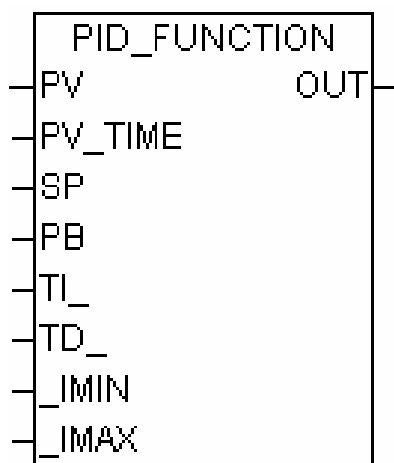


Рис. 4.4. Функциональный блок ПИД-регулирования без автонастройки регулятора

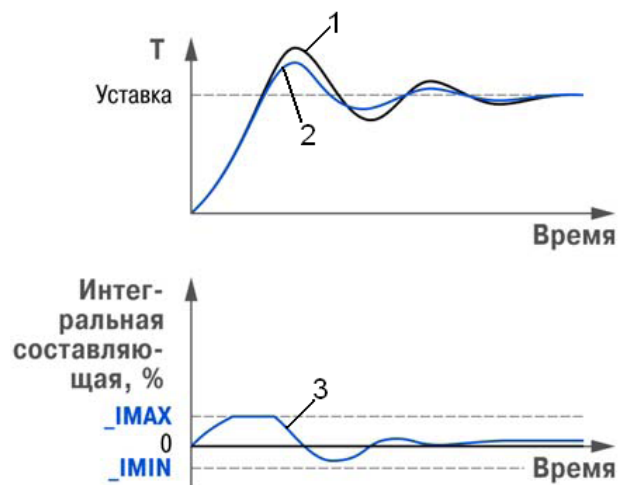


Рис. 4.5. Процесс регулирования температуры



### ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ (см. рис. 4.4)

- PV: REAL;*** – значение регулируемой величины (сигнал обратной связи, приходящий с датчика);
- PV TIME: WORD;*** – время получения значений регулируемой величины (циклическое время), используется для вычисления интегральной и дифференциальной составляющих. Отсчитывается в сотых долях секунды и берется из модуля *UNIVERSAL Sensor*, переменной *Circular time* (т. е. указывается для входной переменной адрес соответствующего модуля конфигурации контроллера в разделе *PLC Configuration*) или получается по сети от приборов ОВЕН. Если функциональный блок используется не с измерителем ОВЕН, то необходимо завести переменную, в которую прибавлять время, равное периодичности вызова блока (периоду вызова *POU*). Единица времени в этой переменной должна равняться 1/100 сек, при переполнении значение должно обнуляться и накопление значения времени должно продолжаться;
- SP: REAL;*** – уставка регулятора;
- PB: REAL;*** – полоса пропорциональности (в единицах регулируемой величины). Показывает насколько сильно действует обратная связь – чем шире полоса пропорциональности, тем меньше величина выходного сигнала *OUT* при одном и том же отклонении (рассогласовании);
- TI: DINT;*** – постоянная интегрирования (4-байтовое целое число со знаком, в секундах). Задаёт инерционность объекта регулирования;
- TD: REAL;*** – постоянная дифференцирования. Рекомендованное соотношение *TD/TI* для большинства объектов лежит в диапазоне от 0,15 до 0,3;

***IMIN: REAL***; – минимальное ограничение накопления интегральной составляющей в диапазоне от -100 до 100;

***IMAX: REAL***; – максимальное ограничение накопления интегральной составляющей в диапазоне от -100 до 100.

**Выход блока:**

***OUT: REAL***; – выходной сигнал регулятора, от минус 100 до +100 % относительной мощности.

Следует помнить, что ПИД-регулятор может осуществлять управление исполнительным механизмом (ИМ) как с постоянной скоростью перемещения РО, так и с переменной скоростью. В первом случае должен использоваться дискретный выход контроллера, а во втором случае – аналоговый выход контроллера, содержащий цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Ниже приведен пример программы на языке *FBD* для регулирования контроллером ПЛК-150 температуры в сушильном шкафу. В контроллере используются аналоговый ввод сигнала от терморезисторного датчика и дискретный вывод с ШИМ-сигналом, управляющим нагревателем. Пример заимствован из источника [2: Библиотека ОВЕН функциональных блоков управления и регулирования].

### Поддержание заданной температуры

**Задача:** в сушильном шкафу необходимо поддерживать определенную температуру. Выбор нужного значения температуры (+80 °С или +90 °С) и переключение режима производится оператором. Система должна с максимально возможной скоростью выходить на заданный режим.

Для реализации системы выбран контроллер ПЛК150-220.У-Л, электрическая принципиальная схема подключения которого приведена на рис. 4.6. Программа для контроллера показана на рис. 4.7.

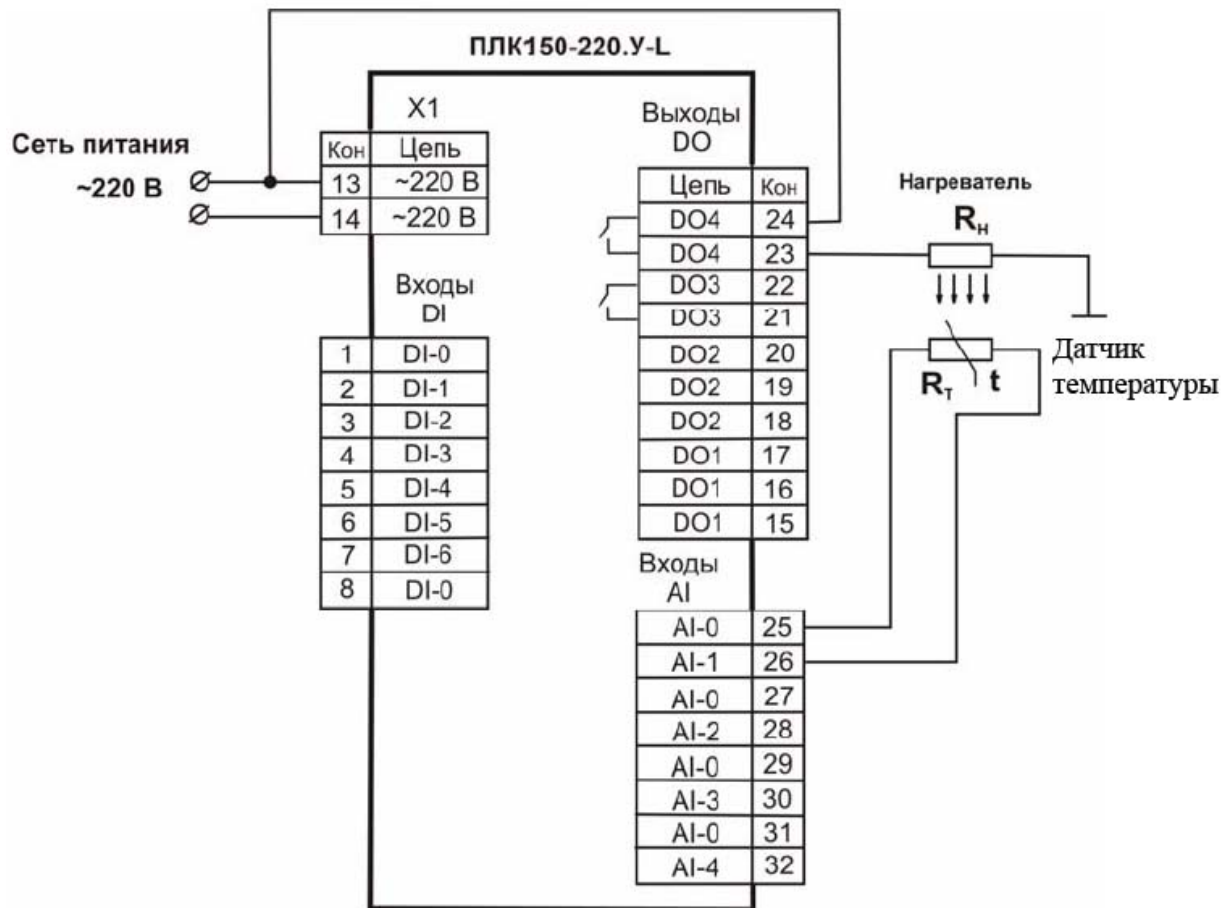


Рис. 4.6. Схема подключения контроллера

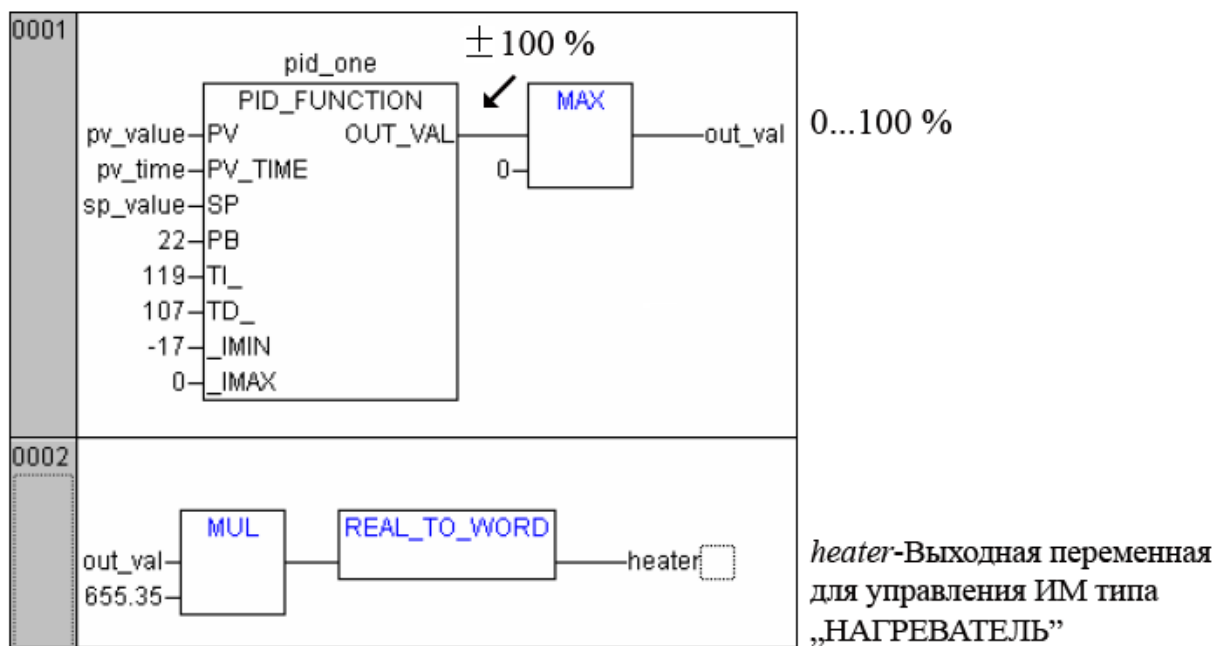


Рис. 4.7. Структура программы

### Пояснения по фрагментам программы:

- 0001** – на входе *SP* ПИД-регулятора в градусах Цельсия указывается значение необходимой температуры (*sp value*=80 или 90). На вход *PV* подается измеренное значение температуры с модуля «*RTD sensor*», рис. 4.8. Параметры на входах *TI*, *TD*, *IMIN*, *IMAX* выбраны экспертным методом. Блок *MAX* в выходном сигнале убирает отрицательные значения;
- 0002** – сигнал *out val* с ПИД-регулятора поступает на блок *MUL* для умножения на 655,35 с целью линейного преобразования выходной мощности регулятора (от 0 до 100) к мощности, подаваемой на ШИМ (0...65535). Далее значение передает его на блок *REAL TO WORD* для преобразования типа данных из *REAL* в *WORD*. С выхода переменная *heater* подается на модуль соответствующего выхода контроллера в канал широтно-импульсной модуляции – «*Pulse-wide modulator*», рис. 4.8.

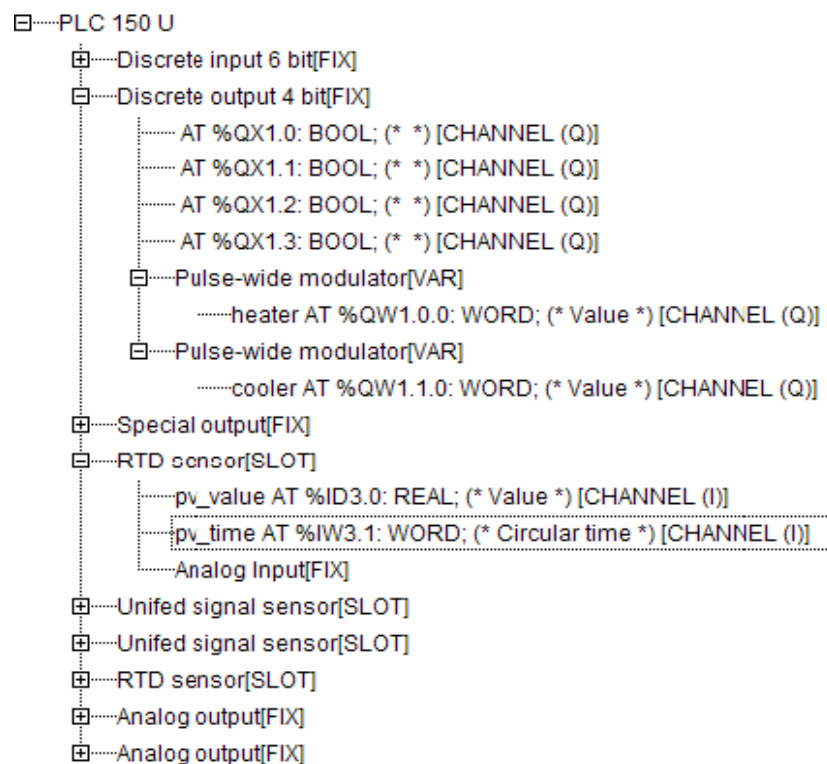


Рис. 4.8. Настройки *PLC-Browser*

На рис. 4.9 показаны сигналы во время работы программы с реальной нагрузкой – нагревательным элементом. При изменении оператором задания с +80 до +90 °С (это отражает ступенька на графике), система постепенно выходит на новый режим стабилизации (зеленая линия).

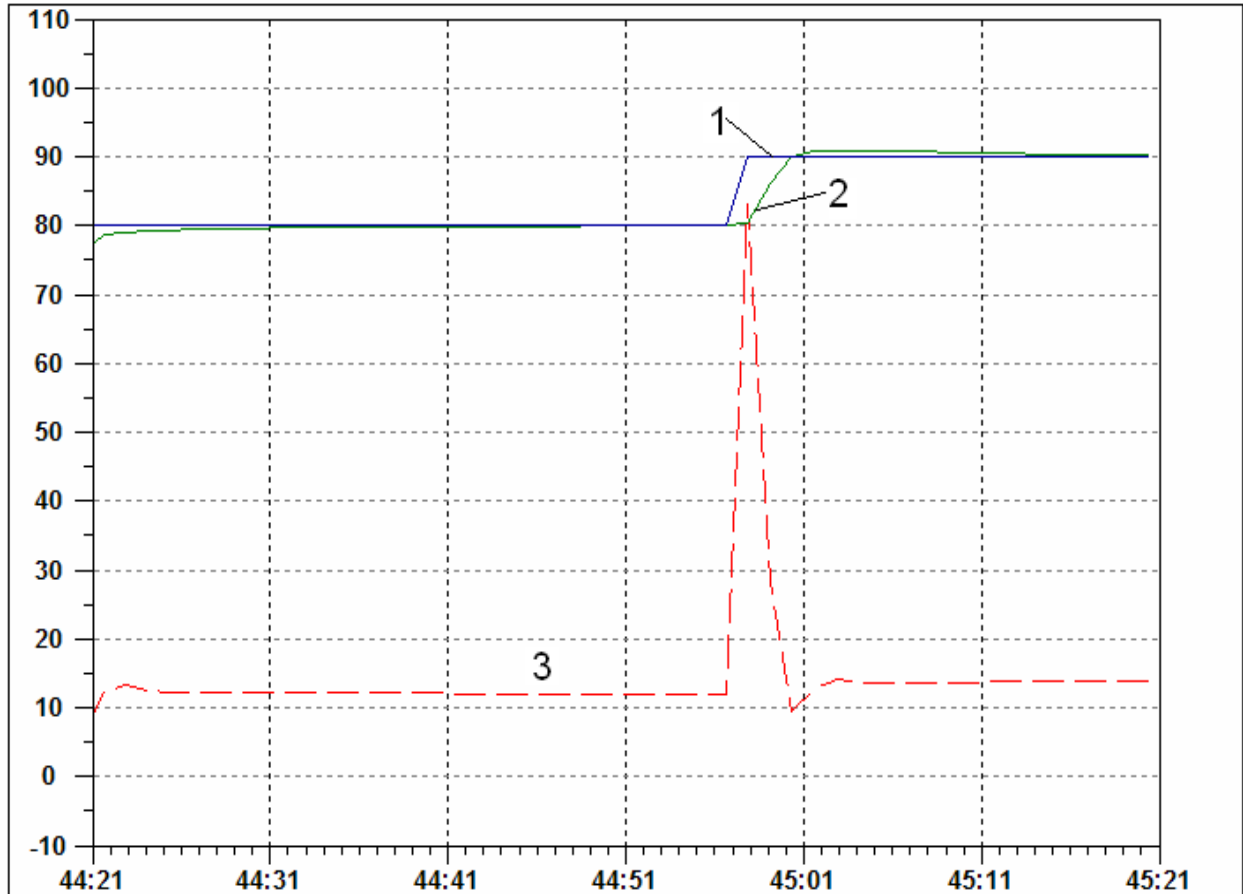


Рис. 4.9. Диаграммы, поясняющие работу программы:

1 – задание на входе (*SP*); 2 – состояние объекта; 3 – сигнал управления на выходе (*heater*)

При использовании в САР исполнительного механизма с аналоговым управлением (с переменной скоростью) для поддержания заданного значения регулируемого параметра может быть использована программа, показанная на рис. 4.10.

