

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА  
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ.  
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию  
в области автоматизации технологических процессов, производств  
и управления в качестве учебно-методического пособия  
для студентов учреждения высшего образования  
по направлению специальности 1-53 01 01-09  
Автоматизация технологических процессов и производств  
(сельское хозяйство)*

Минск  
БГАТУ  
2019

УДК 681.51(07)

ББК 32.965я7

М59

Составитель

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *А. Г. Сеньков*

Рецензенты:

кафедра проектирования информационно-компьютерных систем  
учреждения образования «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

(кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *В. В. Хорошко*);

кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» *В. К. Клыбик*

**Микропроцессорная техника систем автоматизации. Курсовое проектирование :**  
М59 учебно-методическое пособие / сост. А. Г. Сеньков. – Минск : БГАТУ, 2019. – 96 с.  
ISBN 978-985-519-973-2.

Представлены методические рекомендации по выполнению курсовой работы: исходные данные и требования к объекту управления, варианты заданий, разработка алгоритма автоматического управления, разработка микропроцессорной программы управления, разработка человеко-машинного интерфейса управления на основе графической сенсорной панели оператора. В приложении приведен пример полностью выполненной работы.

Для студентов по направлению учебной специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство).

УДК 681.51(07)

ББК 32.965я7

ISBN 978-985-519-973-2

© БГАТУ, 2019

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение .....	4
Цель, задачи и тематика курсовой работы.....	6
Структура и содержание курсовой работы .....	24
Методические рекомендации по выполнению курсовой работы .....	27
Требования к оформлению курсовой работы .....	56
Список рекомендованных источников.....	61
Приложение А Пример выполнения пояснительной записки к курсовой работе .....	62
Приложение Б Пример выполнения графической части курсовой работ .....	90

## ВВЕДЕНИЕ

Механизация и автоматизация в сельском хозяйстве позволяют в несколько раз повысить производительность труда. Новые технологии также способствуют значительному увеличению уровня производства сельскохозяйственной продукции и улучшению ее качества. За несколько последних десятилетий автоматизация сельского хозяйства трансформировалась в самостоятельную отрасль техники и науки, которая охватывает теорию, принципы построения, а также способы использования автоматизированных систем управления в отрасли сельского хозяйства с минимальным человеческим участием. Эти процессы непосредственно связаны с применением цифровых микропроцессорных устройств автоматического управления. Микропроцессорная техника получила широкое применение в системах управления технологическим оборудованием. Создание микропроцессора является одним из крупнейших достижений микроэлектроники и вычислительной техники за последние десятилетия. Применение микропроцессорной техники в системах автоматического управления оценивается как одно из важнейших направлений научно-технического прогресса. Преимуществами микропроцессорных систем управления являются их универсальность, гибкость, простота проектирования аппаратуры, практически неограниченные возможности по усложнению алгоритмов обработки информации.

Примеры использования микропроцессорных систем управления в сельском хозяйстве многочисленны. Так, животноводческие комплексы сегодня оснащаются потоковыми автоматизированными линиями доения коров и первичной обработки молока. В помещениях, где размещаются животные, автоматика контролирует климат, системы отопления и водоснабжения помещений, приготовление и раздачу кормов, удаление отходов. Системы вентиляции, размещенные в зерно- и овощехранилищах с автоматикой, дают возможность значительно уменьшить потери готового продукта при его хранении.

Для применения современных средств автоматики нужны квалифицированные специалисты. Если инженер знает принципы построения и работы микропроцессорных систем, ему легче изучить весь спектр имеющихся микропроцессорных систем управления и освоить вновь появляющиеся, проектировать и строить на их основе системы управления различной сложности. Познания в этой области дает дисциплина «Микропроцессорная техника систем автоматизации».

Выполнение курсовой работы по дисциплине «Микропроцессорная техника систем автоматизации» направлено на закрепление теоретических знаний по всем основным темам данной дисциплины и формирование у студентов практических

навыков в проектировании и использовании для автоматизации технологических процессов микропроцессорной техники и микропроцессорных систем управления. Знание микропроцессорной техники систем автоматизации необходимо и при дипломном проектировании, что позволит специалистам создавать проекты автоматизации технологических процессов и производств, а также в практической работе инженера на производстве.

Учебно-методическое пособие оформлено в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

Репозиторий БГАТУ

## ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

**Целью** курсовой работы является развитие у студентов навыков самостоятельной творческой работы, формирование у студентов практических навыков в проектировании и использовании для автоматизации технологических процессов микропроцессорной техники и микропроцессорных систем управления.

**Задачами** курсовой работы как этапа подготовки к дипломному проектированию являются:

– освоение, углубление, обобщение и проверка теоретических знаний и практических навыков использования микропроцессорных контроллеров в системах автоматизации;

– формирование умений использовать справочную литературу, техническую документацию.

### **Материальная база для выполнения курсовой работы**

С целью углубления практических навыков использования микропроцессорных контроллеров в системах автоматизации материальной базой для выполнения курсовой работы служат учебные лабораторные стенды, входящие в состав специализированного учебного класса. Каждый такой стенд включает в себя программируемый логический контроллер (ПЛК) Simatic S7-1200, компьютер с установленной на нем средой программирования и конфигурирования аппаратных средств, коммутационное оборудование с использованием сетевого интерфейса Industrial Ethernet, блоки ввода/вывода дискретных и аналоговых электрических сигналов для имитации технологического процесса. Также на стенде представлена сенсорная панель оператора KTP700 Basic Color PN – устройство ввода и отображения информации. В качестве программатора используется ПЭВМ с лицензионной системой программирования TIA (Totally Integrated Automation) Portal (V13).

### **Тематика курсовой работы**

Курсовая работа посвящена *разработке микропроцессорной программы автоматического управления электрическим водогрейным котлом – бойлером.*

С помощью ПЛК должны быть реализованы основные алгоритмы технологического процесса нагрева и подачи воды, а также должно быть запрограммировано поведение системы при возникновении возможных аварийных ситуаций.

### **Варианты заданий курсовой работы**

Выбор вариантов курсовой работы производится в соответствии с таблицей 1, в которой для каждого варианта курсовой работы даны: номер схемы из восьми схем, приведенных далее и содержащих основные исходные данные

по рассматриваемой микропроцессорной системе автоматического управления; требования к работе, реализованной в системе световой сигнализации; функции контроля и слежения за процессом в режиме исполнения программы.

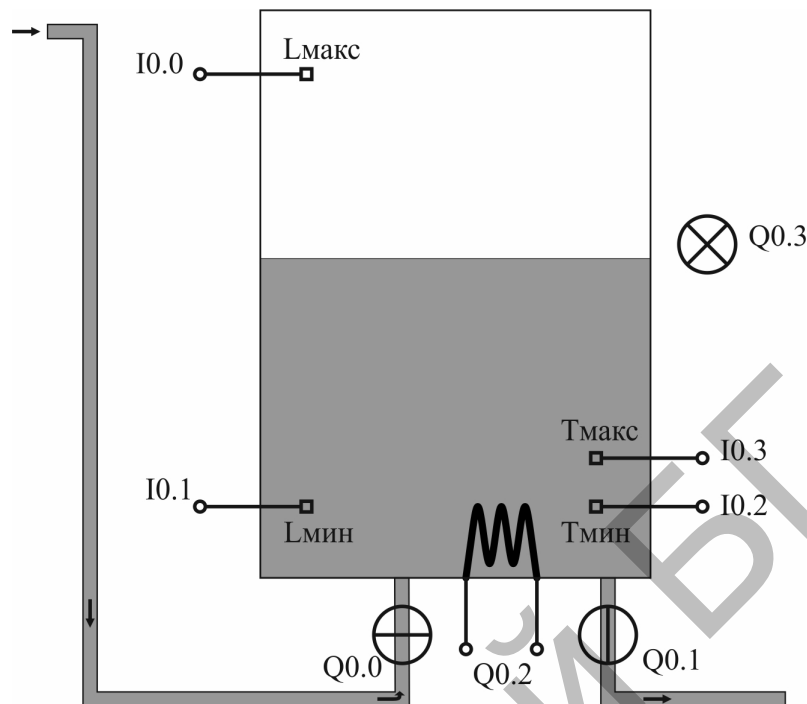
Полностью исходные данные для курсовой работы приведены в индивидуальном задании на курсовую работу, которое выдается преподавателем (пример задания приведен в приложении А).

Таблица 1. Выбор вариантов курсовой работы

Вариант	Номер схемы	Световая сигнализация	Функция контроля и слежения за процессом в режиме исполнения программы
1	1	При повышении уровня воды в котле сверх максимального значения $L_{\max}$	Архивирование значений температуры и уровня воды в баке и сохранение в файл в памяти ПЛК с периодичностью 30 с
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		
6	6	При повышении температуры воды в котле сверх максимального значения $T_{\max}$	
7	7		
8	8		
9	1		
10	2		
11	3	При понижении уровня воды в котле ниже минимального значения $L_{\min}$	Отображение на экране панели человеко-машинного интерфейса информационных сообщений и событий, соответствующих выходу уровня и температуры воды в котле за пределы допустимых максимальных и минимальных значений
12	4		
13	5		
14	6		
15	7		
16	8	При понижении температуры воды в котле ниже минимального значения $T_{\min}$	
17	1		
18	2		
19	3		
20	4		
21	5	При повышении уровня воды в котле сверх максимального значения $L_{\max}$	Защита паролем функций управления процессом с экрана панели человеко-машинного интерфейса от несанкционированного доступа неавторизованным пользователем
22	6		
23	7		
24	8		
25	1		
26	2	При повышении температуры воды в котле сверх максимального значения $T_{\max}$	
27	3		
28	4		
29	5		
30	6		

**Схема 1**

Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы (дискретные): I0.0 – датчик максимального уровня воды в баке; I0.1 – датчик минимального уровня воды; I0.2 – датчик минимальной температуры нагретой воды; I0.3 – датчик максимальной температуры нагретой воды; I0.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.

Выходы (дискретные): Q0.0 – входной клапан наполнения; Q0.1 – выходной клапан слива; Q0.2 – управление электрическим нагревательным элементом; Q0.3 – световая сигнализация.

Постановка задачи.

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\text{макс}}$  и минимальным  $T_{\text{мин}}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке.

1. Для наполнения бака водой необходимо открывать клапан наполнения.
2. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{макс}}$ , то выключается входной клапан наполнения и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ ) включается клапан слива.

3. Если клапан слива включен, то выключается он тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{мин}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ .



Управление температурой воды в баке.

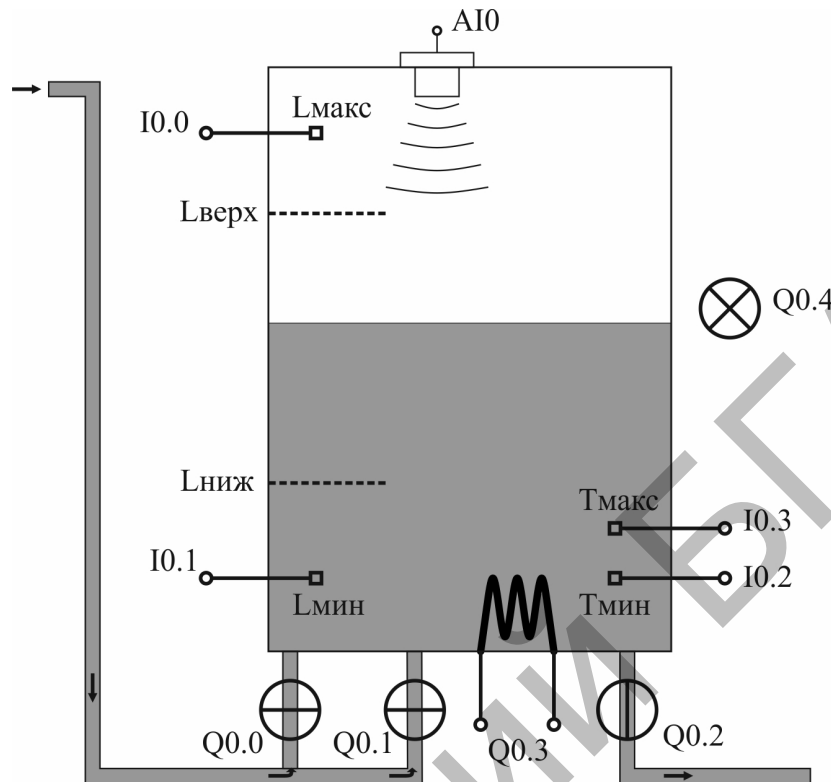
Нагрев воды должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\text{мин}}$  и температура воды ниже значения  $T_{\text{мин}}$ . Если температура воды достигла  $T_{\text{макс}}$ , то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\text{мин}}$ .

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели.

Предусмотреть ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды с помощью переключателя I0.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

**Схема 2**

Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы (дискретные): I0.0 – датчик максимального уровня воды в баке; I0.1 – датчик минимального уровня воды; I0.2 – датчик минимальной температуры нагретой воды; I0.3 – датчик максимальной температуры нагретой воды; I0.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.

Выходы дискретные: Q0.0 – входной клапан быстрого наполнения; Q0.1 – входной клапан медленного наполнения; Q0.2 – выходной клапан слива; Q0.3 – управление электрическим нагревательным элементом; Q0.4 – световая сигнализация.

Вход аналоговый (0–10 В): AI0 – ультразвуковой датчик уровня.

Постановка задачи.

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\text{макс}}$  и минимальным  $T_{\text{мин}}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке.

1. Для наполнения бака водой необходимо открывать оба входных вентиля.
2. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{верх}}$ , то дальнейшее заполнение водой до уровня  $L_{\text{макс}}$  должно происходить медленнее, поэтому должен быть включен только клапан медленного заполнения.

3. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{макс}}$ , то выключаются оба входных вентиля и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ ) включается клапан слива.

4. Если клапан слива включен, то выключается он только тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{ниж}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ .

5. Если включен клапан слива и уровень воды ниже значения  $L_{\text{верх}}$ , то для замедления процесса слива включается входной клапан медленного заполнения.

Управление температурой воды в баке.

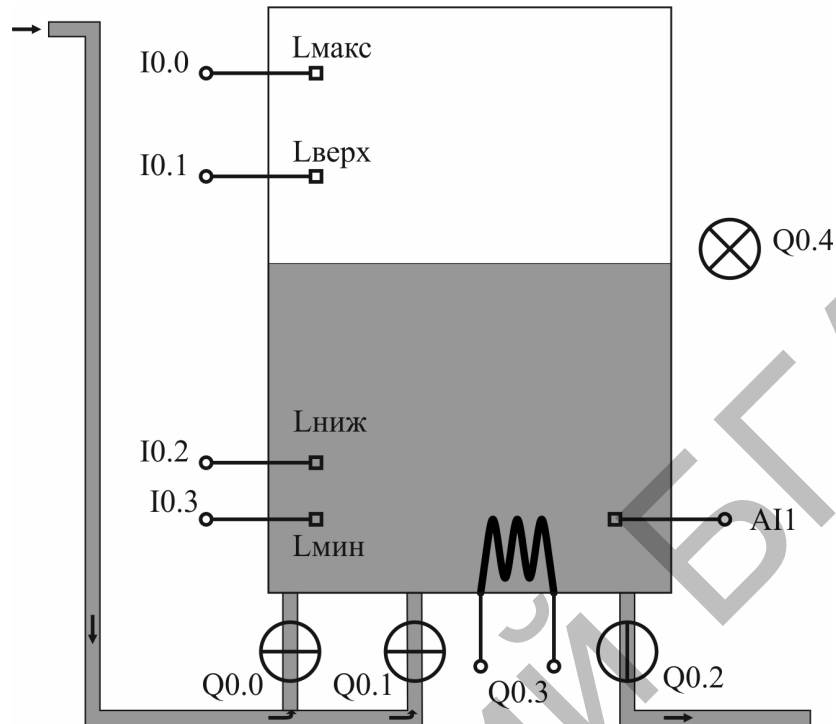
Нагрев воды должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\text{мин}}$  и температура воды ниже значения  $T_{\text{макс}}$ . Если температура воды достигла максимума, то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\text{мин}}$ .

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели.

Предусмотреть ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды с помощью переключателя 10.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

### Схема 3

Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы дискретные: I0.0 – датчик максимального уровня воды в баке; I0.1 – датчик верхнего уровня воды; I0.2 – датчик нижнего уровня воды; I0.3 – датчик минимального уровня воды; I0.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.

Вход аналоговый (0–10 В): AI1 – датчик температуры, рабочий диапазон 0–100 °С.

Выходы дискретные: Q0.0 – входной клапан быстрого наполнения; Q0.1 – входной клапан медленного наполнения; Q0.2 – выходной клапан слива; Q0.3 – управление электрическим нагревательным элементом; Q0.4 – световая сигнализация.

Постановка задачи.

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\text{макс}}$  и минимальным  $T_{\text{мин}}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке.

1. Для наполнения бака водой необходимо открывать оба входных вентиля.
2. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{верх}}$ , то дальнейшее заполнение водой до уровня  $L_{\text{макс}}$  должно происходить медленнее, поэтому должен быть включен только клапан медленного заполнения.

3. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{макс}}$ , то выключаются оба входных вентиля и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ ) включается клапан слива.

4. Если клапан слива включен, то выключается он только тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{ниж}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ .

5. Если включен клапан слива и уровень воды ниже значения  $L_{\text{верх}}$ , то для замедления процесса слива включается входной клапан медленного заполнения.

Управление температурой воды в баке.

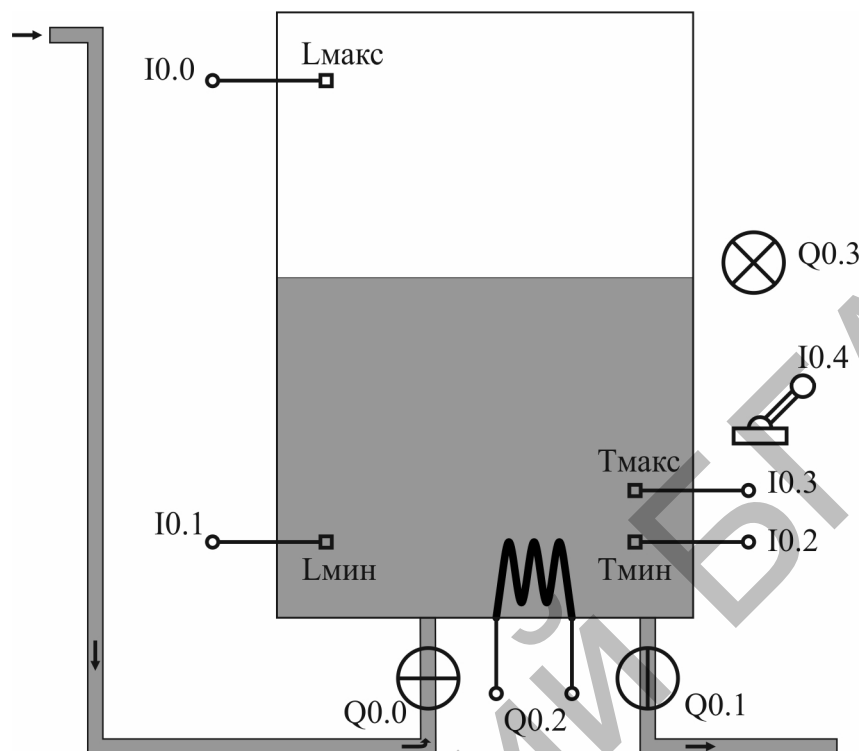
Нагрев воды должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\text{мин}}$  и температура воды ниже значения  $T_{\text{макс}}$ . Если температура воды достигла максимума, то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\text{мин}}$ .

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Ввод значений минимальной и максимальной температуры воды в баке должен осуществляться с сенсорной панели. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели.

Предусмотреть ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды с помощью переключателя 10.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

**Схема 4**

Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы дискретные: I0.0 – датчик максимального уровня воды в баке; I0.1 – датчик минимального уровня воды; I0.2 – датчик минимальной температуры нагретой воды; I0.3 – датчик максимальной температуры нагретой воды; I0.4 – переключатель старта процесса автоматического управления; I0.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.