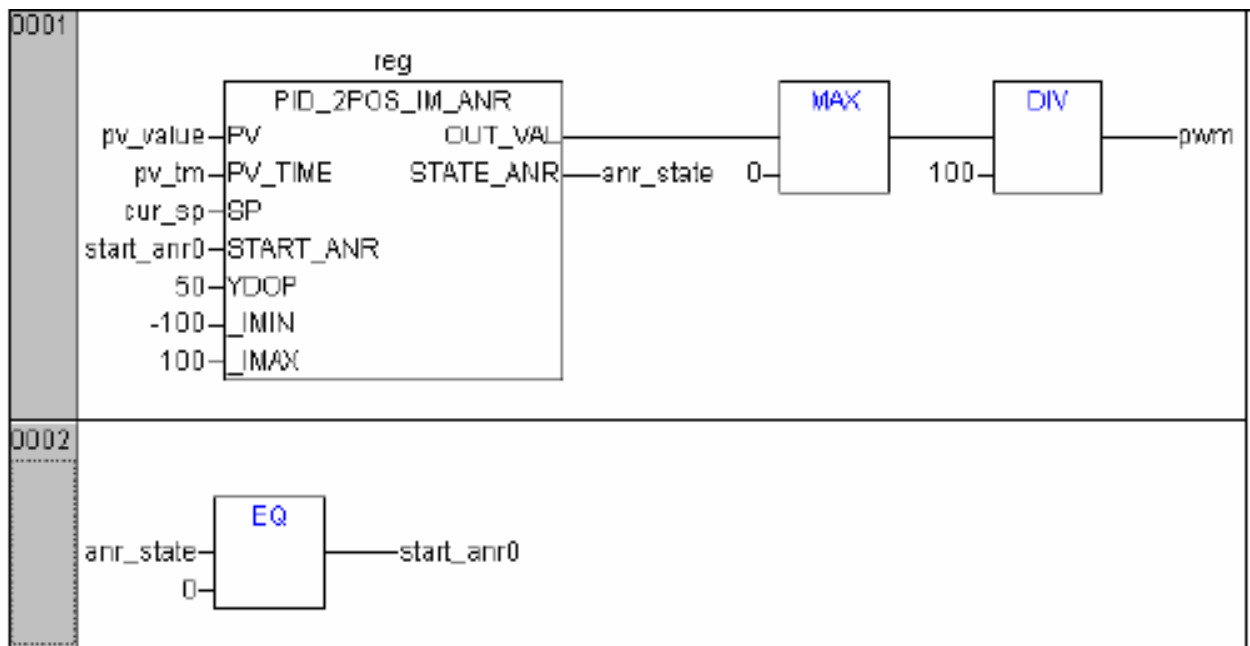


Рис. 4.10. Структура программы

**Пояснения по фрагментам программы:**

**0001** – на входе *SP* ПИД-регулятора указывается значение необходимого регулируемого параметра, например температуры. На вход *PV* подается измеренное значение регулируемого параметра.

Параметры на входах *\_IMIN*, *\_IMAX* выбраны экспертным методом. Блок *MAX* в выходном сигнале убирает отрицательные значения. Следующий блок – *DIV* – делит числовое значение на 100. Далее переменная *pwm* подается на модуль соответствующего выхода контроллера, например, для управления аналоговым выходом – «*Analog output*»;

**0002** – сигнал *anr state* блоком *EQ* сравнивается с нулем и поступает на вход *START\_ANR* ПИД-регулятора для управления работой автонастройки. Автонастройка прекращается, когда на выходе *STATE\_ANR* установится ненулевое значение.

## **Раздел 5. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **5.1. Принципиальные электрические схемы**

В данном подразделе по согласованию с руководителем проекта представляется одна или несколько принципиальных электрических схем (ПЭС) нижнего уровня управления с описанием их работы и спецификаций элементов, выполненных в соответствии с действующими ГОСТами [1, 3, 13].

В качестве ПЭС в проекте могут быть представлены схемы, реализующие, либо весь набор, либо часть функций системы автоматизации, например:

- ПЭС системы автоматизации объекта;
- ПЭС системы автоматического регулирования параметров;
- ПЭС автоматической защиты и сигнализации, либо для всей системы автоматизации либо для некоторой её части;
- ПЭС дистанционного управления приводами как рабочих органов машин так и регулирующих органов системы (исполнительными механизмами).

Методические рекомендации по разработке ПЭС:

- В качестве исходных данных для составления ПЭС используется ФСА системы (см. раздел 2), на который отражены все функции нижнего уровня управления: автоматическое регулирование параметров объекта, автоматическая защита и сигнализация, дистанционное управление механизмами.
- Контроллер (либо иное управляющее устройство) рекомендуется изобразить прямоугольником, выделив в нем поля дискретных и аналоговых входов/выходов (рис. 5.1) и указав точки подключения и уровень напряжения питания. Контактные точки входов/выходов должны иметь порядковую нумерацию, что необходимо для составления схемы соединений элементов системы.
- Датчики на ПЭС также могут быть изображены прямоугольниками, если возникают трудности в поиске их принципиальных схем.

- Пусковая аппаратура (реле, контакторы, пускатели), преобразователи энергии, электродвигатели, кнопки и другие элементы ПЭС изображаются в строгом соответствии с действующими стандартами.
- Работа ПЭС описывается соответствующим текстом.

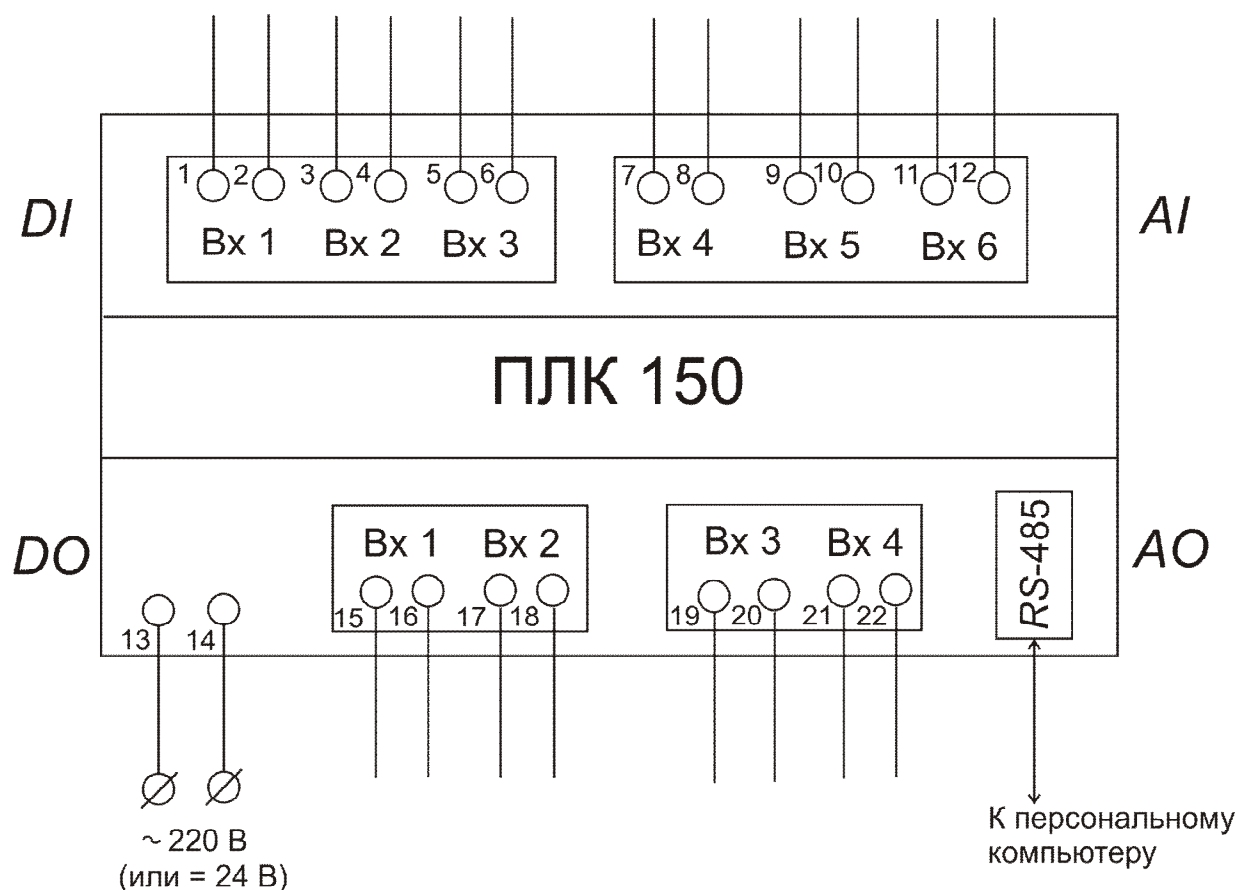


Рис. 5.1. Пример изображения программируемого контроллера ПЛК 150:

*RS-485* – интерфейсный модуль; *DI* – дискретные входы; *DO* – дискретные выходы; *AI* – аналоговые входы; *AO* – аналоговые выходы; 1, 2 ... 22 – контакты входов/выходов

## 5.2. Схемы электрических соединений и подключения

В этом подразделе по согласованию с руководителем проекта представляются с описанием одна или две схемы электрических соединений или схемы подключения элементов автоматизации (на-



пример, схема подключения к контроллеру внешних цепей), выполненные по правилам, изложенным в [1, 3, 13].

Методические рекомендации по разработке схем соединений и подключения:

- Схему электрических соединений элементов системы следует выполнять графическим способом, используя ПЭС этой системы в качестве исходных данных. Схема соединений необходима для выполнения монтажа системы и ремонтных работ в процессе эксплуатации системы;
- На схеме соединений должны быть изображены прямоугольниками все устройства и элементы системы, их входы и выходы (разъемы, клемники, шины и т.п.), а также проводки (кабели, жгуты, проводники), обеспечивающие соединение между этими устройствами и элементами (датчиками, регуляторами, контроллерами, исполнительными механизмами и др.). Для каждой электрической проводки следует привести её технические характеристики: марку, сечение, длину и др.
- Схема соединений или подключения кратко описывается в тексте с указанием соединяемых (подключаемых) элементов для каждой функции управления (регулирование, защита, сигнализация и т.п.).

### 5.3. Примеры электрических схем

В качестве примеров электрических схем системы ниже приводятся ПЭС и схема соединений лабораторного стенда системы автоматизации компрессорной установки (САКУ).

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связь между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации.

На рис. 5.2 изображена ПЭС лабораторного стенда САКУ.

При включении автоматического выключателя QF в схему подается напряжение, загорается контрольная лампа *HL1* (СЕТЬ).

При нажатии кнопки *SB1* (ПУСК) через нормально закрытые контакты выходного устройства ВУ6 (ТРМ 138), кнопки *SB2* (СТОП), тумблеров *SA3.1* и *SA3.2* (РАБОТА/НАЛАДКА) срабаты-

вает магнитный пускатель КМ и получает питание реле времени УТ 24. Пускатель КМ своими контактами КМ1.1 и КМ1.2 включают мотор М компрессора, контактом КМ2 блокирует кнопку *SB1*, а контактом КМ3 подготавливает цепь ВУ5 (ТРМ 138), УТ1 (УТ24) для регулирования давления воздуха электропневмоклапаном *YA1* (ЭПК1 н.о.). О работе *YA1* сигнализирует лампа *HL2* (НАГРУЗКА).

Цепь УТ2 (УТ 24) *YA2* (ЭПК2 н.з.) обеспечивает продувку конденсата, о чем сигнализирует лампа *HL3* (ПРОДУВКА).

Тумблеры *SA1* и *SA2* используются в схеме измерений ТРМ 138 для имитации обрыва датчиков температуры, соответственно,  $t^{\circ}_{\text{В}}$  и  $t^{\circ}_{\text{М}}$ .

Отключение производится кнопкой *SB2* (СТОП), либо контактом ВУ6 (при достижении предаварийных параметров) в автоматическом режиме.

Для выполнения монтажа системы автоматизации необходимы схемы соединений ее элементов. Они показывают проводные связи между элементами, маркировку соединительных проводов и мест подключений (клемм). Схема соединений лабораторного стенда САКУ приведена на рис. 5.3. На схеме изображены следующие элементы:

- САПФИР – преобразователь измерительный Сапфир-22м;
- ТСМ1 и ТСМ2 – термометры сопротивления типа дТС-50М;
- SA1*, *SA2*, *SA3* – тумблеры;
- ТРМ138 – измеритель-регулятор универсальный;
- УТ24 – микропроцессорное реле времени;