Выходы дискретные: Q0.0 – входной клапан наполнения; Q0.1 – выходной клапан слива; Q0.2 – управление электрическим нагревательным элементом; Q0.3 – световая сигнализация.

Постановка задачи.

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\text{макс}}$  и минимальным  $T_{\text{мин}}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке.

1. Для наполнения бака водой необходимо открывать клапан наполнения.
2. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{макс}}$ , то выключается входной клапан наполнения и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ ) включается клапан слива.

3. Если клапан слива включен, то выключается он только тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{мин}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ .

Управление температурой воды в баке.

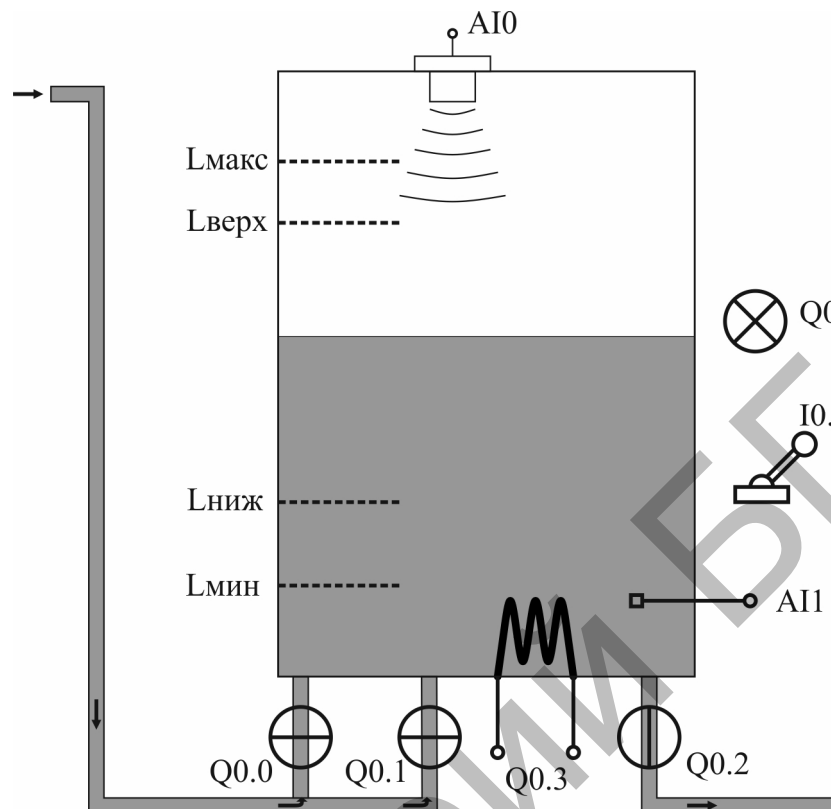
Нагрев воды должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\text{мин}}$  и температура воды ниже значения  $T_{\text{макс}}$ . Если температура воды достигла значения  $T_{\text{макс}}$ , то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\text{мин}}$ .

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется как нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели, так и кратковременным включением переключателя I0.4.

Предусмотреть ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды с помощью переключателя I0.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

**Схема 5**

Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы дискретные: I0.0 – переключатель старта процесса автоматического управления; I0.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.

Входы аналоговые (0–10 В): AI0 – ультразвуковой датчик уровня; AI1 – датчик температуры воды в баке.

Выходы дискретные: Q0.0 – входной клапан быстрого наполнения; Q0.1 – входной клапан медленного наполнения; Q0.2 – выходной клапан слива; Q0.3 – управление электрическим нагревательным элементом; Q0.4 – световая сигнализация.

Постановка задачи.

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\text{макс}}$  и минимальным  $T_{\text{мин}}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке.

1. Для наполнения бака водой необходимо открывать оба входных вентиля.
2. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{верх}}$ , то дальнейшее заполнение водой до уровня  $L_{\text{макс}}$  должно происходить медленнее, поэтому должен быть включен только клапан медленного заполнения.



3. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{макс}}$ , то выключаются оба входных вентиля и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ ) включается клапан слива.

4. Если клапан слива включен, то выключается он только тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{ниж}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ .

5. Если включен клапан слива и уровень воды ниже значения  $L_{\text{верх}}$ , то для замедления процесса слива включается входной клапан медленного заполнения.

Управление температурой воды в баке.

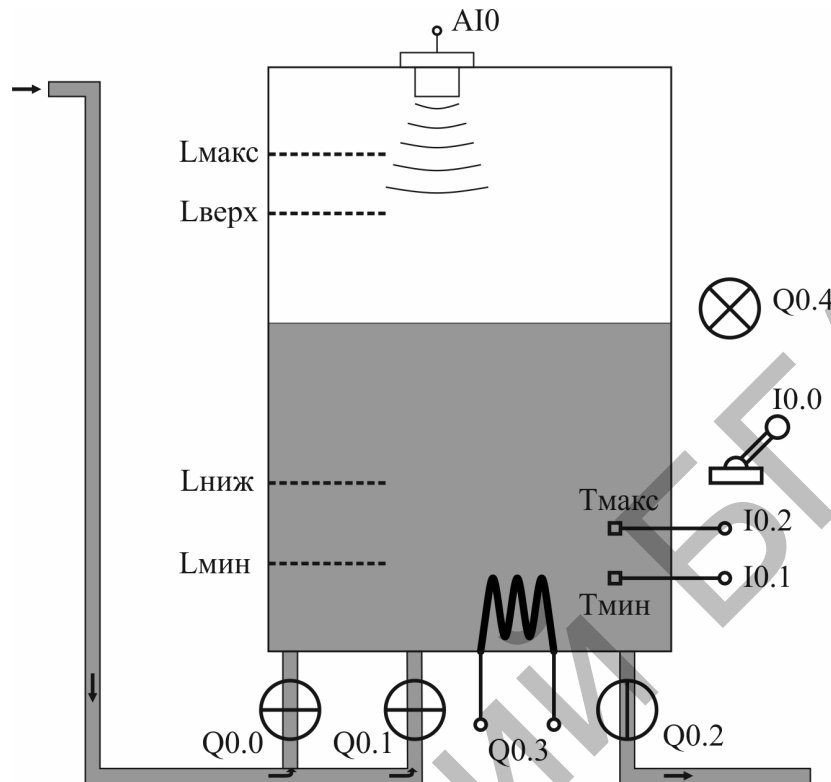
Нагрев воды должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\text{мин}}$  и температура воды ниже значения  $T_{\text{макс}}$ . Если температура воды достигла максимума, то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\text{мин}}$ .

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Ввод значений минимальной и максимальной температуры воды в баке, минимального, нижнего, верхнего и максимального уровней воды должен осуществляться с сенсорной панели. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется как нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели, так и кратковременным включением переключателя I0.0.

Предусмотреть ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды с помощью переключателя I0.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

**Схема 6**

Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы дискретные: I0.0 – переключатель старта процесса автоматического управления; I0.1 – датчик минимальной температуры нагретой воды; I0.2 – датчик максимальной температуры нагретой воды; I0.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.

Вход аналоговый (0–10 В): AI0 – ультразвуковой датчик уровня.

Выходы дискретные: Q0.0 – входной клапан быстрого наполнения; Q0.1 – входной клапан медленного наполнения; Q0.2 – выходной клапан слива; Q0.3 – управление электрическим нагревательным элементом; Q0.4 – световая сигнализация.

Постановка задачи.

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\text{макс}}$  и минимальным  $T_{\text{мин}}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке.

1. Для наполнения бака водой необходимо открывать оба входных вентиля.
2. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{верх}}$ , то дальнейшее заполнение водой до уровня  $L_{\text{макс}}$  должно происходить медленнее, поэтому должен быть включен только клапан медленного заполнения.

3. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{макс}}$ , то выключаются оба входных вентиля и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ ) включается клапан слива.

4. Если клапан слива включен, то выключается он только тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{ниж}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ .

5. Если включен клапан слива и уровень воды ниже значения  $L_{\text{верх}}$ , то для замедления процесса слива включается входной клапан медленного заполнения.

Управление температурой воды в баке.

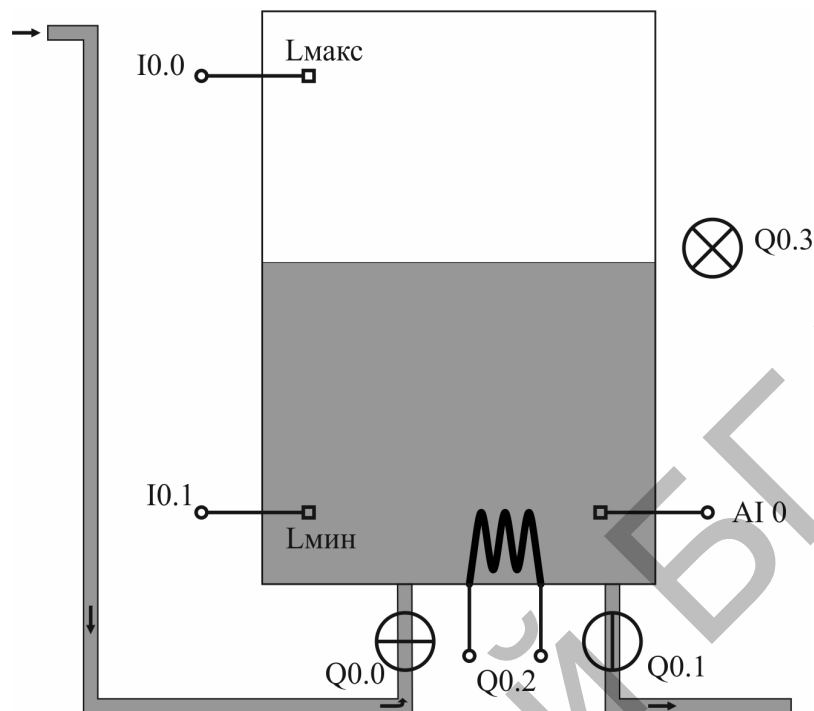
Нагрев воды должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\text{мин}}$  и температура воды ниже значения  $T_{\text{макс}}$ . Если температура воды достигла максимума, то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\text{мин}}$ .

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Ввод значений минимального, нижнего, верхнего и максимального уровней воды должен осуществляться с сенсорной панели. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется как нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели, так и кратковременным включением переключателя I0.0.

Предусмотреть ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды с помощью переключателя I0.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

**Схема 7**

Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы дискретные: I0.0 – датчик максимального уровня воды в баке; I0.1 – датчик минимального уровня воды; I0.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.

Вход аналоговый (0–10 В): AI0 – датчик температуры воды в баке.

Выходы дискретные: Q0.0 – входной клапан наполнения; Q0.1 – выходной клапан слива; Q0.2 – управление электрическим нагревательным элементом; Q0.3 – световая сигнализация.

Постановка задачи.

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\text{макс}}$  и минимальным  $T_{\text{мин}}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке.

1. Для наполнения бака водой необходимо открывать клапан наполнения.
2. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{макс}}$ , то выключается входной клапан наполнения и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ ) включается клапан слива.

3. Если клапан слива включен, то выключается он только тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{мин}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ .

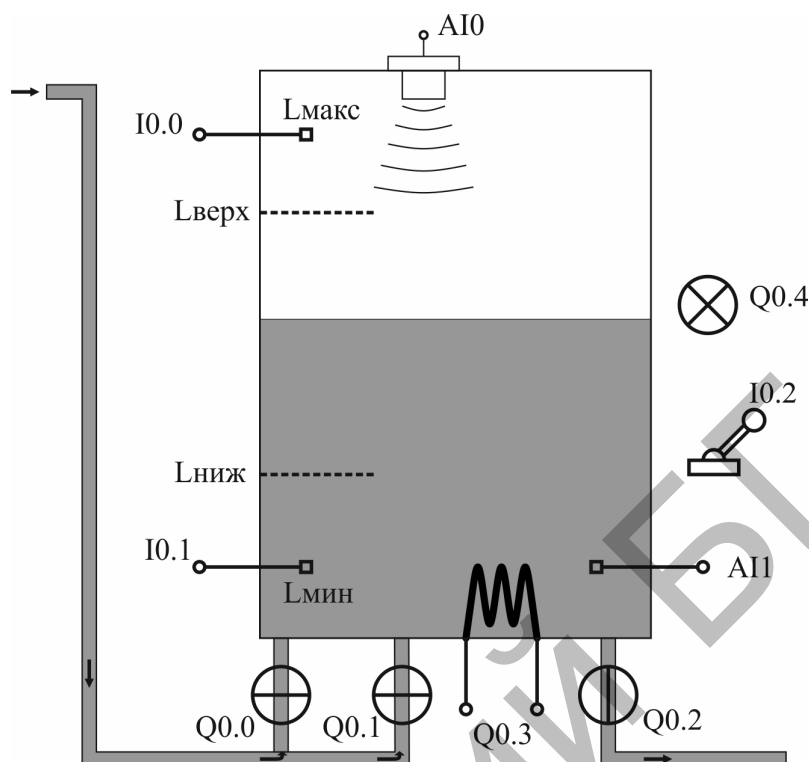
Управление температурой воды в баке.

Нагрев воды должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\text{мин}}$  и температура воды ниже значения  $T_{\text{макс}}$ . Если температура воды достигла максимума, то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\text{мин}}$ .

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Ввод значений минимальной и максимальной температуры воды в баке должен осуществляться с сенсорной панели. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели. Ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды выполняется помощью переключателя I0.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

**Схема 8**

Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы дискретные: IO.0 – датчик максимального уровня воды в баке; IO.1 – датчик минимального уровня воды; IO.2 – переключатель старта процесса автоматического управления; IO.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.

Входы аналоговые (0–10 В): AI0 – ультразвуковой датчик уровня; AI1 – датчик температуры воды в баке.

Выходы дискретные: Q0.0 – входной клапан быстрого наполнения; Q0.1 – входной клапан медленного наполнения; Q0.2 – выходной клапан слива; Q0.3 – управление электрическим нагревательным элементом; Q0.4 – световая сигнализация.

Постановка задачи.

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\text{макс}}$  и минимальным  $T_{\text{мин}}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке.

1. Для наполнения бака водой необходимо открывать оба входных вентиля.
2. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{верх}}$ , то дальнейшее заполнение водой до уровня  $L_{\text{макс}}$  должно происходить медленнее, поэтому должен быть включен только клапан медленного заполнения.

3. Если уровень воды выше значения  $L_{\text{макс}}$ , то выключаются оба входных вентиля и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ ) включается клапан слива.

4. Если клапан слива включен, то выключается он только тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{ниж}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ .

5. Если включен клапан слива и уровень воды ниже значения  $L_{\text{верх}}$ , то для замедления процесса слива включается входной клапан медленного заполнения.

Управление температурой воды в баке.

Нагрев воды должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\text{мин}}$  и температура воды ниже значения  $T_{\text{макс}}$ . Если температура воды достигла максимума, то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\text{мин}}$ .

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Ввод значений минимальной и максимальной температуры воды в баке, нижнего и верхнего уровней воды должен осуществляться с сенсорной панели. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется как нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели, так и кратковременным включением переключателя I0.2. Ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды выполняется помощью переключателя I0.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

## СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Структура курсовой работы определяется учебной программой дисциплины и должна включать следующие элементы (материалы приведены в порядке их расположения):

- титульный лист;
- задание;
- реферат;
- содержание;
- введение;
- текст пояснительной записки с иллюстративным материалом, таблицами, графиками и т. п.;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Общий объем курсовой работы составляет 25–30 машинописных страниц.

Способ выполнения текстовых материалов – машинописный (основной) с применением выходных печатающих устройств ЭВМ, при этом рекомендуется набирать текст в текстовом редакторе Word, использовать шрифты Times New Roman размером 14 pt (пунктов), полуторный интервал, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 1,25 см.

**Титульный лист** является первой страницей пояснительной записки. Выполняется на бланке установленной формы. На титульном листе рамки не выполняются, штамп основной надписи не приводят.

**Задание на проектирование** является главным руководством, на основании которого разрабатывается проект. Задание выполняется на бланке установленного образца, который выдается руководителем курсового проекта (работы). Задание на курсовое проектирование утверждается заведующим кафедрой. При получении задания свою подпись на нем ставит студент. Форма задания на курсовой проект (курсовую работу) приведена в [6].

**Реферат** – краткая характеристика выполненного проекта, предназначенная для предварительного ознакомления с проектом и отражающая основное содержание работы с точки зрения ее достоинств и достижения цели, поставленной в теме проекта.

Текст реферата пишется на стандартном листе, оформленном рамкой. Основную надпись на данном листе не помещают. Номер страницы не проставляют.



Заголовок «Реферат» пишется с прописной буквы и располагается на отдельной строке симметрично тексту. Объем реферата – не более одной страницы. Вначале указывают объем проектной документации: перечисляют общий объем текстовых материалов с выделением, в том числе иллюстраций (эскизов, рисунков, таблиц и т. п.); указывают объем графической части проекта. Указывают количество использованных источников. Далее приводят ключевые слова. Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста пояснительной записки, которые в наибольшей степени характеризуют содержание. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются строчными буквами в строку через запятые после слов «Ключевые слова». Затем дают краткое содержание проекта (работы), отражающее цель работы, методы разработки, принятые решения, приводят итоговые результаты и основные показатели, указывают возможности внедрения основных результатов проекта.

Образец реферата приведен в [6].

**Содержание** предназначено для облегчения поиска необходимых материалов при чтении записки, а также для общего ознакомления с работой и представления об объемах всех разделов. Содержание начинает текстовую часть пояснительной записки. Его размещают сразу после листа реферата с новой страницы и при необходимости продолжают на последующих листах. Слово «Содержание» пишут с прописной буквы посередине страницы. В содержании приводят порядковые номера и наименования разделов, подразделов и пунктов, имеющих наименование, а также приложения с их обозначениями и наименованиями. Указывается номер листа (страницы), на котором размещено начало материала (раздела, подраздела и т. п.). На первой странице содержания приводят основную надпись по форме, соответствующей основной надписи первого листа текстового материала. Пример оформления содержания приведен в [6].

**Введение** характеризует современное содержание тех вопросов и проблем, которым посвящен курсовой проект (работа). Во введении нужно обосновать необходимость проведения именно этой работы, показать ее место в кругу аналогичных работ, актуальность и новизну разрабатываемой темы, цель проекта и ожидаемый результат.

**Текст пояснительной записки.** Содержание разделов пояснительной записки определяется заданием на проектирование. Оформление пояснительной записки осуществляется в соответствии с [6].

**Заключение** должно отражать основные результаты работы, выводы и предложения.

**Список использованных источников.** Составление списка использованных источников является завершением курсового проекта (работы), основой для которого

служат записи всех просмотренных и изученных книг, статей из сборников и журналов и других материалов.

Как правило, используется алфавитный способ группировки материала в списках, когда источники группируют в алфавитном порядке записей. В начале списка размещают по алфавиту книги, затем – статьи из журналов и сборников. При этом иностранные источники размещают по алфавиту после перечня всех источников на языке выполняемой работы.

Библиографический указатель использованной при выполнении литературы дается на отдельной странице (страницах) под заголовком «Список использованных источников». Заголовок порядкового номера не имеет.

В список включают только те источники, на которые в тексте ПЗ имеется ссылка. Каждый источник, включенный в список, нумеруют арабскими цифрами с точкой и записывают с новой строки.

Примеры записи литературных источников приведены в [6].

**Приложения.** Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ для ПЛК и т. д.

Приложения оформляют как продолжение записки на последующих ее листах.

В тексте записки на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения нумеруют и располагают в порядке ссылок на них в тексте записки.

Пояснительная записка должна быть сброшюрованной, выполненной в папке со скоросшивателем и прозрачной первой страницей.

**Содержание** пояснительной записки к курсовой работе должно включать следующие разделы:

1. Исходные данные.
2. Разработка алгоритма управления объектом.
3. Разработка микропроцессорной программы управления объектом.