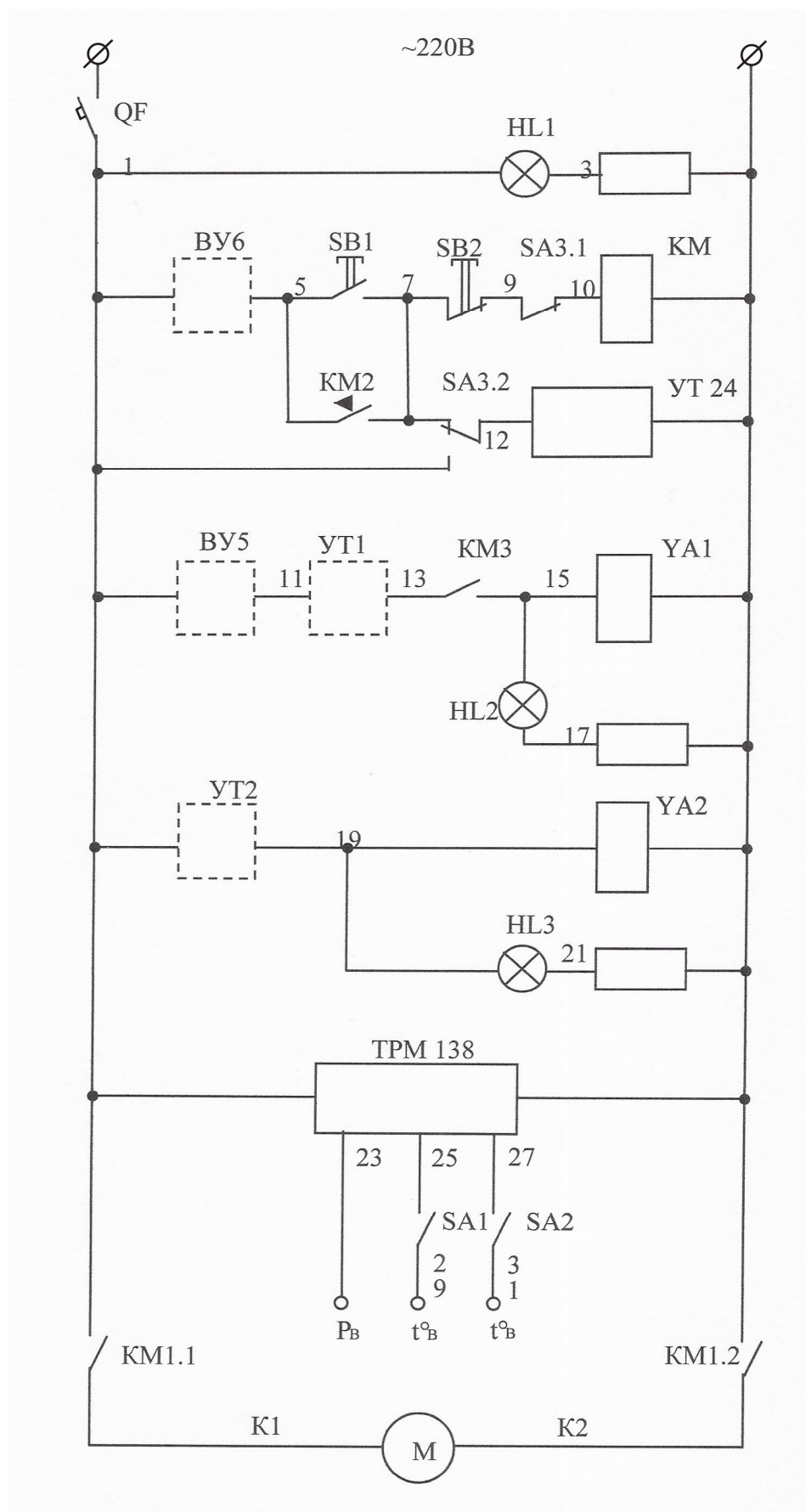


Рис. 5.2. ПЭС лабораторного стенда САКУ

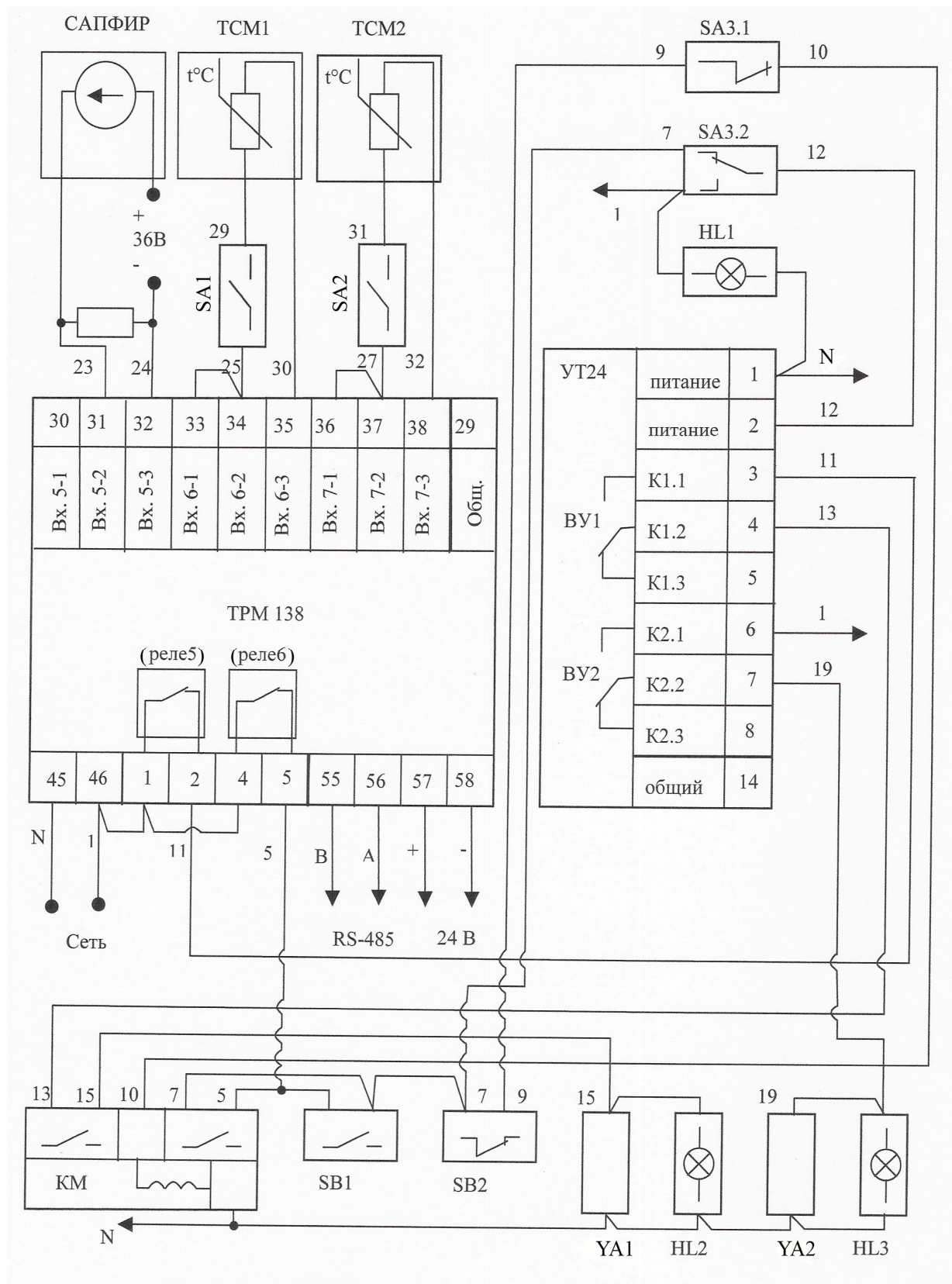


Рис. 5.3. Схема соединений стенда САКУ

*HL1, HL2, HL3* – светодиоды сигнальные;

*KM* – магнитный пускатель;

*SB1, SB2* – кнопки управления ПУСК, СТОП;

*YA1, YA2* – электропневмоклапаны типа ПР-Э 3.25.

Монтаж электропроводки выполнен проводом типа ПВ1 сечением  $1,5 \text{ мм}^2$ .

## **Раздел 6. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **6.1. Общие положения**

Задачей расчета надежности локальных систем автоматизации является определение показателей, характеризующих их безотказность и ремонтпригодность. Расчет складывается из следующих этапов:

- Определение видов отказа системы и состава рассчитываемых показателей надежности;
- Разделение рассматриваемой системы на отдельные элементы, для которых в технической литературе приводятся показатели надежности. Если данные показатели приводятся для комплекта аппаратуры, то этот комплект необходимо рассматривать как одно изделие;
- Формирование понятия отказа для отдельных элементов и системы в целом, при этом данное понятие должно быть сформулировано по внезапным и постепенным отказам;
- Составление структурной (логической) схемы расчета надежности системы, основанной на анализе функционирования системы, учете резервирования, восстановления, контроля исправности элемента и т. д.;
- Определение безотказности работы элементов, которые имеют основное (последовательное) соединение, т. е. тех элементов, отказ каждого из которых приводит к отказу всей системы;
- Определение характеристик надежности восстанавливаемых элементов с учетом показателей безотказности и восстанавливаемости;
- Определение основных показателей надежности всей системы с учетом резервирования, временной и структурной избыточности.

При расчете надежности локальных систем автоматизации характерными показателями, которые используются в таком расчете, являются: средняя наработка до отказа системы, вероятность ее безотказной работы за заданное время, коэффициент готовности и параметр потока отказов. Количество данных показателей расши-

ряется, если анализируется вероятность работы системы с учетом постепенных (параметрических) отказов элементов.

Структурная схема для расчета надежности отличается от функциональной схемы автоматизации. Она представляет собой графическое отображение элементов и связей системы, позволяющее однозначно определить ее состояние (работоспособное или неработоспособное) по состоянию ее элементов. Если отказ элемента независимо от его назначения вызывает отказ системы, то элемент соединяют последовательно с остальными элементами. Последовательное соединение элементов называют также основным, а параллельное - резервным. Для многофункциональных систем структурные схемы составляют для каждой функции системы и называют надежно - функциональными.

В зависимости от требований, предъявляемых к надежности системы, расчет характеристик надежности может быть разделен на предварительный и окончательный. При предварительном расчете учитываются основные факторы, влияющие на надежность системы. При этом, как правило, рассматриваются только внезапные отказы элементов без учета их восстановления. При окончательном расчете надежности формируются понятия по постепенным (параметрическим) отказам системы, которые возникают в процессе ее эксплуатации в виду изменения характеристик элементов. Постепенный отказ наступает тогда, когда система перестает обеспечивать требуемые (заданные) показатели функционирования (точность, статическую, динамическую ошибку и т.д.). В окончательном расчете также определяются показатели восстанавливаемости системы при конечном времени восстановления отказавшего элемента. При этом данное время в системах автоматизации обычно включает в себя промежутки времени на поиск отказавшего элемента и его замену.

Окончательный (частично предварительный) расчет надежности локальных систем автоматизации связан с трудностями, определяемыми следующими причинами:

- Зависимость показателей надежности от условий эксплуатации, которые могут существенно различаться для разнородных производств, поэтому паспортные данные по надежности могут не соответствовать их фактическим значениям;

- По некоторым элементам систем автоматизации показатели надежности могут отсутствовать, например, по запорной арматуре, трубным линиям и т.д.;

- Показатели надежности восстанавливаемых элементов систем автоматизации зависят от многих факторов (используемой системы поиска неисправностей, количеством и квалификацией обслуживающего персонала и т.д.), поэтому в литературе их численные значения зачастую не приводятся.

Ориентировочную оценку степени влияния условий эксплуатации на надежность элементов систем автоматизации определяют экспериментально по среднегрупповым интенсивностям отказов и пересчетным коэффициентам, которые находятся как отношение интенсивности отказов однотипных элементов в реальных условиях эксплуатации к паспортным данным по интенсивности отказов данных элементов.

Для элементов, у которых отсутствуют показатели надежности, рекомендуется пользоваться данными по надежности других близких к ним по конструкции устройств.

В курсовом проекте рекомендуется выполнять предварительный расчет надежности локальных систем автоматизации. При этом перед началом расчетов необходимо задаться требуемыми показателями надежности. Чаще всего для этой цели используют среднее время безотказной работы (среднюю наработку до отказа). Обычно этот показатель должен быть приблизительно равен межремонтному периоду основного оборудования. Его значение может быть принято по данным табл. 2.1 (см. раздел 2).

Предварительный расчет надежности САР. Его значение может быть принято по данным табл. 2.1 системы автоматизации, рассмотрен на приводимом ниже примере. Показатели надежности некоторых средств автоматизации приведены в приложении 5.

## **6.2. Пример расчета надежности системы**

Для реализации каскадной САУ с односторонней автономностью выбран следующий комплект технических средств: два первичных преобразователя температуры типа ТХК-1087, нормирующий преобразователь БУТ 20, клеммно-блочный соединитель КБС-



3, блок контроллера БК-21/П, блок питания БП-21, пульт настройки контроллера ПН-21, электропневмопреобразователь ЭПП, регулирующий клапан 25 с 54 нж (нз), соединительные провода и кабели (СП). Надежность САУ оценивается по среднему времени безотказной работы ( $T_{\text{ср}}$ ) – не менее 1 года.

На первом этапе определения надежности САУ формируем структурную схему САУ с выделением отдельных элементов, (рис. 6.1).

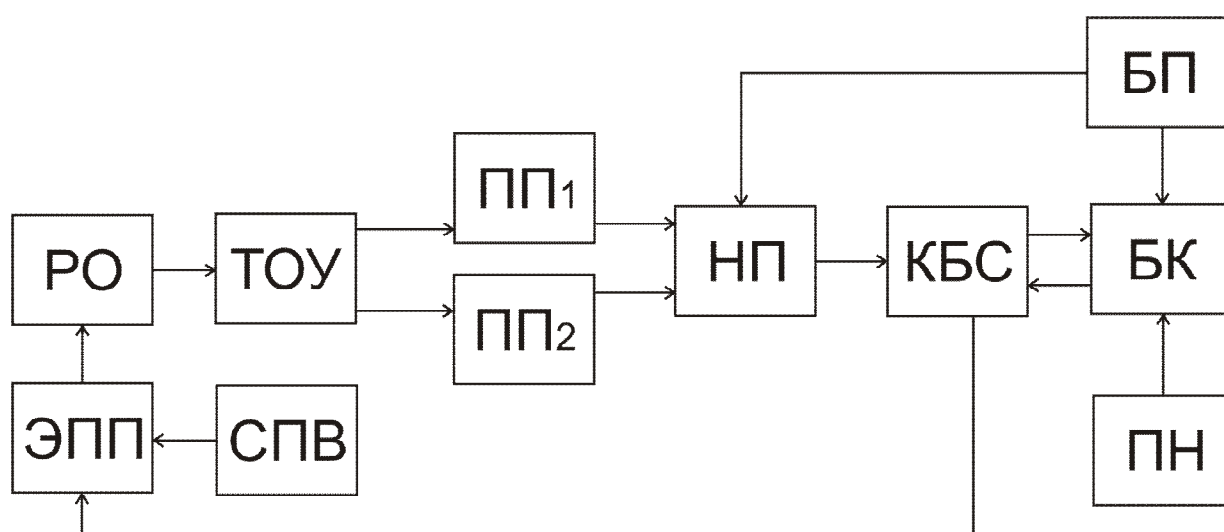


Рис. 6.1. Функциональная структура САУ:

ПП<sub>1</sub>, ПП<sub>2</sub> – первичные преобразователи температуры ТХК-1087; НП – нормирующий преобразователь (блок усиления термопар) БУТ-20; КБС – клеммно-блочный соединитель КБС-3; БК – блок контроллера РЕМИКОНТ Р-130 (БК-21/П); БП – блок питания БП-21; ПН – пульт настройки ПН-21; ЭПП – электропневмопреобразователь ЭПП; СПВ – станция подготовки воздуха; РО – регулирующий клапан 25 с 54 нж (нз); ТОУ – технологический объект управления

На втором этапе сформируем понятия внезапного отказа для отдельных элементов и системы в целом.

Для сложных изделий, прошедших период приработки, рекомендуется применять экспоненциальный закон распределения времени отказов, когда потеря изделием работоспособности зависит от случайных факторов.

В этом случае вероятность безотказной работы  $P(t)$  связана с интенсивностью отказов  $\lambda$  и средним временем безотказной работы  $T_{\text{ср}}$  следующей зависимостью:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{T_{\text{ср}}}} \quad (6.1)$$

Внезапные отказы для всех элементов, показанных на рис. 6.1, заключаются в невозможности элемента выполнять свои функции ввиду обрыва проводов, короткого замыкания и т. д. Отказ системы в целом будет заключаться в потере системой устойчивости, выходе управляемой (регулируемой) переменной за предельные значения показателей качества управления.

При составлении логической схемы расчета надежности предварительно необходимо провести анализ как изменится надежность системы при отказе каждого её элемента.

Отказ первичного преобразователя ПП<sub>1</sub>, используемого для измерения основной регулируемой переменной приводит к отказу всей системы. Отказ ПП<sub>2</sub> приводит к тому, что каскадная САУ с односторонней автономностью начинает работать как одноконтурная САУ, при этом не обеспечивается требуемое качество управления. Поэтому можно считать, что отказ ПП<sub>2</sub> приводит к отказу всей САУ.

При отказе нормирующего преобразователя НП, клеммно-блочного соединителя КБС, блока контроллера БК, электропневматического преобразователя ЭПП, регулирующего органа РО и станции подготовки воздуха СПВ произойдет отказ всей САУ. Отказ блока питания БП приводит к отказу БК, НП, к прерыванию связи с сетью "ТРАНЗИТ". Исходя из этого, считаем, что отказ БП приводит к отказу всей системы. Так как пульт настройки ПН используется только в режиме программирования контроллера, то его отказ не повлечет за собой отказ всей системы. Поэтому он не включен в логическую схему расчета надежности САУ, которая приведена на рис. 6.2.

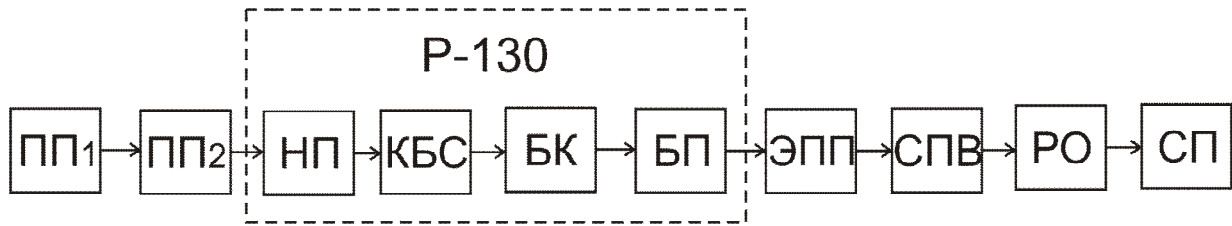


Рис. 6.2. Логическая схема расчета надежности САУ

Так как отказ любого элемента приводит к отказу всей системы, логическая схема расчета надежности САУ (рис. 6.2) представляет собой последовательное соединение всех элементов. В этом случае вероятность безотказной работы САУ при условии независимости отказов элементов будет определяться из следующего выражения:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (6.2)$$

где  $n$  – количество элементов в логической схеме;  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$  элемента.