**Графическая часть** курсовой работы должна включать два листа формата А4:

- схему автоматизации;
- принципиальную электрическую схему системы автоматического управления.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### 1 Исходные данные

В этом разделе должно быть приведено краткое описание объекта управления в соответствии с темой и заданием на курсовую работу (пример задания приведен в приложении А), приведен рисунок объекта управления, разработана схема автоматизации.

Пример описания исходных данных приведен в приложении А.

### 2 Разработка алгоритма управления объектом

Первым шагом разработки алгоритма программы управления является его словесное описание на основе требований, приведенных в задании на курсовую работу [9].

В качестве примера приведем словесное описание алгоритма управления уровнем воды в котле.

В начале работы вода в котле отсутствует. Оба входных клапана и выходной клапан закрыты. После нажатия на кнопку «Старт» открываются оба входных клапана – быстрого и медленного наполнения. Выходной клапан слива остается закрытым. Бак начинает заполняться водой. При повышении уровня воды сначала срабатывает датчик минимального уровня  $L_{\text{мин}}$ , затем – датчик нижнего уровня  $L_{\text{ниж}}$ , а затем – датчик верхнего уровня  $L_{\text{верх}}$ . После срабатывания датчика верхнего уровня  $L_{\text{верх}}$ , отключается входной клапан быстрого наполнения. Бак продолжает медленно наполняться до максимального уровня. При срабатывании датчика максимального уровня воды  $L_{\text{макс}}$ , входной клапан медленного наполнения отключается. Приток воды в бак полностью прекращается. В случае, если температура воды в баке находится в требуемых границах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ , открывается выходной клапан слива. Нагретая вода уходит из бака. Если уровень воды ниже  $L_{\text{верх}}$ , вновь включается клапан медленного наполнения для того, чтобы опустошение бака происходило медленнее. Если уровень воды в баке ниже отметки  $L_{\text{ниж}}$ , клапан слива закрывается, и возобновляется наполнение бака, т. е. к работающему клапану медленного наполнения подключается клапан быстрого наполнения.

Для разработки алгоритма управления объектом введем следующие символьные обозначения используемых в системе устройств автоматики:

- $a_1$  – переключатель Старт/Стоп;
- $b_1$  – датчик минимального уровня воды в баке;
- $b_2$  – нижний уровень воды в баке;
- $b_3$  – верхний уровень воды в баке;
- $b_4$  – максимальный уровень воды в баке;
- $b_5$  – минимальное требуемое значение температуры воды в баке;
- $b_6$  – максимальное допустимое значение температуры воды в баке;

$X_1$  – исполнительный механизм клапана быстрого наполнения;

$X_2$  – исполнительный механизм клапана медленного наполнения;

$X_3$  – исполнительный механизм клапана слива;

$X_4$  – исполнительный механизм электронагревателя;

$X_5$  – сигнализация выхода температуры или уровня воды за допустимые границы.

Символьная запись алгоритма управления уровнем воды в баке имеет следующий вид (таблица 2).

Таблица 2. Символьная запись алгоритма управления уровнем воды в баке

Шаг	1	2	3	4	5	6	7	8
Вес элемента	1	2, 4	8	16	2	32	4	64
Запись алгоритма	$a_1\uparrow$	$X_1\uparrow$ $X_2\uparrow$	$b_2\uparrow$	$b_3\uparrow$	$X_1\downarrow$	$b_4\uparrow$	$X_2\downarrow$	$X_3\uparrow$
Вес состояния	1	7	15	31	29	61	57	121
Шаг	9	10	11	12	13	14		
Вес элемента	32	16	4	8	64			
Запись алгоритма	$b_4\downarrow$	$b_3\downarrow$	$X_2\uparrow$	$b_2\downarrow$	$X_3\downarrow$			
Вес состояния	89	73	77	69	5			

Проверка реализуемости данного алгоритма методом подсчета весового состояния [9] показывает, что данный алгоритм реализуем.

Разработка алгоритма управления температурой воды в баке приведена в приложении А.

### 3 Разработка микропроцессорной программы управления объектом

Для разработки программ для ПЛК в настоящее время используются интегрированные среды разработки (ИСП, *англ.* IDE – Integrated development environment), содержащие в своем составе текстовые редакторы, компиляторы, редакторы связей, загрузчики и симуляторы. ИСП обычно представляет собой единственную программу, в которой проводится вся разработка. ИСП содержит функции для создания, изменения, компилирования, развертывания и отладки программы ПЛК [3].

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) – интегрированная среда разработки программного обеспечения систем автоматизации технологических процессов на основе оборудования производства фирмы Siemens [12]. В TIA Portal объединены три основных программных пакета:

- Simatic Step 7 v.11 – для программирования контроллеров S7-1200, S7-300, S7-400 и WinAC;

- Simatic WinCC v.11 – для разработки человеко-машинного интерфейса (программирование сенсорных панелей и SCADA-систем);
- Sinamics StartDrive v.11 – для программирования преобразователей частоты Sinamics.

В среде TIA Portal предусмотрены два способа отображения структуры проекта автоматизации: порталное представление (portal view) и проектно-ориентированное представление (project view). Портальное представление отображает структуру проекта с точки зрения задач и функций, которые могут быть выполнены в проекте, например: создание нового проекта – Create new project, открытие уже созданного ранее и сохраненного на жестком диске проекта – Open existing project; отображение используемых в проекте устройств (контроллеров, панелей оператора, модулей ввода/вывода и др.) и настроек сетевых соединений между устройствами – Devices & networks; мониторинг и диагностика доступных для программирования в данном проекте устройств – Online & Diagnostics и др.

Проектно-ориентированное представление структуры проекта (рисунок 1) отображает все компоненты внутри проекта и позволяет получить быстрый доступ к любому из них.

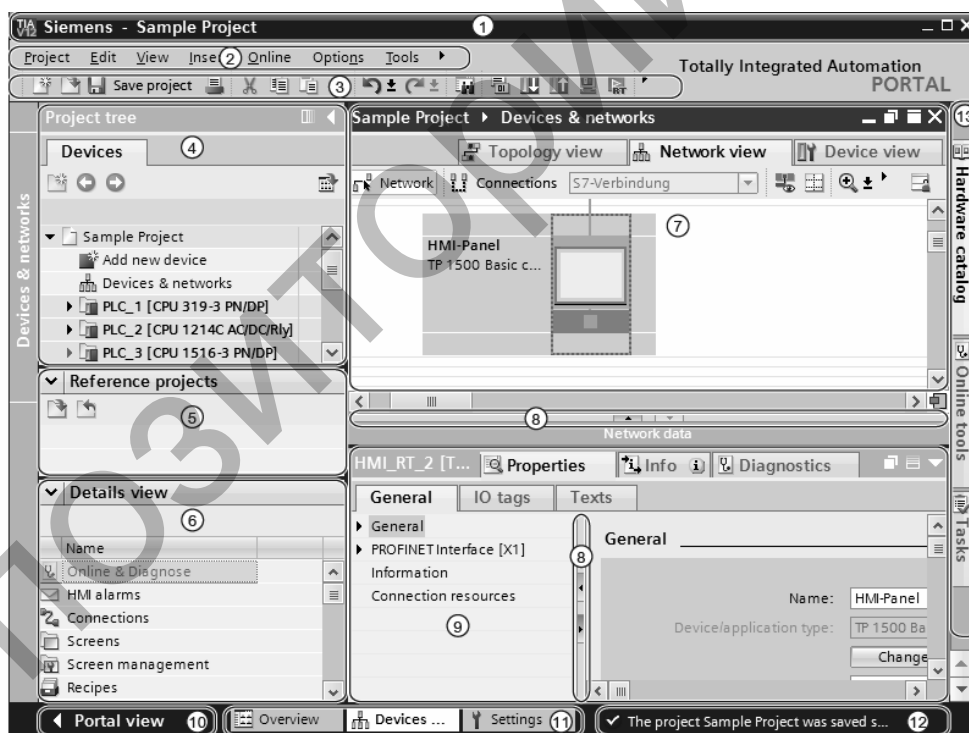


Рисунок 1 – Проектно-ориентированное представление структуры проекта (project view):

- 1 – панель заголовка (название проекта);
- 2 – главное меню;
- 3 – панель кнопок управления;
- 4 – дерево проекта;
- 5 – отображение других проектов, связанных с данным проектом;
- 6 – подробные данные об объекте, выбранном в дереве проекта;
- 7 – рабочая область окна;
- 8 – разделители;
- 9 – окно инспектора свойств объектов;
- 10 – переход к порталному представлению;
- 11 – панель переключения между задачами;
- 12 – строка состояния;
- 13 – панель вкладок библиотек компонентов

### *Создание проекта*

Запуск интегрированной среды разработки TIA Portal V13 выполняется по соответствующему значку на рабочем столе компьютера или из меню Пуск→Все программы→Siemens automation→TIA Portal V13. Изначально рабочее окно среды разработки TIA Portal находится в режиме порталного представления.

Для создания нового проекта необходимо выбрать левой кнопкой мыши действие Create new project (Создать новый проект), после чего указать название проекта, задать каталог на диске, в котором будут храниться файлы проекта, и нажать на экране кнопку Create.

Следующий шаг – конфигурация используемого аппаратного оборудования: Devices & Networks→Configure a device. Необходимо добавить в проект (Add new device) контроллер Simatic S7-1200 модели CPU→1214C DC/DC/DC с номером 6ES7 1214-1AG31-0XB0. При этом в поле Device name необходимо указать имя контроллера или оставить автоматически предложенное имя (PLC\_1). Нажать на экране кнопку Add. В результате этого представление проекта автоматически изменится на проектно-ориентированное, в котором в рабочей области окна появится графическое изображение добавленного в проект контроллера.

Для конфигурирования рабочих параметров ЦПУ следует выбрать ЦПУ в отображении набора устройств (при этом вокруг всего ЦПУ должна появиться синяя рамка) и открыть вкладку "Properties" [Свойства] во всплывающем меню. В окне инспектора свойств (в нижней части экрана) можно установить следующие параметры:

– Интерфейс PROFINET: установка IP-адреса для ЦПУ и синхронизации времени.

– DI, DO, AI: настройка поведения локальных (встроенных) цифровых и аналоговых входов и выходов.