Для расчета надежности САУ из справочной литературы были взяты показатели надежности элементов:

- ТХК - 1087:  $\lambda_1 = 15,0 \cdot 10^{-6}$ ,  $\frac{1}{\text{ч}}$  ;
- ЭПП:  $\lambda_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ ,  $\frac{1}{\text{ч}}$  ;
- 25с 54нж:  $\lambda_3 = 18 \cdot 10^{-6}$ ,  $\frac{1}{\text{ч}}$  ;
- СП:  $\lambda_4 = 2 \cdot 10^{-6}$ ,  $\frac{1}{\text{ч}}$  (для всех линий связи с суммарной длиной 200 м);
- Р-130 – средняя наработка до отказа комплекта, состоящего из 4 элементов, 10 000 часов или  $\lambda_5 = \frac{1}{10^4} = 100 \cdot 10^{-6}$ ,  $\frac{1}{\text{ч}}$  ;
- СПВ:  $\lambda_6 = 10 \cdot 10^{-6}$ ,  $\frac{1}{\text{ч}}$  .

В соответствии с выражениями (6.1, 6.2) была рассчитана вероятность безотказной работы САУ для разных сроков эксплуата-

ции системы и построен график изменения данного показателя во времени, показанный на рис. 6.3.

Среднее время безотказной работы САУ определится из следующего выражения:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (6.3)$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{10^6}{150 \cdot 8760} = 0,76 \text{ года}$$

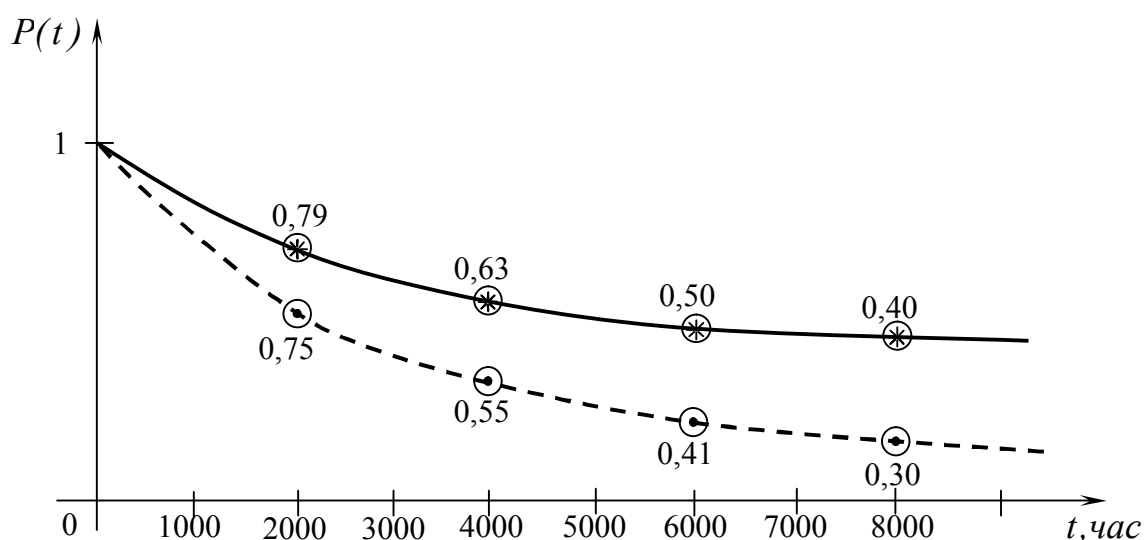


Рис. 6.3. График изменения вероятности безотказной работы САУ во времени:  $\odot$  – без резервирования;  $\otimes$  – с резервированием

Полученное среднее время безотказной работы меньше данного показателя, указанного в требованиях к надежности САУ. Поэтому необходимо повысить надежность САУ путем резервирования наиболее ненадежного элемента. Таким элементом является микропроцессорный контроллер РЕМИКОНТ Р-130. Среднее время безотказной работы резервированной группы элементов при постоянном включении резерва может быть подсчитано по формуле:

$$T_i^p = T_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{n-i+1}, \quad (6.4)$$

где  $T_i$  – среднее время безотказной работы одного элемента (комплекта);  $n$  – число элементов (комплектов) в группе.

$$T_i^p = 10000 \cdot \left( \frac{1}{2-1+1} + \frac{1}{2-2+1} \right) = 15000 \text{ часов.}$$

Интенсивность отказов двух комплектов элементов, входящих в контроллер РЕМИКОНТ Р-130 составит

$$\lambda_i^p = \frac{1}{1,5 \cdot 10^4} = 66 \cdot 10^{-6}, \frac{1}{\text{ч}}.$$

Среднее время безотказной работы САУ при включении резерва составит:

$$T_{\text{ср}}^p = \frac{10^6}{116 \cdot 8760} = 1,02 \text{ года.}$$

Так как  $T_{\text{ср}}^p > T_{\text{ср}}^d$  ( $1,02 > 1,0$ ), то считаем, что выбранный состав элементов и структура САУ удовлетворяют требованиям к надежности системы.

График изменения вероятности безотказной работы САУ во времени при использовании нагруженного резерва показан на рис. 6.3 непрерывной линией.

## ПИЛОЖЕНИЕ 1

### ПРАВИЛА РАБОТЫ С СИСТЕМОЙ «*IPC-CAD*»

При работе с системой «*IPC-CAD*» пользователь может выполнять следующие элементарные действия:

- 1) работать с меню;
- 2) вводить данные по запросу системы;
- 3) просматривать на экране результаты и печатать графики;
- 4) просматривать на экране схемы САР;
- 5) просматривать на экране и печатать протоколы работы с системой.

#### Работа с меню

Меню системы *IPC-CAD* включает в себя набор следующих САР и операций:

- 1) одноконтурная САР.
- 2) САР с предиктором Смита.
- 3) комбинированная САР.
- 4) каскадная САР.
- 5) каскадная САР с промежуточным импульсом.
- 6) каскадная САР с односторонней автономностью.
- 7) САР опережающим импульсом.
- 8) назначение и область применения.

Клавишами  $\uparrow \downarrow$  устанавливается нужная позиция меню и производится ее выбор нажатием клавиши *ENTER*. Вначале желательно выполнять все задания по порядку, определяемому позициями меню. При этом можно повторять выполнение задания, выбирая позицию повторно, или возвращаясь назад по меню на любую позицию. Позиции «Вывод схемы САР на экран», «Вывод протокола на экран», «Помощь» можно выбирать в любой последовательности по желанию.

После того, как все необходимые позиции меню пройдены и соответствующие задания выполнены, выбирается позиция меню, предназначенная для ухода из данного меню и продолжения работы. Для возврата из меню на предыдущее меню используется кла-

виша *ESC*. Во время работы с меню в нижней части экрана имеется подсказка.

### **Ввод данных**

Число набирается на клавиатуре и вводится нажатием клавиши *ENTER*. При вводе действительного числа его целая и дробная части разделяются точкой. Если дробной части нет, точка необязательна.

Примеры форм представления действительных чисел:

число 5 можно представить в виде 5 или 5.

число 0.5 – можно представить в виде 0.5 или .5

Параметры объекта, регулятора и компенсатора по запросу системы набираются на клавиатуре и вводятся нажатием клавиши *ENTER*.

Ошибку в наборе числа до нажатия *ENTER* можно исправить, используя для возврата клавишу ←.

Существует контроль введенных данных. Если при вводе были допущены ошибки, то пользователь получает соответствующее сообщение и должен повторить ввод данных.

Значения постоянных времени объекта, запаздывания, длительностей импульсных возмущений, шага моделирования вводятся в одних и тех же выбранных пользователем единицах времени.

На вопрос системы, предполагающий ответы "да/нет", пользователь должен ввести латинские символы: *y* – да, *n* – нет.

### **Просмотр на экране и печать графиков**

Выход из режима просмотра графиков осуществляется по клавише *ENTER* (а также по любой другой клавише).

В случае необходимости печать графиков осуществляется нажатием клавиши *Print Screen*.

## **Просмотр на экране схемы САР**

Выход из режима просмотра схемы САР осуществляется по клавише *ESC*.

## **Просмотр на экране и печать протокола работы**

Пользователь, находясь в главном меню, имеет возможность вызывать протокол на экран, листая его вперед клавишей ↑. Возврат в главное меню – по клавише *ESC*.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ПРАВИЛА РАБОТЫ С ОДНОКОНТУРНОЙ САР

#### Меню одноконтурной САР

Меню включает в свой состав набор следующих операций:

- 1) задание характеристик объекта;
- 2) вывод передаточной функции на экран;
- 3) экспресс наладка САР;
- 4) настройка САР;
- 5) вывод протокола на экран.

Пользователь в общем случае может провести следующие работы по настройке одноконтурной САР:

- Задание динамических свойств объекта: они могут быть заданы либо в форме передаточной функции (вводимой в ПЭВМ с пульта или из заранее подготовленного файла в виде значений ее коэффициентов), либо экспериментальной кривой разгона (вводимой также с пульта или из файла и задаваемой полной таблицей значений ее ординат в разные моменты времени или значениями ординат нескольких характерных точек), либо экспериментальным переходным процессом, снятым на объекте при произвольном изменении входной переменной (вводимой из файла, содержащего в определенной последовательности таблицу значений входной и выходной переменных для разных моментов времени). Для астатических объектов динамические свойства задаются в форме передаточной функции;
- Вывод на экран, заданной пользователем непосредственно или полученной системой путем идентификации по экспериментальным данным, передаточной функции объекта;
- «Экспресс-наладку» САР, в результате которой без какой-либо дополнительной информации от пользователя рассчитываются и выводятся на экран рекомендуемые значения параметров настройки регулятора, а также график переходного процесса при скачкообразном возмущении по нагрузке (для иллюстрации достигаемого при данных параметрах настройки качества регулирования);

- Настройку САР с выбираемым пользователем типом регулятора;
- Вывод на экран и на печатающее устройство протокола, фиксирующего все процедуры, выполненные пользователем в сеансе работы с системой к данному моменту времени, а также их результаты.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### РАБОТА В СИСТЕМЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ *CoDeSys*

*CoDeSys* (сокращение от слов *Controller Development System*) – это инструмент программирования промышленных компьютеров и контроллеров, опирающийся на международный стандарт МЭК 61131-3.

### Редакторы *CoDeSys*

*CoDeSys* предоставляет встроенные специализированные редакторы для всех пяти языков МЭК 61131-3 и дополнительный *CFC* редактор:

- Список Инструкций (*IL*);
- Функциональные блочные диаграммы (*FBD*);
- Релейно-контактные схемы (*LD*);
- Структурированный текст (*ST*);
- Последовательные функциональные схемы (*SFC*):
  - мониторинг времени исполнения шагов;
  - автоматический анализатор причин ошибок;
  - набор управляющих флагов: сброс, разрешение мониторинга, фиксация переходов и т.д.
- Непрерывные функциональные диаграммы (*CFC*):
  - автоматическая расстановка и соединение;
  - макро опция для структурирования больших диаграмм.

Два специальных редактора управляют прикладной средой исполнения:

- **Конфигуратор задач** задает:
  - циклические задачи и задачи, исполняемые по событиям;
  - параметры сторожевого таймера;
  - настройку событий.
- **Конфигуратор ввода-вывода** обеспечивает:
  - *Profibus* конфигурирование на основе *GSD* файлов;
  - *CANopen* конфигурирование на основе *EDS* файлов;
  - *ASI* конфигурирование;

- специфическое конфигурирование модульных *I/O* систем.

## **Технические особенности редакторов *CoDeSys***

### **Структурирующие графические редакторы**

Редакторы *FBD*, *LD* и *SFC* автоматически размещают свои графические элементы и соединения в соответствии со структурой диаграммы. Это ускоряет ввод, гарантирует логически согласованное отображение и практически избавляет от ручного ввода.

### **Автоматическое объявление**

В соответствии с требованиями МЭК 61131-3 переменные проекта должны быть объявлены явным образом. Для этого окна редакторов имеют отдельный раздел объявлений, представленный в виде текста или таблицы. *CoDeSys* помогает пользователю при создании объявлений. Переменные и их свойства задаются в диалоговом окне, которое открывается автоматически при вводе нового идентификатора.

### **Автоматическое форматирование и Синтаксическое цветовое выделение**

По желанию пользователя текст кода и объявлений автоматически форматируется и выделяется цветом. Это облегчает восприятие и положительно влияет на качество и эффективность работы.

### **Ассистент ввода**

Ассистент ввода удобно использовать, когда необходимо ввести имя переменной, ключевое слово, название подпрограммы из библиотеки или из текущего проекта. Для подпрограмм автоматически формируется и список параметров. Ассистент ввода сводит к минимуму ручной труд и связанные с этим ошибки, пользователь просто выбирает нужные элементы из структурированного отсортированного списка.

### **Комфортабельное сравнение проектов**

Не столько при написании программ, сколько при вводе в эксплуатацию и перенастройке машин, возникает необходимость

сравнения текущего проекта с другими. В процессе сравнения *CoDeSys* выделяет отличия в разделенных окнах так, что они становятся легко заметными.

## **Компилятор**

Встроенный компилятор *CoDeSys* создает быстрый машинный код непосредственно из МЭК приложения. Помимо логических переменных, компилятор поддерживает: целые и битовые переменные, длительность, время дня и дату, вычисления в формате с плавающей запятой, строки, массивы, структуры и перечисления.

Сверх требований стандарта МЭК реализованы:

- битовый доступ;
- типизированные указатели;
- концепции объектно-ориентированного программирования.

## **Средства отладки и сопровождения**

### **Мониторинг/Запись/Фиксация значений переменных**

В режиме *Online* текущие значения переменных «оживают» непосредственно в окнах редакторов. В любое время пользователь может изменить либо принудительно зафиксировать нужное значение.

### **Точки останова/Пошаговое выполнение/Выполнение одного цикла/Контроль процесса исполнения**

Установка точек останова и возможность пошагового исполнения позволяют легко обнаружить допущенные ошибки. В режиме выполнения по циклам исполняется один рабочий цикл контроллера. При включенном контроле исполнения, в зависимости от редактора, доступны полезные вспомогательные переменные, например, текущее и предшествующее значения аккумулятора в *IL*.

### **Онлайн коррекция кода**

Существует возможность исправить работающую программу без необходимости остановки контроллера и риска потери текущих

значений переменных. Измененные фрагменты компилируются, загружаются и моментально включаются в работу. Допустима замена отдельных программных блоков, переменных и даже типов данных.