– Скоростные счетчики и генераторы импульсов: активизация и настройка быстрых счетчиков (HSC) и генераторов импульсов, используемых для операций с последовательностями импульсов и широтно-импульсной модуляции.

– Запуск: настройка поведения ЦПУ после выключения и последующего включения.

– Время суток: установка времени, часового пояса и переключения между зимним и летним временем.

– Защита: установка защиты от чтения/записи и пароля для доступа к ЦПУ.

– Системная и тактовая битовая память (такты меркеры): установка байта для функций «системной памяти» (для битов «первый цикл», «всегда включен» и «всегда выключен») и установка байта для функций «такты памяти» (где каждый бит включается и выключается с заранее заданной частотой).

– Время цикла: установка максимального времени цикла и фиксированного минимального времени цикла.

– Коммуникационная нагрузка: назначение процентной доли времени ЦПУ для коммуникационных задач.

### **Структура программы ПЛК**

В зависимости от сложности решаемой задачи управления для программы пользователя может быть выбрана линейная или модульная структура [7].

В линейной программе все команды выполняются последовательно друг за другом и находятся в одном кодовом блоке, называемом организационным блоком (OB1).

Модульная программа вызывает специальные кодовые блоки, которые выполняют отдельные подзадачи общей задачи управления. Для создания модульной структуры сложная задача автоматизации делится на более простые подзадачи, соответствующие технологическим функциям процесса (рисунок 2).



Рисунок 2 – Линейная и модульная структуры программы пользователя

В ПЛК Simatic S7-1200 имеются три типа кодовых блоков [12]:

- Организационный блок (OB) реагирует на определенное событие в CPU и может прервать исполнение программы пользователя. Стандартный блок для исполнения программы пользователя (OB1) предоставляет основную структуру пользовательской программы и является единственным кодовым блоком, необходимым для пользовательской программы. Если вы вставите другие OB в свою программу, то эти OB прервут исполнение OB1. Другие OB выполняют специфические функции, например, для задач запуска, для обработки прерываний и ошибок или для исполнения конкретного программного кода через определенные интервалы времени.

- Функциональный блок (FB) – подпрограмма, которая исполняется при вызове из другого кодового блока (OB, FB или FC). Вызывающий блок передает параметры в FB, а также определяет некоторый блок данных (DB), который сохраняет данные для этого вызова или экземпляра этого FB. Изменение экземплярного DB

позволяет родовому FB управлять работой группы устройств. Например, один FB может управлять несколькими насосами или вентилями с помощью различных экземплярных DB, содержащих конкретные рабочие параметры для каждого насоса или вентиля.

- Функция (FC) – подпрограмма, которая выполняется при вызове из другого кодового блока (OB, FB или FC). У FC нет связанного с ней кодового блока данных DB. Вызывающий блок передает параметры в FC. Выходные значения FC должны быть записаны в адреса памяти или в глобальный DB.

### ***Понятие переменной. Адресация переменных, типы данных***

Переменная – область памяти контроллера для хранения данных определенного типа. Каждая переменная характеризуется своим адресом и длиной, которая зависит от типа хранимых данных. При обращении в программе к переменной для считывания или записи данных нужно указать адрес этой переменной [5]. В языках программирования высокого уровня есть два способа указания адреса переменной: абсолютный адрес и символьный адрес [2]. При указании абсолютного адреса переменной нужно указать область памяти контроллера, в которой она находится, размер переменной, номер начального байта и, при необходимости, – номер бита, например: I0.1, QV0, MW20. Первая буква определяет область памяти контроллера. Вторая буква определяет размер переменной в байтах: B (byte) – 1 байт, W (word) – 2 байта, D (double word) – 4 байта. Однако такой способ указания адреса не всегда удобен и при использовании в программе большого количества переменных может привести к путанице при написании программы. Поэтому можно использовать символьное указание адреса, при котором с абсолютным адресом переменной связывается некоторое состоящее из символов слово (имя переменной), имеющее для программиста определенный, понятный ему смысл. Так, например, если к дискретному входу контроллера I0.0 подключена кнопка пуска режима автоматического управления контролируемым технологическим процессом, то с адресом I0.0 можно связать символьное имя данной переменной "ButtonStart". Для одной переменной может быть задано только одно символьное имя.

Для задания символьных имен переменных в Simatic Step 7 предусмотрены таблицы символьных имен – PLC tags. Для открытия таблицы символьных имен необходимо в дереве проекта (Project tree) выбрать пункт PLC\_1→PLC tags→Default tag table, в результате чего откроется таблица Default tag table, создаваемая средой Simatic Step 7 автоматически для каждого проекта. Для определения символьного имени переменной необходимо задать само символьное имя (Name),



указать ее тип данных (Data type), абсолютный адрес (Adress) и при необходимости – комментарий.

ЦПУ предоставляет несколько возможностей для сохранения данных во время исполнения программы пользователя.

Глобальная память: ЦПУ предоставляет ряд специализированных областей памяти, включая входы (I), выходы (Q) и битовую память (меркеры) (M). Эта память доступна для всех кодовых блоков без ограничения (таблицы 3–7).

Блок данных (DB): может быть включен в программу для сохранения данных для кодовых блоков. Эти данные сохраняются после исполнения соответствующего кодового блока. В «глобальном» DB сохраняются данные, которые могут быть использованы всеми кодовыми блоками, тогда как в экземплярном DB хранятся данные только для конкретного FB, и они структурированы в соответствии с параметрами этого FB.

Временная память: при вызове кодового блока операционная система ЦПУ выделяет временную, или локальную, память (L) для использования во время исполнения этого блока. Когда исполнение кодового блока заканчивается, ЦПУ выделяет эту локальную память для исполнения другого блока.

Таблица 3. Области памяти ПЛК для хранения данных

Область памяти	Описание
I Образ процесса на входах ПЛК	В начале каждого цикла (прогона) копируется из физических входов
I_:P Физический вход	Непосредственное чтение физических входов ЦПУ, сигнальной платы (SB) или сигнального модуля (SM)
Q Образ процесса на выходах	В начале каждого цикла (прогона) копируется в физические выходы
Q_:P Физический выход	Непосредственная запись в физические выходы ЦПУ, SB или SM
M Битовая память	Управление и память данных
L Временная память	Временные, локальные данные для блока
DB Блок данных	Память данных, а также память параметров для FB

**I (образ процесса на входах):** CPU опрашивает периферические (физические) входы в каждом цикле непосредственно перед исполнением циклического ОВ и записывает эти значения в образ процесса на входах. Можно обращаться к образу процесса на входах побитно, побайтно, пословно или используя двойные слова.

Разрешается доступ как на чтение, так и на запись, но обычно входы образа процесса только считываются.

Таблица 4. Обращение к переменной из I-области по абсолютному адресу

Размер переменной	Адрес	Пример
Бит	I[адрес байта].[адрес бита]	I0.1
Байт, слово или двойное слово	I[размер][адрес начального байта]	IB4, IW5, ID12

**Q (образ процесса на выходах):** CPU копирует значения, хранящиеся в образе процесса на выходах в физические выходы. К образу процесса на выходах можно обращаться побитно, побайтно, пословно или используя двойные слова. К выходам образа процесса разрешается доступ как на чтение, так и на запись.

Таблица 5. Обращение к переменной из Q-области по абсолютному адресу

Размер переменной	Адрес	Пример
Бит	Q[адрес байта].[адрес бита]	Q0.1
Байт, слово или двойное слово	Q[размер][адрес начального байта]	QB4, QW5, QD12

**M (область битовой памяти, M-память):** эту область памяти можно использовать для управляющих реле и данных, чтобы хранить промежуточные результаты операций или другую управляющую информацию. К области битовой памяти можно обращаться побитно, побайтно, пословно или используя двойные слова. Для битовой памяти возможен доступ как на чтение, так и на запись.

Таблица 6. Обращение к переменной из M-области по абсолютному адресу

Размер переменной	Адрес	Пример
Бит	M[адрес байта].[адрес бита]	M0.1
Байт, слово или двойное слово	M[размер][адрес начального байта]	MB4, MW5, MD12

**Temp (временная память):** CPU выделяет временную память по мере необходимости. CPU выделяет временную память кодовому блоку в момент его запуска (для OB) или вызова (для FC или FB). При выделении временной памяти кодовому блоку могут повторно использоваться те же адреса временной памяти, которые ранее были использованы другим OB, FC или FB. CPU не инициализирует временную память в момент выделения, поэтому она может содержать любые значения.

Временная память подобна M-памяти за одним важным исключением: область действия M-памяти «глобальна», а область действия временной памяти «локальна»:

- М-память: любой ОВ, ФВ и любая ФС может обратиться к данным в М-памяти, т. е. данные находятся глобально в распоряжении всех элементов программы пользователя.

- Временная память: доступ к данным во временной памяти ограничен тем ОВ, ФВ или той ФС, где были созданы или объявлены адреса во временной памяти. Адреса временной памяти остаются локальными и не могут быть использованы другими кодовыми блоками, даже если кодовый блок вызывает другой кодовый блок, например: Если ОВ вызывает ФС, то ФС не может обратиться к временной памяти ОВ, вызвавшего эту функцию.

К временной памяти можно обращаться только с использованием символической адресации.

**ДВ (блок данных):** обычно используется для хранения различных типов данных, включая промежуточные результаты операций или другие управляющие параметры для ФВ, и структуры данных, необходимые для многих команд, например, таймеров и счетчиков. Для обращения к переменным, находящимся в блоке данных, необходимо использовать символическую адресацию.

Таблица 7. Обращение к переменной из блока данных с помощью символической адресации

Адрес	Пример
[имя блока данных].[имя переменной]	"IEC_Timer_0_DB".PT."My_DB".MyVar

Каждая переменная имеет определенный тип. Тип переменной определяет ее размер в байтах и описывает свойства переменной, т. е. диапазон значений или точности числа, сохраненного в переменной, или какие операции являются возможными с этой переменной. ПЛК Simatic S7-1200 поддерживает простые числовые типы данных (таблица 8).