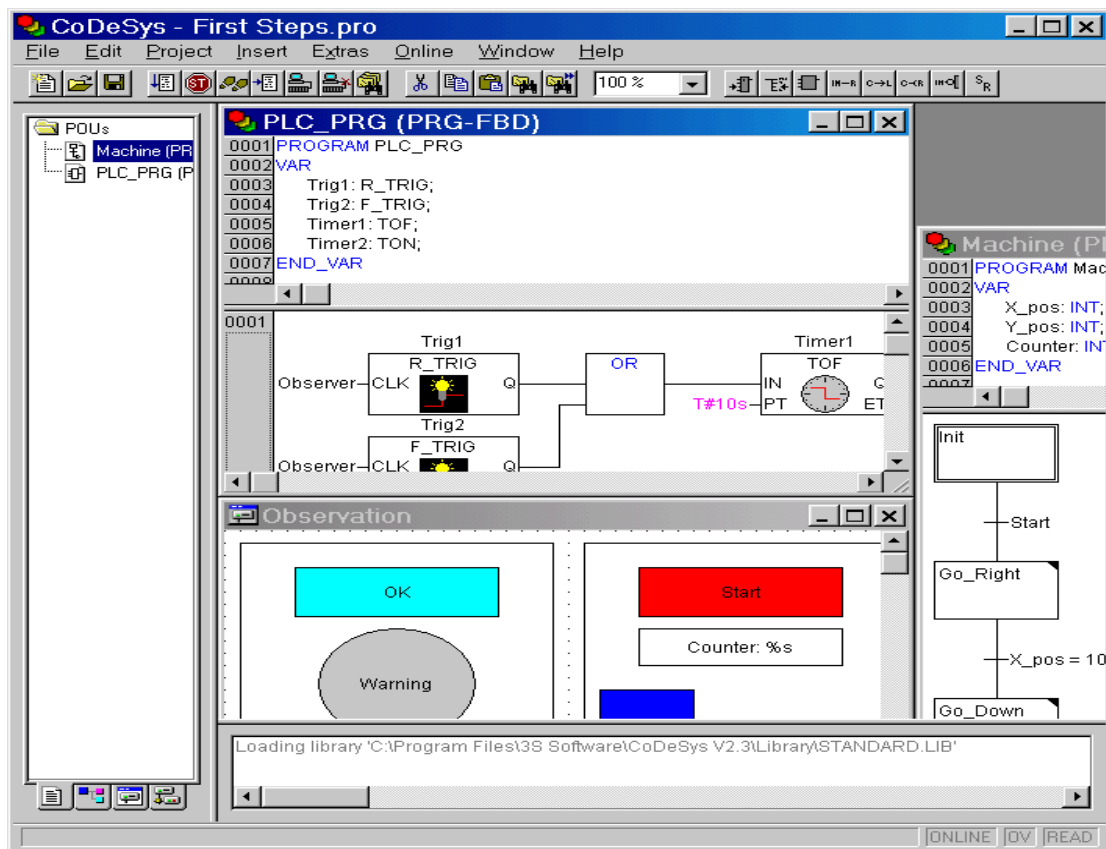
### Трассировка

Трассировка – это удобный инструмент, представляющий собой встроенный «цифровой многоканальный запоминающий осциллограф». С его помощью очень легко графически отслеживать изменение значений переменных во времени с привязкой запуска к определенному событию. Трассировка исключительно удобна не только при отладке программы, но и при исследовании работы внешнего оборудования.

### Эмуляция

Эмулятор позволяет проверить работу приложения без подключения контроллера. *CoDeSys* имеет встроенный эмулятор, работа с которым практически не отличается от работы в режиме **Online** с подключенным контроллером.

## Главное окно



Главное окно *CoDeSys* состоит из следующих элементов (в окне они расположены сверху вниз):

- Меню
- Панель инструментов. На ней находятся кнопки для быстрого вызова команд меню.
- Организатор объектов, имеющий вкладки *POU*, *Data types*, *Visualizations* и *Resources*.
- Разделитель Организатора объектов и рабочей области *CoDeSys*.
- Рабочая область, в которой находится редактор.
- Окно сообщений
- Строка статуса, содержащая информацию о текущем состоянии проекта.

Панель инструментов, окно сообщений и строка статуса не являются обязательными элементами главного окна.

## Меню

Меню находится в верхней части главного окна. Оно содержит все команды *CoDeSys*.

File Edit Project Insert Extras Online Window Help

Название команды Меню	Описание команды Меню
Меню <i>File</i> – Файл	
<i>New</i> – Новый	Создать новый проект с именем “ <i>Untitled</i> ”
<i>New from template</i> – Шаблон	Открыть шаблон проекта. Новый проект получает имя “ <i>Untitled</i> ”
<i>Open</i> – Открыть	Открыть ранее сохраненный проект. Если в момент вызова этой команды какой-то проект уже открыт и в него были внесены изменения, то программа предложит сохранить этот проект
<i>Close</i> – Закрыть	Закрыть открытый в данный момент проект. Если с момента открытия в проект были внесены изменения, то программа предложит сохранить этот проект
<i>Save</i> – Сохранить	Сохранить проект
<i>Save as...</i> – Сохранить как...	Сохранить проект или библиотеку под новым именем. При этом исходный файл не изменяется

<b>Save/Mail Archieve...</b>	Создать архив проекта. Все файлы, которые используются проектом <i>CoDeSys</i> , сохраняются и сжимаются в файл с расширением *.zip. Такой файл удобно хранить и пересылать по электронной почте
<b>Print</b> – Печать	Напечатать содержание активного окна
<b>Printer Setup...</b> – Настройки принтера	Открыть окно с настройками печати
<b>Exit</b> – Выход	Закрыть <i>CoDeSys</i> . Если в момент вызова этой команды открыт проект, то программа предложит его сохранить
<b>Меню <i>Edit</i> – Редактирование</b>	
<b>Undo</b> – Отменить	Отменить последнее изменение, сделанное в открытом редакторе или в Организаторе объектов. Используя эту команду, вы можете отменить все изменения, выполненные после открытия окна
<b>Redo</b> – Повторить	Вернуть последнее изменение, отмененное в открытом редакторе или в Организаторе объектов командой <b>Undo</b>
<b>Cut</b> – Вырезать	Переместить выделенный элемент в буфер. При этом выделенный элемент удаляется из окна редактора
<b>Copy</b> – Копировать	Копировать выделенный элемент в буфер, содержимое окна редактора при этом не изменяется
<b>Paste</b> – Вставить	Вставить содержимое буфера, начиная с текущей позиции курсора в окне редактора. В графических редакторах команда выполняется только, если содержимое буфера соответствует выбранному элементу
<b>Delete</b> – Удалить	Удаляет выбранную область, содержимое буфера при этом не изменяется
<b>Find...</b> – Найти	Найти введенный текст в активном окне редактора. При этом открывается диалог для поиска
<b>Find next</b> – Найти далее	Начать поиск введенного текста с текущей позиции и далее
<b>Replace</b> – Найти и заменить	Найти заданный текст и заменить его на введенный. После вызова этой команды открывается диалог для поиска и замены выбранного текста
<b>Input Assistant</b> – Ассистент ввода	Открыть диалоговое окно для выбора элемента, который можно ввести в текущей позиции. В левом столбце следует выбрать категорию элементов, а в правом – нужный элемент, а затем нажать <b>OK</b>
<b>Auto Declare</b> – Автоматическое объявление переменных	Открыть диалог для объявления переменных
<b>Next Error</b> – Следующая ошибка	Показать следующую ошибку, если проект скомпилирован с ошибками. При этом открывается соответствующий редактор в том месте, где произошла ошибка, а в окне сообщений появляется краткое описание этой ошибки
<b>Previous Error</b> – Предыдущая ошибка	Показать предыдущую ошибку, если проект скомпилирован с ошибками. При этом открывается соответствующий редактор в том месте, где произошла ошибка, а в окне сообщений появляется краткое описание этой ошибки
<b>Macros</b> – Макросы	Показать список всех определенных в проекте макрокоманд –



	макросов. При выполнении макроса появляется окно “ <i>Process Macro</i> ”, в котором выводится имя макроса и имя активной команды
Меню <b>Project</b> – Проект	
<b>Build</b> – Компилировать измененные <i>POU</i>	Компилировать только <i>POU</i> , которые были изменены
<b>Rebuild all</b> – Компилировать весь проект	Компилировать весь проект, даже если он не был изменен
<b>Clear all</b> – Очистить все	Стереть всю информацию о предыдущей компиляции и загрузке проекта в контроллер
<b>Load Download-Information</b> – Загрузить информацию о загрузке кода	Загрузить информацию о загрузке кода в контроллер, если она была сохранена в директории, отличной от той, в которой находится проект
<b>Translate into another language</b> – Перевести текст проекта на другой язык	Перевести текст проекта на другой национальный язык. Здесь используется вспомогательный текстовый файл, созданный в <i>CoDeSys</i> и переведенный в текстовом редакторе на желаемый язык
<b>Document</b> – Создать документ для печати	Создать версию проекта для печати
<b>Export...</b> – Экспортировать проект	Экспортировать проект из одного инструмента МЭК программирования в другой. Можно экспортировать <i>POU</i> , типы данных, визуализации, описания подключенных к проекту библиотек (но не сами библиотеки) и другие ресурсы
<b>Import</b> – Импортировать данные из файла в проект	Импортировать в проект данные из выбранного файла
<b>Siemens Imports</b> – Импортировать из файлов Siemens	Импортировать переменные и <i>POU</i> из файлов <i>Siemens-STEP5</i> и <i>STEP7</i>
<b>Merge</b> – Слияние проектов	Слить два проекта
<b>Compare</b> – Сравнить	Сравнить два проекта или разные версии одного и того же проекта
<b>Project info</b> – Информация о проекте	Сохранить дополнительную информацию о проекте
<b>Global Search</b> – Найти текст	Найти заданный текст в <i>POU</i> , типах данных или разделе глобальных переменных проекта
<b>Global Replace</b> – Заменить текст	Найти заданный текст в <i>POU</i> , типах данных или в глобальных переменных проекта и заменить его на другой
<b>View Instance</b> – Показать экземпляры функционального блока	Показать экземпляры выбранного в организаторе объектов функционального блока. Появится список всех экземпляров выбранного функционального блока и его реализация
<b>Show Call Tree</b> – Показать дерево вызовов объекта	Показать дерево вызовов выбранного объекта в новом окне. Для использования данной команды проект должен быть скомпилирован
<b>Show Cross Reference</b> – Показать адрес пе-	Открыть диалоговое окно, в котором выводятся адрес, место расположения ( <i>POU</i> , номер строки) переменной. Для исполь-

ременной	зования данной команды проект должен быть скомпилирован
<b>Check</b> – Семантический контроль	Команды этого меню используются для дополнительного семантического контроля. Проект должен быть откомпилирован без ошибок, иначе данные команды недоступны
<b>Add Action</b> – Добавить действие	Создать действие, связанное с блоком, выделенным в Организаторе объектов. При этом нужно задать имя действия и язык, на котором оно будет описано
<b>User Group Passwords</b> – Пароли групп пользователей	Установить права доступа к объекту для различных групп пользователей
Меню <b>Insert</b> – Вставка	
<b>Declaration keywords</b> – Список ключевых слов	Вывести список ключевых слов для быстрого ввода ключевых слов, допускаемых в разделе объявлений <i>POU</i> . После выбора ключевого слова из списка, оно будет вставлено в текущую позицию курсора
<b>Types</b> – Список типов	Вывести список доступных типов для их быстрого ввода
<b>New declaration</b> – Добавить новую переменную	Добавить новую переменную в таблицу редактора объявлений
Меню <b>Extras</b> – Опции	
Команды данного пункта Меню могут меняться в зависимости от редактора, в котором Вы работаете	
Меню <b>Online</b> – Подключение к контроллеру	
<b>Login</b> – Подключиться к контроллеру	Установить соединение системы программирования <i>CoDeSys</i> с контроллером (или запустить программу эмуляции) и включить режим <b>Online</b>
<b>Logout</b> – Отключить соединение с контроллером	Разорвать соединение с контроллером или закончить работу программы, если работа происходит в режиме эмуляции. Система переходит в режим <b>Offline</b>
<b>Download</b> – Загрузить код проекта в контроллер	Загрузить код проекта в контроллер
<b>Run</b> – Запустить программу в контроллере/режиме эмуляции	Запустить программу на выполнение в контроллере или режиме эмуляции
<b>Stop</b> – Остановить выполнение программы	Остановить программу при ее выполнении в контроллере или в режиме эмуляции
<b>Reset</b> – Сброс	Заново инициализировать все переменные, за исключением <i>VAR RETAIN</i> . Если Вы определили начальные значения переменных, они будут присвоены (включая <i>VAR PERSISTENT</i> ). Прочие переменные приобретут стандартные значения по умолчанию (например, 0 для целых типов). Данный сброс аналогичен выключению и включению питания ПЛК, при работающей программе
<b>Reset (cold)</b> – Холодный сброс	Холодный сброс. Выполнить те же действия, что и при команде <b>Reset</b> , и дополнительно выполнить инициализацию энергонезависимой области памяти <i>RETAIN</i>
<b>Reset (original)</b> – За-	Выполнить <b>Reset Cold</b> . Происходит инициализация области

водской сброс	<i>PERSISTENT</i> и удаление программы пользователя. То есть, восстанавливается состояние контроллера, в котором он поступил с завода-изготовителя
<b><i>Toggle Breakpoint</i></b> – Установить точку останова	Установить точку останова в текущей позиции активного окна. Если в этой позиции уже стоит точка останова, то она будет удалена
<b><i>Breakpoint Dialog</i></b> – Открыть диалог управления точками останова	Открыть диалог управления точками останова в проекте. В нем указаны все установленные точки останова
<b><i>Step over</i></b> – Выполнить одну инструкцию программы	Выполнить одну инструкцию программы. Если это инструкция вызова <i>POU</i> , то данный <i>POU</i> выполнится целиком, затем программа остановится
<b><i>Step in</i></b> – Выполнить программу по шагам	Выполнить программу по шагам, с заходом в вызываемые блоки. Вызываемые <i>POU</i> открываются в отдельных окнах
<b><i>Single Cycle</i></b> – Выполнить один цикл	Выполнить один рабочий цикл контроллера. Данную команду можно повторять многократно при отслеживании работы программы по рабочим циклам
<b><i>Write values</i></b> – Записать значение в переменную	Перед началом рабочего цикла присвоить переменной или в нескольким переменным заранее введенные значения
<b><i>Force values</i></b> – Зафиксировать значение переменной	Зафиксировать значения одной или нескольких переменных. Запись заданного Вами значения осуществляется в начале и в конце каждого управляющего цикла: 1. Чтение входов, 2. Фиксация переменных, 3. Выполнение кода программы, 4. Фиксация переменных, 5. Запись выходов
<b><i>Release force</i></b> – Отменить фиксацию значений переменных	Отменить фиксацию значений переменных
<b><i>Write/Force-Dialog</i></b> – Показать список записываемых и фиксируемых переменных	Открыть окно, содержащее таблицы записываемых ( <i>Writelist</i> ) и фиксируемых ( <i>Forcelist</i> ) переменных. В левом столбце таблиц находятся имена переменных, а в правом их установленные значения
<b><i>Show Call Stack</i></b> – Показать список вызванных <i>POU</i>	Показать список вызванных <i>POU</i> , когда программа остановлена в точке останова
<b><i>Display Flow control</i></b> – Показать контроль потока исполнения	Включить режим контроля потока исполнения. Если данная возможность поддерживается в Вашей целевой платформе, то каждая строка или цепь программы, которая была выполнена в контроллере в предыдущем управляющем цикле, будет выделена
<b><i>Simulation</i></b> – Включить режим эмуляции	Включить режим эмуляции, программа будет выполнена в ПК. Если режим эмуляции выключен, программа будет запущена в контроллере
<b><i>Communication Parameters</i></b> – Параметры соединения	Вывести диалог настройки параметров связи ПК и ПЛК (если Вы используете <i>OPC</i> или <i>DDE</i> серверы, то эти параметры можно настроить из их конфигурации)
<b><i>Sourcecode download</i></b> – Загрузить в контроллер исходные	Загрузить исходные тексты проекта в контроллер. Не путайте исходные тексты проекта с кодом проекта, который создается при компиляции

тексты проекта	
<b>Create bootproject</b> – Автоматически загружать код проекта при перезапуске ПЛК	Сделать код проекта автоматически загружаемым при перезапуске контроллера, то есть, данный проект будет выполняться автоматически при перезапуске ПЛК
<b>Write file to PLC</b> – Записать файл в контроллер	Записать в контроллер выбранный файл (файл может быть любого типа), его размер ограничен размером карты памяти контроллера
<b>Read file from PLC</b> – Считать файл из контроллера	Считать ранее сохраненный в контроллере файл и сохранить его в указанную директорию на Ваш ПК
Меню <b>Window</b> – Работа с окнами	
<b>Tile Horizontal</b> – Упорядочить окна по горизонтали	Упорядочить окна по горизонтали так, чтобы они не перекрывали друг друга и полностью занимали рабочую область
<b>Tile Vertical</b> – Упорядочить окна по вертикали	Упорядочить окна по вертикали так, чтобы они не перекрывали друг друга и полностью занимали рабочую область
<b>Cascade</b> – Упорядочить окна каскадом	Упорядочить окна каскадом – каждое следующее поверх остальных
<b>Arrange Symbols</b> – Выстроить свернутые окна	Выстроить свернутые окна в ряд внизу Рабочего окна
<b>Close All</b> – Закрывать все окна	Закрывать все окна
<b>Messages</b> – Открыть окно сообщений	Открыть окно сообщений, которое содержит информацию о предыдущей компиляции, проверке или сравнении проекта
<b>Library Manager</b> – Открыть менеджер библиотек	Открыть окно менеджера библиотек. Менеджер библиотек содержит список всех библиотек, которые связаны с проектом
<b>Log</b> – Открыть боржурнал	Открыть боржурнал – детальный протокол последовательности действий, которые были выполнены во время <i>Online</i> сессии. Боржурнал записывается в двоичный файл формата *.log
Меню <b>Help</b> – Помощь	
<b>Contents</b> – Содержание справочной документации	Открыть окно каталога документов системы оперативной помощи
<b>Search</b> – Осуществить поиск	Перейти к контекстному поиску по текстам документов подсказки
<b>About</b> – Показать информацию о программе	Открыть окно с информацией о программе <i>CoDeSys</i>

## Панель инструментов

Кнопки на панели инструментов обеспечивают более быстрый доступ к командам меню.

Команда, вызванная с помощью кнопки на Панели инструментов, автоматически выполняется в активном окне.

Кнопки на Панели инструментов различны для разных редакторов *CoDeSys*. Получить информацию относительно назначения этих кнопок можно в описании редакторов.

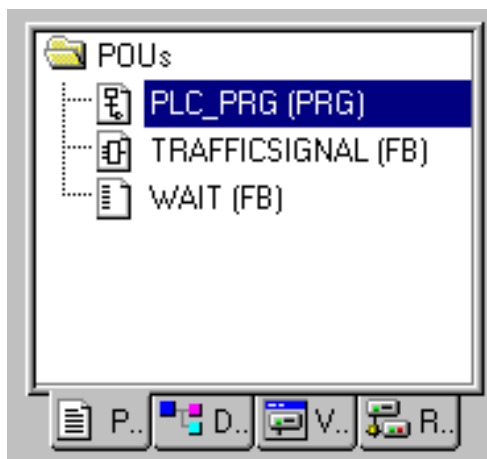
Панель инструментов можно отключить.



Кнопка Панели инструментов	Описание
	Создать новый файл проекта
	Открыть файл проекта
	Сохранить файл проекта
	Запустить программу на выполнение в контроллере или режиме эмуляции
	Остановить программу при ее выполнении в контроллере или в режиме эмуляции
	Выполнить одну инструкцию программы
	Установить точку останова в текущей позиции активного окна или удалить уже установленную точку останова
	Установить соединение программы <i>CoDeSys</i> с контроллером (или запустить программу эмуляции) и включить режим <b>Online</b>
	Разорвать соединение с контроллером или закончить работу программы в режиме эмуляции. Система переходит в режим <b>Offline</b>
	Найти заданный текст в <i>POU</i> , типах данных или разделе глобальных переменных проекта
	Переместить выделенный элемент в буфер. При этом выделенный элемент удаляется из окна редактора
	Копировать выделенный элемент в буфер, содержимое окна редактора при этом не изменяется
	Вставить содержимое буфера, начиная с текущей позиции курсора в окне редактора. В графических редакторах команда выполняется только, если содержимое буфера соответствует выбранному элементу
	Найти введенный текст в активном окне редактора
	Начать поиск введенного текста с текущей позиции и далее

## Организатор объектов

Организатор объектов всегда находится в левой части Главного окна *CoDeSys*.



В нижней части Организатора объектов находятся вкладки:

**POU's** – *Program Organization Units* – программные компоненты;

**Data types** – типы данных;

**Visualizations** – визуализации;

**Resources** – ресурсы.

Переключаться между соответствующими объектами можно с помощью мышки или клавиш перемещения.

## Разделитель экрана

Разделить экрана – это граница между двумя непересекающимися окнами. В *CoDeSys* есть следующие разделители: между Организатором объектов и Рабочим окном, между Разделом объявлений и Разделом кода *POU*, между Рабочим окном и Окном сообщений. Вы можете перемещать разделители с помощью левой кнопки мыши.

Разделитель сохраняет свое положение даже при изменении размеров окна. Если Вы больше не видите разделителя на экране, значит стоит изменить размеры окна.

## Рабочее окно

Рабочее окно находится в правой части Главного окна *CoDeSys*. Все редакторы, а также менеджер библиотек открываются именно в этом окне. Имя открытого объекта находится в заголовке окна.

## Окно сообщений

Окно сообщений отделено от Рабочего окна разделителем. Именно в этом окне появляются сообщения компилятора, результаты поиска и список перекрестных ссылок.

## Строка статуса

Строка статуса находится в нижней части Главного окна *CoDeSys* и предоставляет информацию о проекте и командах Меню.

При выборе пункта Меню его описание появляется в левой части Строки статуса.

Если Вы работаете в режиме online, то надпись **Online** в строке статуса выделяется черным цветом. В ином случае надпись серая.

С помощью Строки статуса в режиме online можно определить, в каком состоянии находится программа: **SIM** – в режиме эмуляции, **RUN** – программа запущена, **BP** – установлена точка останова, **FORCE** – происходит фиксация переменных.

При работе в текстовом редакторе в Строке статуса указывается позиция, в которой находится курсор (например, **Line:5, Col.:11**).

В режиме визуализации в Строке статуса выводятся координаты курсора *X* и *Y*, которые отсчитываются относительно верхнего левого угла окна. Если указатель мыши находится на элементе, или над элементом производятся какие-либо действия, то указывается номер этого элемента. При вставке элемента в Строке статуса указывается его название (например, *Rectangle*).

Если Вы поместили указатель мыши на пункт Меню, то в Строке статуса появляется его краткое описание.

### **Контекстное меню**

Вместо того, чтобы использовать главное меню для вызова команд, можно воспользоваться контекстным меню. Это меню содержит наиболее часто используемые команды, для вызова используйте правую кнопку мыши.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### ПРИМЕР ПРОГРАММИРОВАНИЯ КОНТРОЛЛЕРА ОВЕН ПЛК

#### Введение

Настоящее методическое пособие предназначено для ознакомления пользователя с основами программирования ОВЕН ПЛК и содержит описание последовательности действий, осуществляемых при решении конкретной задачи.

Процесс программирования ПЛК представлен на примере решения задачи разработки программы для электронного кодового замка. Пример разработан на базе конкретной модификации ОВЕН ПЛК100-24.*P-L* и позволяет проверить в работе программу не только в режиме симуляции, но и автономно – в самом контроллере.

В результате изучения настоящего пособия пользователь освоит первые шаги разработки программы для ОВЕН ПЛК.

#### 1. Постановка и анализ задачи

В качестве примера, описывающего технологический процесс программирования ОВЕН ПЛК модификации ПЛК100-24.*P-L*, представлено решение задачи **«кодовый замок»**.

Управление открыванием электромагнитного замка осуществляется набором кодовой комбинации на панели управления, для чего используются кнопки или переключатели, каждый из которых имеет свой числовой номер. Срабатывание запорного устройства на открытие происходит при наборе комбинации, соответствующей установленному в кодовом устройстве значению. Для обеспечения защиты от подбора комбинации срабатывание происходит спустя 3 сек после выставления необходимой комбинации.

Функциональная схема кодового устройства для решения поставленной задачи представлена на рис. 1.1 (вариант исполнения из переключателей).

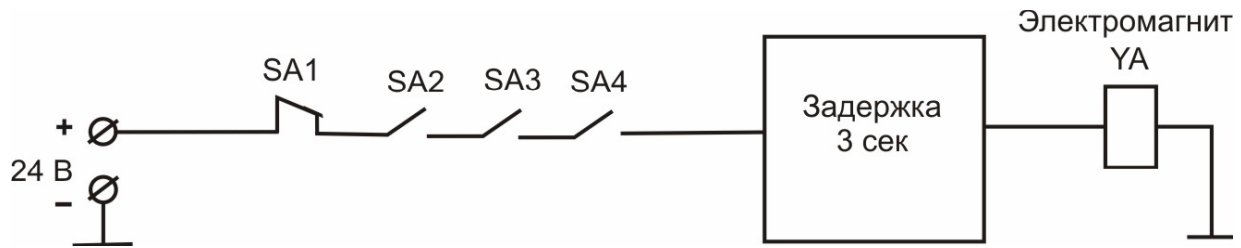


Рис. 1.1. Функциональная схема кодового устройства

Номер для открывания двери состоит из 4 цифр, им соответствуют переключатели *SA1*, *SA2*, *SA3* и *SA4*. Открытие замка происходит при замыкании выключателей *SA2*, *SA3* и *SA4*.

**Примечание.** Пользователь может выбрать свою комбинацию переключателей.

Для реализации схемы используются:

- 4 входа контроллера;
- 1 выход контроллера, управляющий работой электромагнита открытия замка.

## 2. Электрическая схема устройства

Поставленная задача реализуется электрической схемой, выполненной на базе ПЛК100-24.*P-L* (возможно использование ПЛК100-24.*P-M*) и представленной на рис. 2.1.

Пояснения к схеме:

- входы и выходы для подключения цепей выбраны произвольно, именно к этим конкретным цепям привязывается программа;
- инверсный режим работы переключателя *SA1* реализуется программно, что более удобно для монтажа.

При создании программы используется среда программирования *CoDeSys V2.3* (далее – *CoDeSys*).

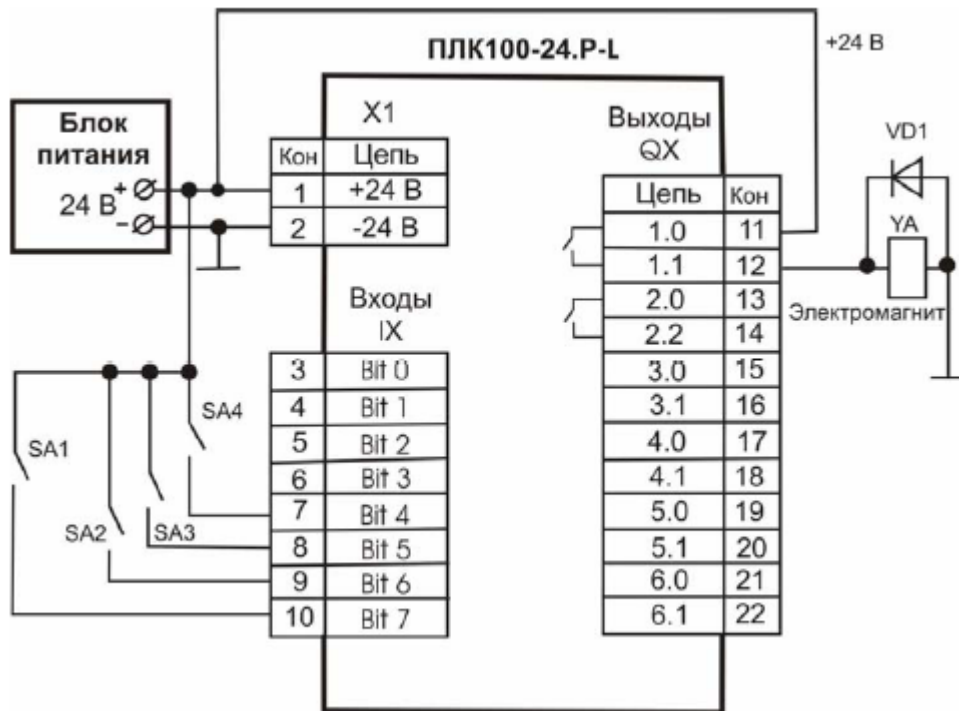


Рис. 2.1. Схема подключения цепей к ПЛК100-24.P-L

Перед созданием проекта пользователь, используя утилиту *Install Target* в составе *CoDeSys*, устанавливает для применяемого контроллера файл целевых задачи, который обеспечивает программный доступ к ресурсам ПЛК (подробнее см. (*Target*, файл) «Руководство по эксплуатации ПЛК»).

### 3. Создание проекта программы

При создании проекта используется язык релейных диаграмм *LD (Ladder Diagram)*, реализующий структуры, подобные электрическим цепям в коммутационной автоматике.

Пользователь запускает *CoDeSys* последовательным выбором приложений:

**Пуск ► Все программы ► 3S Software ► CoDeSys V2.3. ► CoDeSys V2.3.**

Новый проект открывается из главного меню: *File ► New*. В открывшемся окне (рис 3.1) выбирается тип контроллера, *PLC100.R-L*, выбор подтверждается нажатием клавиши **OK**.

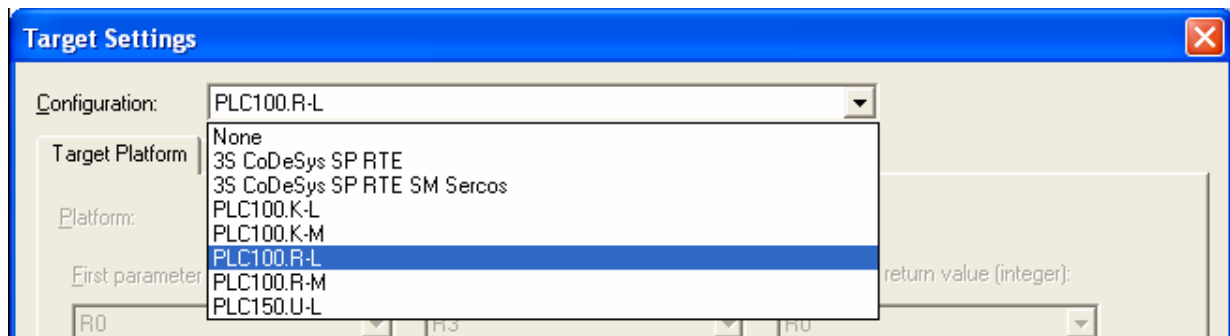


Рис. 3.1. Окно конфигурации «*Target Settings*» программы

После выбора проекта выводится экранная форма, задающая тип, имя и язык программирования первичного компонента **New POU**, главной программы контроллера. Необходимо выбрать язык программирования *LD*, установив флаги в позициях, указанных на рис. 3.2.

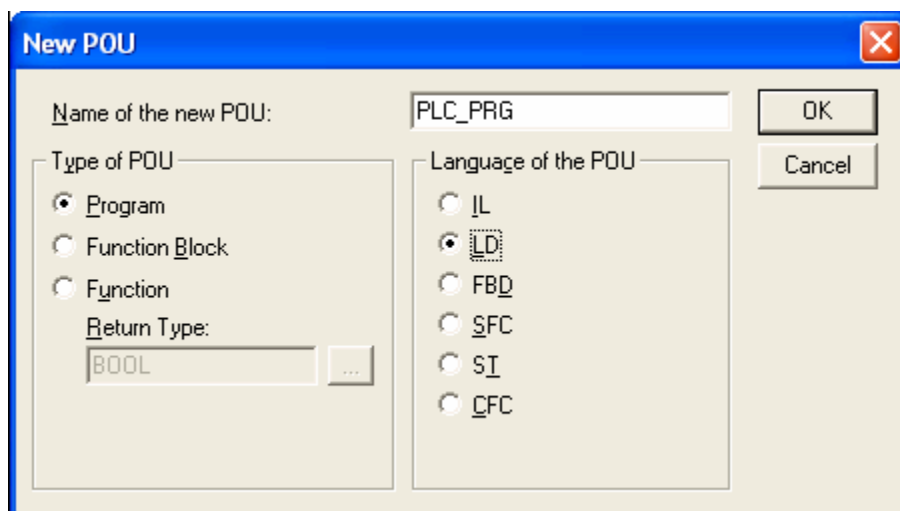



Рис. 3.2. Вид окна «*New POU*» с отмеченными параметрами

**Примечание.** Имя главной программы *PLC PRG* и ее тип менять нельзя.

После подтверждения выбора нажатием клавиши **OK** откроется окно нового проекта с именем по умолчанию **Untitled**. В нем присутствует одна вкладка **POUs**.

Весь проект хранится в одном файле, имя которого отображается в заголовке окна. Для ввода имени файла во второй строке ме-

ню быстрого запуска активизируется клавиша записи  и в появившейся форме указывается имя файла: например, *LD-замок.pro*.

#### 4. Параметры входов и выходов контроллера

Цепям контроллера, используемым в представленной на рис. 2.1 электрической схеме, присваиваются имена переменных. В дальнейшем эти имена используются в программе для работы с конкретным входом или выходом контроллера.

Для присвоения имени какому(либо) ресурсу ввода/вывода контроллера необходимо на вкладке ресурсов (*Resources*) Организатора объектов *CoDeSys* запустить утилиту *PLC Configuration* (Конфигуратор ПЛК) (см. «Конфигурирование области ввода/вывода ПЛК», файл в комплекте поставки ОВЕН ПЛК).

В появляющейся иерархической структуре – дереве Конфигурации ПЛК – пользователь открывает папки (модули) входов (*Discrete input*) и выходов (*Discrete output*) ПЛК, и именует необходимые каналы. Перед адресом указывается имя (идентификатор переменной) для цепей входов и выходов схемы созданного проекта.

Именованье канала (входа или выхода) производится следующим образом: двойным щелчком манипулятора «мышь» при курсоре, установленном в начале строки названия канала, осуществляется переход в режим редактирования и вводится имя переменной канала.