Таблица 8. Типы данных, поддерживаемые ПЛК Simatic S7-1200 [5]

Тип данных	Размер	Диапазон	Примеры значений
Bool	1 бит	от 0 до 1	TRUE, FALSE, 0, 1
Byte	1 байт	от 0 до 255	10, 107, 220
Word	2 байта	от 0 до 65535	607, 1112
DWord	4 байта	от 0 до 4294967295	13042014, 14121981
Char	1 байт	от 0 до 255	'A', 't', '@'
SInt	1 байт	от -128 до 127	-123, 123
Int	2 байта	от -32768 до 32767	-3505, 26648
Dint	4 байта	от -2147483648 до 2147483647	-25, 6071952, 11121942
USInt	1 байт	от 0 до 255	33
UInt	2 байта	от 0 до 65535	44444
UDInt	4 байта	от 0 до 4294967295	55555555
Real	4 байта	от $\pm 1.18 \cdot 10^{-38}$ до $\pm 3.40 \cdot 10^{38}$	-0.1, 10.25
LReal	8 байт	от $\pm 2.23 \cdot 10^{-308}$ до $\pm 1.79 \cdot 10^{308}$	-0.0001, 123.456789

Кроме того, есть специальные типы данных для хранения данных, представляющих собой строки символов (STRING), данных о дате (DATE) и времени суток (TIME\_OF\_DAY).

### ***Программные блоки таймеров***

ПЛК S7-1200 имеет в своем составе таймеры как часть языка программирования. Как показывает опыт, таймеры являются практически незаменимыми и одними из наиболее часто используемых инструкций при программировании ПЛК [4]. С помощью таймерных команд можно создавать программные запаздывания.

В ПЛК S7-1200 предоставлены в распоряжение программиста следующие программные блоки, реализующие функции таймеров.

**TP (Generate pulse)** – импульсный таймер – генерирует однократный импульс заданной длительности. Когда на дискретном входе IN имеет место положительный фронт импульса (значение изменяется с FALSE в TRUE), значение на выходе Q устанавливается равным TRUE и начинается отсчет интервала времени, указанного на входе PT. В течение всего указанного интервала времени значение на выходе Q сохраняется равным TRUE (независимо от возможных изменений сигнала на входе IN), а по окончании интервала времени устанавливается в FALSE. При этом значение времени, прошедшего с момента начала отсчета, сохраняется на выходе ET (elapsed time – прошедшее время).

**TON (Generate on-delay)** – задержка включения на заданное время. Когда на дискретном входе IN имеет место положительный фронт импульса (значение изменяется с FALSE в TRUE), начинается отсчет указанного интервала времени, по прошествии которого значение на выходе Q устанавливается в TRUE. После установления выхода Q=TRUE это значение сохраняется в течение всего времени, пока значение на входе IN=TRUE. Как только IN=FALSE, значение на выходе Q сразу же сбрасывается в FALSE.

**TOF (Generate off-delay)** – задержка выключения на заданное время. Когда значение IN=TRUE, значение на выходе также сразу устанавливается Q=TRUE. Когда значение на входе IN изменяется с TRUE на FALSE, начинается отсчет указанного интервала времени, по прошествии которого значение на выходе Q сбрасывается в FALSE.

**TONR (Timer accumulator)** – запоминающий таймер с запаздыванием включения. Выход запоминающего таймера с запаздыванием включения устанавливается в состояние TRUE по истечении заранее заданного времени. Истекшее время накапливается в переменной на выходе ET все время, пока вход IN=TRUE. Если на вход IN подать FALSE, накопление прекратится, а при подаче TRUE

на IN – возобновится. Когда накопленное значение времени достигнет требуемого интервала PT, значение на выходе Q установится равным TRUE. Подача сигнала TRUE на вход R (reset) сбрасывает накопленное значение времени ET в 0, а значение на выходе Q – в FALSE независимо от сигнала на входе IN.

Важнейшим параметром для всех перечисленных блоков таймеров является длительность задаваемого интервала времени PT (preset time), которую часто называют *уставкой*. Значение уставки PT, а также значение истекшего времени ET (elapsed time) выражаются в миллисекундах и хранятся в памяти ПЛК в виде двойного целого числа со знаком. Такой тип данных имеет название TIME. Значение типа данных TIME использует идентификатор T#, и может быть введено как простая единица времени, например, "T#200ms", или в виде комбинированных единиц времени, например, "T#5s\_200ms".

### **Обработка данных о времени и дате**

В Simatic Step 7 для хранения сведений о времени и дате предусмотрены следующие типы данных [12].

#### **DATE.**

Переменные этого типа данных используются для хранения даты в формате «гггг-мм-дд». Переменная типа DATE фактически представляет собой беззнаковое (неотрицательное) целое число, равное числу дней, прошедших от даты 1990-01-01. Диапазон возможных значений переменной – от 1990-01-01 до 31-12-2168. Значение такой переменной может быть записано в программе одним из двух способов:

- с явным указанием типа данных в формате «гггг-мм-дд», например, D#1990-01-01, или DATE#2016-05-23;
- в виде шестнадцатиричного целого числа дней, прошедших, начиная с 1990-01-01, например, 16#00F2.

#### **TIME\_OF\_DAY (TOD).**

Переменные этого типа имеют размер двойного слова (т. е. 4 байта) и представляют собой число миллисекунд, прошедших с момента начала суток. Значение такой переменной в программе записывается в формате «TOD#часы:минуты:секунды.миллисекунды», например, TOD#10:20:30.400. Диапазон возможных значений переменной типа TOD равен от TOD#00:00:00.000 до TOD#23:59:59.999.

#### **DATE\_AND\_TIME.**

Переменные типа DATE\_AND\_TIME (date and time of day) содержат сведения о дате и времени суток в формате BCD. Длина переменной – 8 байт. Структура данных, хранимых в каждом из байтов, приведена в таблице 9.

Таблица 9. Структура переменной типа DATE\_AND\_TIME

Номер байта	Содержимое байта	Диапазон значений
0	год	от 0 до 99 (годы от 1990 до 2089)
1	месяц	от 0 до 12
2	день	от 1 до 31
3	час	от 0 до 23
4	минута	от 0 до 59
5	секунда	от 0 до 59
6	две старшие цифры разряда миллисекунд	от 0 до 99
7 (старшие 4 бита)	младшая (третья) цифра разряда миллисекунд	от 0 до 9
7 (младшие 4 бита)	день недели	от 1 до 7

Диапазон возможных значений – от DT#1990-01-01-00:00:00.000 до DT#2089-12-31-23:59:59.999.

DTL (date and time long).

Переменная такого типа имеет длину 12 байт и хранит информацию о времени и дате в виде следующей структуры (таблица 10).

Таблица 10. Структура переменной типа DTL

Номер байта	Содержимое байта	Тип данных	Диапазон значений
0	год	UINT	1970–2200
1			
2	месяц	USINT	1–12
3	день	USINT	1–31
4	день недели	USINT	1 (вс.)–7 (сб.) день недели не указывается явно при записи переменной в программе
5	час	USINT	0–23
6	минута	USINT	0–59
7	секунда	USINT	0–59
8	наносекунды	UDINT	0–999999999
9			
10			
11			

Диапазон возможных значений – от DTL#1970-01-01-00:00:00.0 до DTL#2200-12-31-23:59:59.999999999. Пример записи в программе: DTL#2008-12-31-20:15:45.250.

Для обработки данных о времени и дате в Simatic Step 7 реализованы следующие основные системные функции, расположенные в среде TIA Portal на вкладке Instructions→Extended instructions→Date and time-of-day.

#### RD\_SYS\_T.

Считывание системного времени (read system time) – данная функция считывает текущее системное время со встроенных в ПЛК часов реального времени. Данная функция имеет выходной параметр OUT типа DTL: в переменную, указанную в качестве этого параметра, записывается считанное значение системного времени. Результатом выполнения функции RD\_SYS\_T является возвращаемое ей значение RET\_VAL – целое число типа Int, по смыслу представляющее собой код ошибки выполнения функции (таблица 11).

Таблица 11. Возможные значения RET\_VAL

Код ошибки: число типа Int в 16-ричной форме (W#16#)	Описание
0000	Нет ошибки
8081	Полученное значение времени не соответствует интервалу допустимых значений для типа DTL, т. е. меньше DTL#1970-01-01-00:00:00.0 или больше DTL#2200-12-31-23:59:59.999999999

Значение системного времени является внутренней характеристикой ПЛК и по смыслу представляет собой скоординированное универсальное (всемирное) время (Universal Time Coordinated, UTC), не учитывает ни местного часового пояса, ни переходов на зимнее время и обратно. Поэтому для практических задач большее значение имеет следующая функция:

#### RD\_LOC\_T.

Считывание местного времени (read local time) – данная функция считывает текущее местное время со встроенных в ПЛК часов реального времени. При этом сначала происходит считывание системного времени, которое затем преобразуется программой в местное время с учетом данных настроек ПЛК о часовом поясе и режиме автоматического перехода на зимнее время и обратно. Данная функция имеет выходной параметр OUT типа DTL: в переменную, указанную в качестве этого параметра, записывается считанное значение местного времени. Результатом выполнения функции RD\_LOC\_T является возвращаемое ей значение RET\_VAL – целое число типа Int, по смыслу представляющее собой код ошибки выполнения функции (таблица 12).

Таблица 12. Возможные значения RET\_VAL

Код ошибки: число типа Int в 16-ричной форме (W#16#)	Описание
0000	Нет ошибки
0001	Нет ошибки. Включен автоматический переход на зимнее время и обратно
8080	Местное время не может быть считано
8081	Недопустимое значение года
8082	Недопустимое значение месяца
8083	Недопустимое значение дня
8084	Недопустимое значение часа
8085	Недопустимое значение минуты
8086	Недопустимое значение секунды
8087	Недопустимое значение наносекунды
80B0	Часы реального времени вышли из строя

### T\_CONV.

Преобразование времени (Time Convertation) – эта функция выполняет преобразование данных о времени и дате из одного типа данных в другой. Например, определения текущего времени суток сначала необходимо с помощью функции RD\_LOC\_T считать локальное время и дату в переменную типа DTL, а затем с помощью функции T\_CONV преобразовать эту переменную к переменной типа TIME\_OF\_DAY (TOD).