Экранная форма, представленная на рис. 4.1, иллюстрируют выполненные пользователем именованья каналов при использовании четырех входов (*IX0.0.4*, *IX0.0.5*, *IX0.0.6*, *IX0.0.7*) и одного выхода (*QX1.0*).

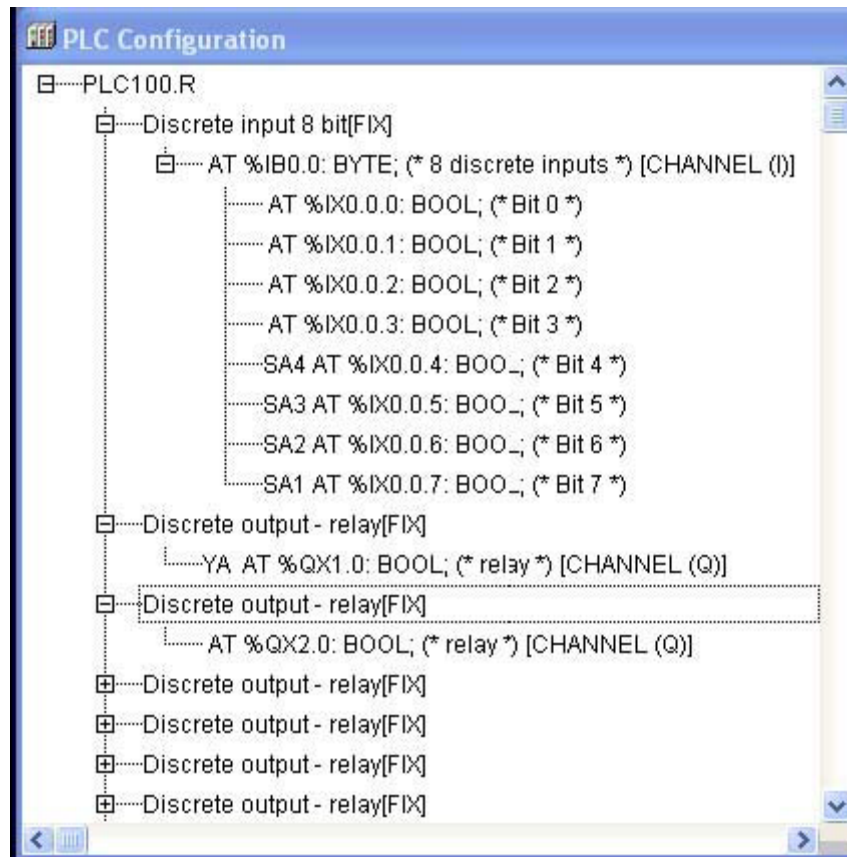


Рис. 4.1. Экранная форма для именования входов и выходов при работе программы с цепями ПЛК100-24.P

## 5. Создание программы на языке *LD*

При написании программы в рабочей зоне вкладки *POUs* последовательно вводятся типы компонентов и их обозначения, как это представлено на рис. 5.1.

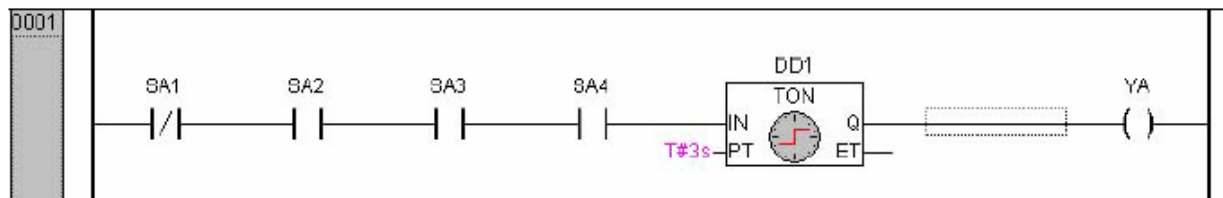



Рис. 5.1. Программа на языке *LD*

Пользователь при составлении виртуальной схемы может следовать приведенной ниже инструкции.

**Инструкция по созданию программы:**

1) создание нормально замкнутого контакта: в контекстном меню выбрать команду **Contact (negated)** или нажать кнопку  на панели инструментов. Символы вопросов (рис. 5.2, а) необходимо заменить именем, например **SA1**.

Описывать переменную в данном случае не требуется, так как она уже была указана в окне **PLC-Configuration** и связана с конкретным дискретным входом;

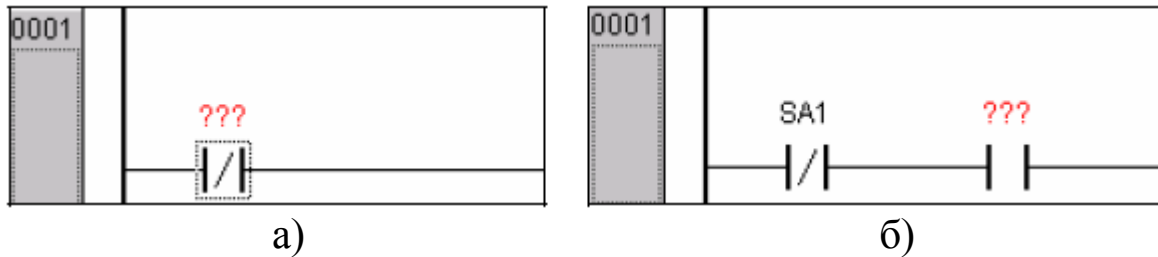




Рис. 5.2. Создание нормально замкнутого (а) и разомкнутого (б) контактов

2) создание нормально разомкнутого контакта делается аналогичным образом, только используется команда контекстного меню **Contact** или кнопка  на панели инструментов (рис. 5.2, б);

3) создать цепочку из 4-х контактов, присвоить им имена (рис. 5.1);

4) функциональный блок: из контекстного меню выбирается команда **Function Block...**, – в появившемся окне **«Input Assistant»** (рис. 5.3) из раздела **Standard Function Blocks** в библиотеке с именем **STANDARD.LIB** в папке **Timer** выбирается вид таймера – **TON (FB)**. На схеме перед входом **PT** указывается время задержки в формате **T#3s**. Над блоком вводится имя, например **DD1** и на клавиатуре нажимается клавиша «стрелка вправо»  ► подтверждаются свойства функционального блока;

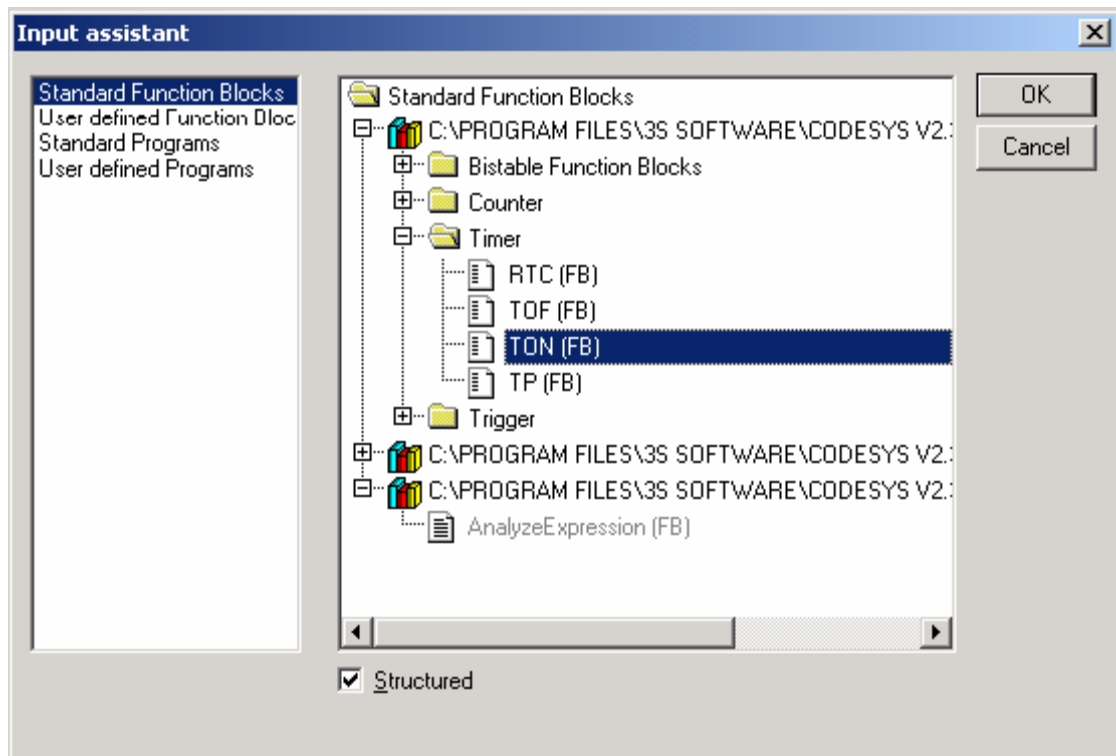



Рис. 5.3. Выбор таймера

5) указание выхода цепи: в контекстном меню выбирается команда **Coil** или нажимается кнопка  на панели инструментов. На схеме появляется условное обозначение обмотки реле. Символы вопросов замещаются именем **YA**, также ранее описанным в *PLC-Configuration*.

## 6. Запись программы в контроллер

Настройка соединения ПК с ОВЕН ПЛК для загрузки и проверки работы программы в автономном режиме производится следующим образом.

Для информационного обмена ПК с ОВЕН ПЛК используется кабель программирования, входящий в комплект поставки. Им соединяются **COM** – порт компьютера и порт **Debug RS,232** контроллера (на лицевой панели).

Для настройки канала соединения из основного меню **CoDeSys** выбирается команда **Online ► Communication parameters**. В диалоговом меню командой **New...** открывается диалоговое окно, в котором соединению присваивается имя (например, **COM**) и выби-



рается (из перечня) вид соединения **Serial (RS232)**. Выбор подтверждается нажатием клавиши **OK**.

После указанных действий в окне коммуникационных параметров появляется канал соединения с именем **COM**. В зоне настроек (**Value**) для параметра **Baudrate** устанавливается значение **115200** (бит/сек – скорость соединения с компьютером). Значение может быть изменено двойным щелчком левой кнопки манипулятора «мышь» на значении. Для сохранения нового значения в окне курсором мыши выбор подтверждается нажатием клавиши **OK**.

Программное соединение с ОВЕН ПЛК включается из главного меню *CoDeSys* командой **Online ► Login**. При этом флаг перед строкой меню **Simulation Mode** должен быть снят.

Как только система устанавливает связь с ОВЕН ПЛК, появляется запрос на подтверждение загрузки новой программы, пользователь подтверждает загрузку: ► **Да**.

После завершения записи проекта в оперативную память ОВЕН ПЛК, запуск работы программы осуществляется выбором команды **Online ► Run** (или нажатием на лицевой панели ОВЕН ПЛК кнопки <Старт>). Управлять работой ОВЕН ПЛК (подключенного по схеме рис. 2.1) можно при помощи переключателей.

\* \* \*

Приведенный пример иллюстрирует только малую часть функций среды программирования *CoDeSys*. Для ознакомления с языками программирования *FBD* и *ST*, функциями визуализации и отладки программы рекомендуется реализовать пример от компании 3S - Software, описанный в документе «*First Steps with CoDeSys RU.pdf*».

О более подробной работе с конфигуратором ресурсов *PLC - Configuration* смотри в документе «*PLC Configuration OWEN.pdf*»

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

**ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Наименование	Тип	Показатели надежности	
		$T_{cp}$	$P(t)$
1	2	3	4
Термоэлектрические термометры	ТХА 9312, 9316, 9425	50000	-
	ТХА 706-02	-	$P(2000) = 0,85$
	ТХК 9312, 9416, 9310, 9310К	50000	-
	ТХК 9419 при $t = 750^{\circ}C$ при $t = 540^{\circ}C$	30000 60000	- -
	ТХА 9416, 9425, 9426	50000	-
Термометры сопро- тивления	ТСП 0987, 9416, 9417	200000	-
	ТСП 9506Р, 9508, 95081, 9506	-	$P(5000) = 0,99$
	ТСМ 9204, 9417, 0987	200000	-
	ТСПУ 9418	66700	-
	ТСМУ 9418	200000	-
	ТСП 1287	66700	-
Регуляторы температуры	РПТ-32Б	-	$P(2000) = 0,98$
	ТЭЗПЗМ, ТЭ4ПЗМ, ТЭ2ПМ	-	$P(2000) = 0,98$
	ПРОТЕРМ-100	-	$P(2000) = 0,96$
Регулятор темпера- туры микроэлек- тронный	ТМ2, ТМ4, ТМ8, ТМ12, ТМ14	-	$P(2000) = 0,98$
Преобразователь температуры	ПТ-1	-	$P(2000) = 0,98$
Терморегулирующие вентили	14ТРВ-4; 142ТРВ- 6,3; 142ТРВ-40	-	$P(2000) = 0,96$

1	2	3	4
Регулятор разности температур электрический	ТЭ6ПЗ	5000	-
Прибор регулирующий	РС 29.0.12М	-	$P(2000) = 0,97$
Регулирующий микропроцессорный контроллер	РЕМИКОНТ Р-110	15000	-
Регулирующий микропроцессорный контроллер	РЕМИКОНТ Р-130	50000	
Регулирующий микропроцессорный контроллер	РЕМИКОНТ Р-240	50000	
Регулирующий микропроцессорный контроллер	ПРОТЕРМ–100, 100С		$P(2000) = 0,96$
Регулятор микропроцессорный	ТЕПЛАР 110, 111		$P(2000) = 0,97$
Регулятор микропроцессорный	ПРОТАР 101, 102, 111, 112		$P(2000) = 0,96$
Регулятор микропроцессорный	МИНИТЕРМ-300		$P(2000) = 0,97$
Регулятор газовый	РГУ-М		$P(2000) = 0,96$
Регулятор температуры электронный	ЭРГ		$P(2000) = 0,96$
Регулятор расхода воздуха	РРВ-1		$P(2000) = 0,99$
Газоаналитический преобразователь на $NH_3$ , $H_2$ и их смеси	ДИСК-30 ДИСК-10	30000	
Преобразователи измерительные разности давлений	САПФИР-22ДД		$P(2000) = 0,97$

1	2	3	4
Комплект средств управления котлоагрегатами модернизированный	КСУМ-2П	1000	-
Блок управления электропневматический	БУЭП-160/8	-	$P(2000) = 0,92$
	БУЭП-5	33300	-
Регуляторы давления газа	РД-25-64, РД-40-64, РД-80-64	-	$P(2000) = 0,97$
Регулятор давления	РДЖТ-1-М1	100000	-
Регулятор расхода воздуха	РРВ-1	-	$P(2000) = 0,99$
Регулятор расхода и давления	УРРД-М	-	$P(2000) = 0,96$
Манометры	МКУ, МТИ	80000	-
Вискозиметр ротационный	ВСН-2М, ВБР-1	2000	-
Асинхронные электродвигатели	-	120000	-
Электродвигатели постоянного тока	-	110000	-
Кабели (1 м)	-	2100000	-
Провода (1 м)	-	70000000	-
Выключатели магнитные	-	2800000	-

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

### ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

#### Разделы и нумерация

Текст пояснительной записки (ПЗ) делится на разделы, подразделы, пункты, подпункты. Номера разделов обозначают арабскими цифрами 1,2,3 и т.д., номера подразделов – цифрами, разделенными точками, например, для раздела 1 подразделы будут иметь нумерацию 1.1, 1.2, 1.3 и т.д. Номера пунктов будут иметь три позиции (номер подраздела и порядковый номер пункта), например, пункты подраздела 1.1 получают номера 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 и т.д.

Введение, заключение, список литературы не нумеруются. Приложения имеют порядковую нумерацию: Приложение 1, Приложение 2 и т.д. Части раздела и главы допускается нумеровать словами, например, «Раздел 1», «Раздел 2» и т.д.

Названия разделов (глав) набираются прописными буквами, подразделов – строчными или другим шрифтом.

Заголовки могут состоять из двух и более предложений, разделяемых точкой. Перенос слов в заголовке не допускается, предлоги и союзы в заголовке нельзя оставлять в предыдущей строке, в конце заголовка точка не ставится.

Не допускается деление длинных заголовков на разные страницы, отделение заголовка от основного текста (после заголовка на странице должно быть не менее 3-х строк текста).

Пункты и подпункты могут иметь свои заголовки (названия). Каждый раздел должен начинаться с новой страницы.

Нумерация страниц ПЗ должна быть сквозной - первой страницей считается титульный лист (последний не нумеруется). Рисунки и таблицы на отдельных листах включаются в общую нумерацию.

Красную строку абзаца текста писать с отступом в 3 символа (0,7-0,75 см).

Не допускается в тексте ПЗ сокращенная запись слов, кроме общепринятых: т.д., т.е., т.п. и др. При использовании сокращений

в виде аббревиатуры, например, Д – датчик, САР – система автоматического регулирования и т. п., либо составляется их перечень, который располагается в ПЗ перед введением, либо обозначение термина приводятся в тексте в скобках после его первого упоминания, например, «датчик (Д)».

### Формулы

Формулы в тексте следует выделять полями (свободными строчками) шириной 3-5 интервалов. Если формула не уместается на одной строке, перенос делается либо после знака арифметической операции (лучше сложения-вычитания, так как умножение требует явного обозначения, а деление записывается как двоеточие), либо на знаке равенства. При переносе формулы на другую строку знак операции или равенства повторяется на новой строке.

Формулы, на которые делаются ссылки в тексте, нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела. При этом номер формулы состоит из порядкового номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, записанных через точку. Допускается сквозная нумерация формул одним числом в пределах всего текста (при небольшом числе формул). Номер формулы заключается в круглые скобки и располагается у правой границы текстового поля на нижней строке многострочной формулы, например:

$$\ll \text{ФОРМУЛА} \gg \quad (5.1)$$

Расшифровка условных обозначений, ранее не встречавшихся в тексте, приводится непосредственно после формулы в той последовательности, в которой они встречаются в самой формуле. Для этого после формулы ставится запятая и первая строка пояснения начинается со слова «где» или «здесь». Расшифровка каждого символа располагается в подбор (непрерывным текстом) с точкой запятой между ними. Последнее пояснение заканчивается точкой.

Единицы измерения (например, км, с, мин, ч, кВт, Ом и т.д.), а также обозначения математических и тригонометрических функций (например, sin, cos, log, const и др.) набираются обычным шрифтом как в формулах, так и в тексте.

## Иллюстрации

Все иллюстрации (схемы, диаграммы, чертежи и т. п.) именуются рисунками и нумеруются последовательно арабскими цифрами в пределах раздела. Номер состоит из порядкового номера раздела и порядкового номера рисунка в разделе, записанных через точку. Допускается сквозная нумерация рисунков в пределах всего текста (при небольшом числе рисунков). В номер рисунка включается также слово «Рис.». Желательно рисунок снабжать подрисуночной подписью (названием рисунка). Номер рисунка от его названия отделяется точкой. На все иллюстрации в тексте должны быть ссылки (первая делается в виде, например, «рис. 5.3», последующие в виде «см. рис. 5.3»). Рисунки разрешается поворачивать относительно основного положения в тексте на 90° против часовой стрелки. В порядке исключения допускается включать в текст иллюстрации формата А3, но они должны располагаться на развороте или на вкладках, ссылки на которые делаются в виде «(рис. 5.3 см. вкладку)».

## Таблицы

Каждая таблица должна быть пронумерована. Номер таблицы состоит из слова «Таблица» с присоединением порядкового номера. Нумерация производится по такой же схеме, что и рисунков (в пределах раздела, либо всего текста). Нумерация таблиц помещается над правым верхним углом таблицы на уровне правого края поля таблицы. Название таблицы, если оно есть, помещается ниже номера посередине поля таблицы. И название, и нумерацию таблицы желательно выполнять шрифтом, отличающимся от листа основного текста. Головка таблицы набирается чуть меньшим шрифтом, чем ее содержание. Таблица, как и рисунок должна размещаться в тексте не ранее той страницы, где содержится первая ссылка на нее. Первая ссылка в тексте на таблицу имеет вид, например, «(табл. 2.1)», последующие ссылки делаются в виде «(см. табл. 2.1)». Таблицу допускается поворачивать относительно основного текста на 90° против часовой стрелки. Если таблица размещается на нескольких страницах, то на последующих страницах вместо на-

звания пишут, например, «Продолжение табл. 2.1», а на последней странице «Окончание табл. 2.1», в каждом случае повторяя головку таблицы без обозначения колонок их номерами.

## **Сноски**

Сноски в тексте размещаются на той же странице, где поставлен указатель сноски. В качестве указателя целесообразно выбирать символ звездочки (если на странице сносок не более двух-трех) или нумеровать их в естественном порядке. Возможно размещение всех сносок в конце документа, тогда в качестве указателя сноски используется ее порядковый номер. Текст сноски набирается обычно шрифтом меньшим, чем шрифт основного текста.

## **Библиография**

Списки литературы (библиография) могут быть рекомендательными, регистрирующими (все издания по нужному вопросу) и, что чаще всего встречается, используемой литературы. Оформление библиографии производится в виде списка в конце работы. Список литературы составляется либо в алфавитном порядке, либо в порядке использования источника (первой ссылки на него в тексте) по следующим правилам:

- фамилия и инициалы автора. Если авторов не более трех, то перечисляются все. Если авторов четыре, то все четыре автора указываются после названия книги через косую черту (/), точка после которой не ставится, но инициалы каждого автора должны быть впереди его фамилии. Если авторов более четырех – указываются первые три автора, а далее вместо остальных пишется «и др.»;
- название источника приводится без кавычек. Сокращения не допускаются. Если есть подзаголовок, он пишется с малой буквы после основного и отделяется двоеточием. После названия ставится точка и тире. Если в названии обязательно указывать редактора, то его приводят через /под. ред. <инициалы и фамилия редактора>. Аналогично указывается в библиографии, если источник переводной /пер. с англ. <инициалы и фамилия переводчика>. Отдельные книги, создаваемые коллективом авторов, библиографически долж-



ны начинаться с названия, а не с фамилий. В этом случае фамилии авторов указываются после названия через / <инициалы и фамилии авторов>;

- место издания (город, перед которым ставится точка и тире) пишется с большой буквы полностью, допускаются только сокращения М., Л., СПб. После названия города ставится двоеточие;

- название издательства пишется с большой буквы без кавычек. Если в название издательства входит слово «Издательство», его пишут сокращенно «Изд-во» без кавычек, а само название может быть в кавычках (как в оригинале). После издательства ставится запятая;

- год издания. Слово «год» не пишется. После года ставится точка и тире;

- следующий элемент – после тире указывается объем источника (книги) в виде числа с буквой «с» (страниц);

- при ссылке на статьи и журналы указывается: фамилия и инициалы автора. Название статьи. // Название журнала. – Год выпуска. – Номер журнала. – Номера страниц, занимаемые статьей (например, С. 40-45);

- при записи источника в электронной версии указывают: фамилию и инициалы автора, название источника, запись [Электронный ресурс] – адрес в *Internet*, например, <http://www.kuzstu.ru>;

- ссылки на литературные источники делаются в виде порядкового номера литературного источника из списка литературы, заключенного в квадратные скобки. Если в одной ссылке необходимо указать несколько источников, то их номера указываются в одних скобках в порядке возрастания через запятую или тире (если номера следуют подряд, например, [3-5]).

## Оглавление

Перечень разделов, глав, подразделов и/или параграфов записки оформляется с заголовком «ОГЛАВЛЕНИЕ». При использовании стилевого оформления заголовков в тексте оглавление формируется автоматически средствами *Word*. При ручном оформлении оглавления необходимо помнить, что номер страницы у заголовка не ставится, если на одной странице последовательно распо-

ложено несколько заголовков разного уровня, между которыми нет текста.

### **Листы пояснительной записки**

Листы пояснительной записки оформляются рамкой, согласно рис. 1. Первый (заглавный) лист каждого раздела, введения, заключения имеет основную надпись, представленную на рис. 2. Все другие листы ПЗ имеют основную надпись, показанную на рис. 3.

Графы основных надписей заполняются следующим образом:

а) в графе 1 записывается наименование раздела, например, «Описание объекта автоматизации»;

б) в графе 2 приводится код раздела, содержащий: а) индекс проекта – КП; б) индекс названия раздела (аббревиатура его наименования), например, ООА для раздела «Описание объекта автоматизации»; в) четыре цифры для обозначения года разработки; г) индекс пояснительной записки – ПЗ.

Таким образом, код раздела, например, «Описание объекта автоматизации» курсового проекта, записываемый в графе 2, будет иметь вид:

КП.ООА.2004.ПЗ

в) в графе 3 записывается название университета, кафедры и группы. Например: КузГТУ, кафедра ЭПА, группа ЭА001.

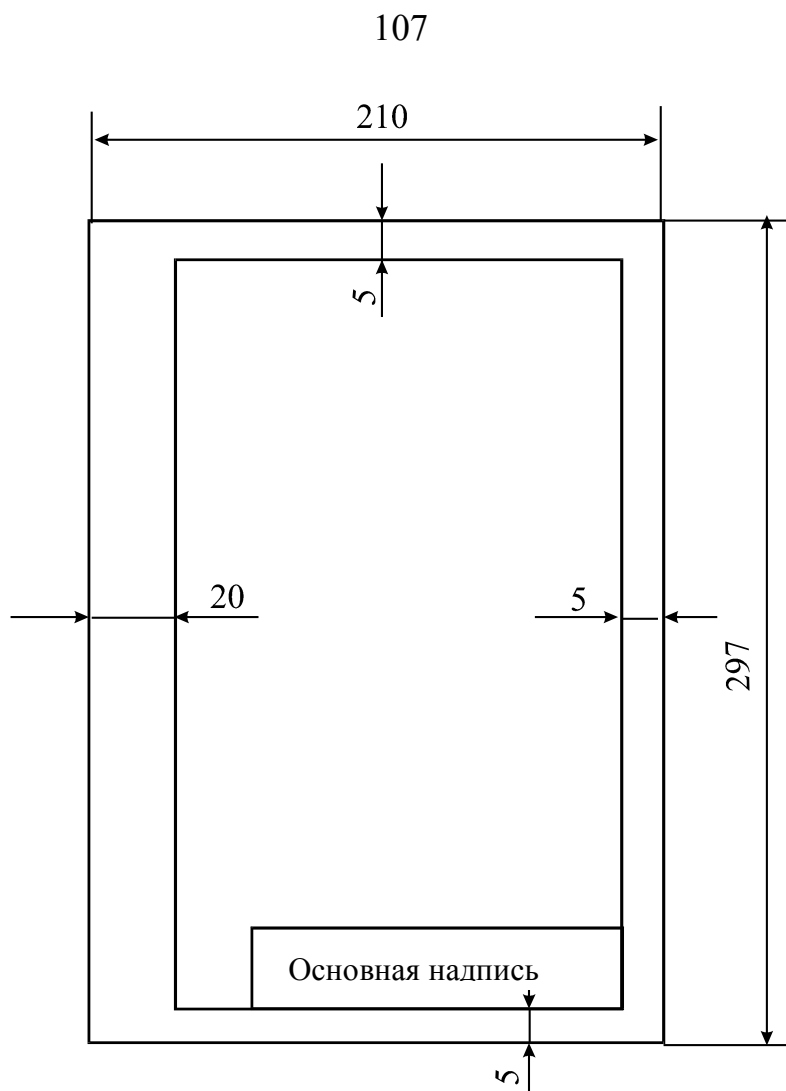


Рис. 1. Оформление листа пояснительной записки

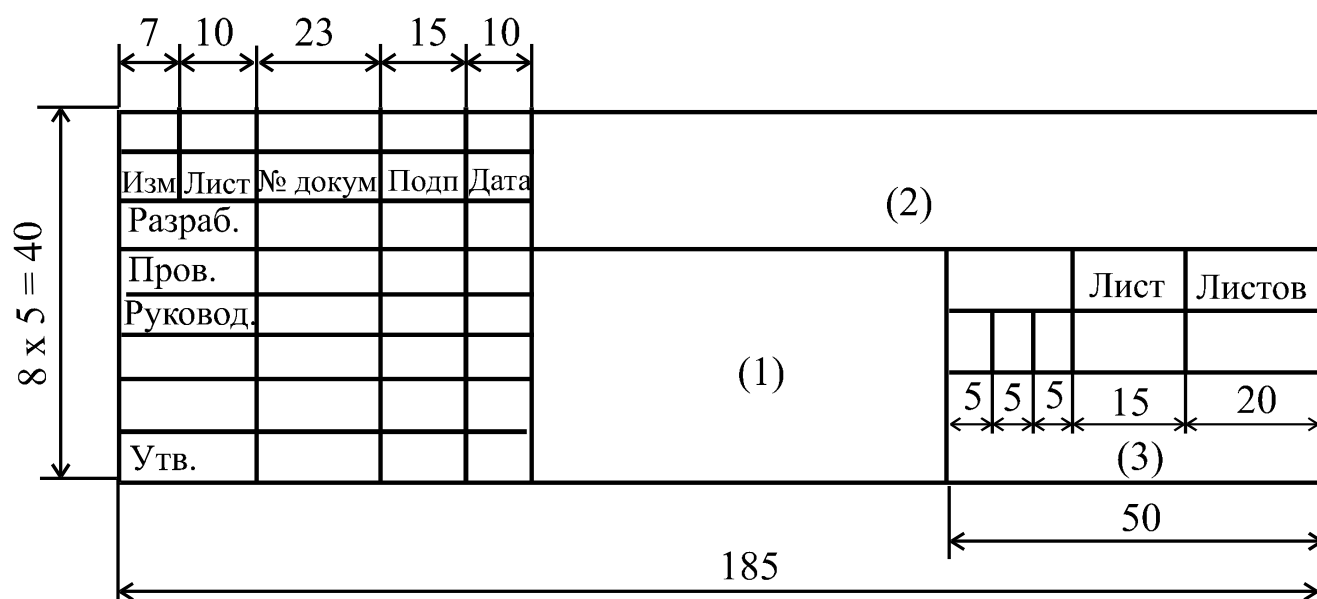


Рис. 2. Форма и размеры основной надписи заглавного листа

<div> <div>7</div> <div>10</div> <div>23</div> <div>15</div> <div>10</div> <div>110</div> <div>10</div> </div>						
					(2)	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата		

Рис. 3. Форма и размеры основной надписи последующих  
ЛИСТОВ

Титульный лист курсового проекта

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет»

Кафедра электропривода и автоматизации

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема проекта Разработка системы автоматизации  
(наименование технологического объекта)

---

Автор проекта \_\_\_\_\_  
Студент группы \_\_\_\_\_

Проект защищен  
с оценкой \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 г.

Руководитель проекта  
\_\_\_\_\_

Кемерово 200\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ 7****Список рекомендуемой литературы**

1. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / Под ред. А.С. Ключева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
2. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля / Под ред. А.С. Ключева. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Правила выполнения схем автоматизации технологических процессов и оборудования / А.Е. Медведев. – Кемерово: КузГТУ, 2006. – 58с.
4. Приборы и средства автоматизации. Отраслевой каталог.- М.: Информприбор, 1996. – 98 с.
5. Каталог продукции компании ОВЕН. – М.: ОВЕН, 2007. – 225с.
6. Мир электроники. Современные датчики: Справочник / Дж. Фрейден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
7. Комплексная автоматизация производства. Каталог *Simatic ST70*. 2003. – *Siemens*, 2003. – 975 с.
8. Краткий каталог продукции 7.0. Передовые технологии автоматизации.
9. Все необходимое для автоматизации. Каталог. – Тайвань: *Advahtech*, 2001. – 320 с.
10. Веб-сайт *Internet* по промышленным компьютерам и контроллерам : <http://www.ipc2u.ru>
11. Веб-сайт *Internet* по программируемым контроллерам ТЕ-КОН: <http://www.tecon.ru>
12. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления / Под ред. проф. В.Г. Харазова. – СПб: “П-2”, 2004. – 368 с.
13. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Практическое применение языков стандарта МЭК 61131-3 / Под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.

14. *CoDeSys*. Руководство пользователя по программированию ПЛК в *CoDeSys 2.3* / Документация на компакт-диске фирмы 3S. – Смоленск, 2006. – 453 с. [Электронный ресурс кафедры ЭПА].

15. Научно-технические журналы: Приборы и системы управления, Современные технологии автоматизации, Промышленные АСУ и контроллеры, Автоматизация в промышленности и т.п.

16. Компьютерная база данных по приборам и средствам автоматизации: Электронная версия / А.Г. Захарова. – КузГТУ: кафедра ЭПА, 2007.

17. Расчет системы автоматизации технологических процессов: Электронная версия / А.В. Чупин. – КузГТУ: кафедра ЭПА, 2005. – 64 с.

18. Система “*IPC-CAD*” для выполнения расчетов САР на персональном компьютере: Прикладная программа. [Электронный ресурс кафедры ЭПА КузГТУ].