### T\_ADD.

Функция T\_ADD (сложение времен) складывает входное значение IN1 (типа данных DTL или Time) с входным значением IN2 (тип Time). Возвращаемое функцией выходное значение OUT имеет тип данных DTL или Time. Возможны операции с двумя типами данных:

$$\text{Time} + \text{Time} = \text{Time};$$

$$\text{DTL} + \text{Time} = \text{DTL}.$$

### T\_SUB.

Функция T\_SUB (вычитание времени) вычитает значение типа Time (входной параметр IN2) из значения типа DTL или Time (входной параметр IN1). Возвращаемое функцией выходное значение OUT выдает значение разности, используя тип данных DTL или Time.

Возможны операции с двумя типами данных:

$$\text{Time} - \text{Time} = \text{Time};$$

$$\text{DTL} - \text{Time} = \text{DTL}.$$

### T\_DIFF.



Функция T\_DIFF (разность времен) вычитает значение типа DTL (входной параметр IN2) из значения типа DTL (входной параметр IN1). Возвращаемое функцией выходное значение OUT выдает значение разности, используя тип данных Time:

$$DTL - DTL = Time.$$

### ***Работа с сенсорной панелью оператора***



Для программирования человеко-машинного интерфейса на сенсорной панели оператора нужно добавить ее в проект и выполнить настройку. Добавление в проект сенсорной панели (на лабораторном стенде имеется панель КТР700 Basic) выполняется путем выбора в дереве проекта (Project tree) пункта Add new device (добавить новое устройство). В появившемся диалоговом окне необходимо выбрать тип устройства – HMI и его конкретную модель: HMI→SIMATIC basic panel→7" Display→КТР700 Basic→6AV2 123-2GB03-0AX0. При этом запустится «Мастер добавления сенсорной панели» (HMI Device Wizard), который предложит пользователю выполнить настройку панели. Первым шагом такой настройки является задание связи добавляемой панели с имеющимся в проекте контроллером (в общем случае в проекте может быть как несколько контроллеров, так и несколько панелей). В поле Select PLC нужно нажать на кнопку Browse и в появившемся всплывающем окошке указать имя единственного в данном проекте контроллера.

Следующим шагом настройки является настройка внешнего вида экрана панели: указание цвета фона (Background color) и параметров «шапки» в верхней части экрана (Date/time, Logo).

После нажатия кнопки Finish в дереве проекта (Project tree) появится пункт HMI\_1[КТР700 Basic panel], при разворачивании которого можно получить доступ ко всем свойствам добавленной панели, а в рабочей области среды TIA Portal появится изображение корневого экрана сенсорной панели. Корневой экран (Root screen) отображается автоматически при подаче питания и включении сенсорной панели. На нем нужно размещать компоненты графического интерфейса: кнопки, поля ввода/вывода, текстовые поля, геометрические фигуры и пр. Имеющиеся в распоряжении программиста компоненты графического интерфейса сгруппированы в правой части рабочего окна среды TIA Portal на панели вкладок библиотек компонентов Toolbox. Нужные компоненты помещаются на экран панели путем перетаскивания мышью соответствующей пиктограммы с панели Toolbox в нужное место экрана.

Для отображения текстовых данных служит компонент Text field, имеющийся на вкладке Toolbox→Basic objects в виде пиктограммы с изображением буквы «А».

Перетаскив данный компонент в нужное место экрана, необходимо задать его свойства в окне инспектора свойств объекта Properties. Основным свойством является поле Text, в котором непосредственно задается отображаемый текст. Помимо этого можно указать размер и наименование шрифта (поле Style), размер компонента и его координаты на экране панели (Position & size) и другие свойства.

Для отображения и ввода числовых данных предназначен компонент I/O field, расположенный на вкладке Toolbox→Elements в виде пиктограммы . Основные свойства для настройки данного компонента сгруппированы в окне инспектора свойств объекта Properties на вкладке General. В поле Process→Tag необходимо указать переменную из памяти контроллера или HMI-панели, значение которой будет связано с данным компонентом. Нажав маленькую пиктограмму с тремя точками , можно указать путь к нужной переменной в появившемся окне задания пути. В поле Type→Mode задается тип элемента: Output – вывод текущего значения на экран, Input/output – вывод текущего и ввод нового значения переменной вручную, Input – ввод значения переменной. В поле Format можно задать требуемый формат отображения данных – задать число десятичных знаков, число знаков после запятой и др.

### ***Регистрация и запись в файл параметров технологического процесса***

В ПЛК S7-1200 имеется возможность регистрации и сохранения в файл значений параметров технологического процесса и их изменений во времени. Изменяющиеся во времени в процессе работы управляющей программы параметры контролируемого объекта регистрируются контроллером с заданной периодичностью и сохраняются во энергонезависимой памяти (флэш-памяти) ПЛК в файл формата CSV (comma separated value – текстовый формат с разделением значений символом запятой). Данные записываются в файл построчно, каждая строка содержит набор регистрируемых значений параметров в определенный момент времени. Запись данных в файл выполняется в циклическом режиме. Это значит, что максимальный объем файла (максимально допустимое число строк) должен быть указан разработчиком заранее в процессе создания программы и конфигурирования ПЛК, исходя из соображений технологической необходимости и объема имеющейся флэш-памяти. В случае, когда указанное максимальное число записей превышено, записи из начала файла будут удаляться в порядке очереди, а на их место будут записываться новые данные. Для последующего открытия файла и анализа сохраненных данных может использоваться программа Microsoft Excel. Открытие файла выполняется с помощью программы-браузера через встроенный в ПЛК web-сервер.

Для определения структуры записи архивного файла в программе должен быть создан отдельный блок данных – Data Block (DB), в котором должны быть указаны следующие поля:

- имя файла (строковый тип String);
- числовой идентификатор файла (двойное целое число);
- наименования заголовков столбцов файла (строковый тип String) – через запятую;
- структура типа Struct, содержащая в качестве полей переменные, соответствующие сохраняемым параметрам процесса.

Пример и состав такого блока данных показан на рисунке 2 (приложение А, лист 21).

Для регистрации данных в ПЛК S7-1200 имеются следующие программные команды (таблица 13).

Таблица 13. Программные инструкции регистрации данных в файл

Название команды	Назначение команды
DataLogCreate	Создание архивного файла с заданным названием. Файл создается в энергонезависимой памяти ПЛК в папке PLC\Data logs
DataLogOpen	Открытие созданного в памяти файла для последующей записи данных в него
DataLogWrite	Запись строки данных в файл
DataLogClose	Закрытие файла после окончания процесса регистрации данных

Перечисленные команды расположены на панели инструкций, на вкладке Instructions→Extended instruction→Recipe and data logging.

Параметры команд регистрации данных и их назначение приведены в таблице 14.

Таблица 14. Параметры команд регистрации данных в файл

Название команды	Параметр	Тип данных	Назначение команды
DataLogCreate	RECORDS	UDint	Максимально допустимое число записей данных в файле. В случае превышения записи из начала файла будут удаляться в порядке очереди, а на их место будут записываться новые данные
	FORMAT	UInt	1 – формат CSV (comma separated value)
	TIMESTAMP	UInt	Определяет наличие в файле дополнительного столбца с отметками о дате и времени сохранения каждой соответствующей строки данных: 0 – нет отметок о дате/времени; 1 – есть дополнительный столбец с отметками о дате/времени

Окончание таблицы 14

Название команды	Параметр	Тип данных	Назначение команды
	NAME	String	Имя файла
	HEADER	Variant	Указатель на строку, содержащую наименования заголовков столбцов файла
	DATA	Variant	Указатель на структуру, содержащую данные для записи в файл
DataLogOpen	MODE	UInt	Режим открытия файла: 0 – новые записи будут присоединяться к уже записанным в файл данным; 1 – ранее записанные в файл данные полностью стираются перед началом записи новых данных
	NAME	String	Имя файла
Параметры, входящие в каждую из команд	REQ	Bool	Положительный фронт изменения сигнала на данном входе инициирует выполнение соответствующей команды
	ID	DWord	Числовой идентификатор файла
	DONE	Bool	Индикатор успешного завершения операции: имеет значение TRUE в течение времени одного прогона программы сразу после успешного выполнения соответствующей команды; в остальное время равен FALSE
	BUSY	Bool	Индикатор выполнения операции: равен TRUE в течение всего времени выполнения соответствующей команды; в остальное время равен FALSE (команда или уже выполнена, или еще не начала выполняться)
	ERROR	Bool	Индикатор возникновения ошибки при выполнении команды: равен TRUE в течение времени одного прогона программы сразу после прекращения выполнения соответствующей команды из-за возникновения ошибки; в остальное время равен FALSE
	STATUS	Word	Код результата выполнения соответствующей команды: в случае успешного выполнения команды – равен 0; в случае завершения выполнения с ошибкой – содержит числовой код ошибки

Таким образом, последовательность работы с файлами включает в себя следующие шаги.

Создание нового файла в памяти ПЛК. При этом автоматически происходит и его открытие для последующей записи данных.

Открытие файла, уже существующего в памяти, для последующей записи данных.

Периодическая запись регистрируемых данных в файл.

Закрытие файла по окончании записи данных. В случае отключения питания ПЛК или перехода из режима выполнения (режима RUN) в режим остановки (режим STOP) закрытие файла выполняется автоматически.

Пример программы, выполняющей регистрацию и запись в файл данных о параметрах контролируемого технологического процесса, приведен в приложении А (листы 20–23).

Открытие файла с данными возможно с помощью программ web-браузеров Microsoft Internet Explorer и Mozilla Firefox с подключением к встроенному в ПЛК web-серверу. Для этого необходимы следующие действия.

Соединить ПЛК с компьютером с помощью сетевого кабеля Ethernet.

Активировать встроенный web-сервер в процессе написания программы и конфигурирования аппаратных настроек ПЛК.

Ввести соответствующие логин и пароль при подключении к web-серверу.

Скачать требуемый файл данных со страницы "Data log" из стандартного набора страниц сервера.

### ***Отображение текстовых сообщений о событиях контролируемого процесса на экране ЧМИ-панели***

Реализованная в ПЛК система диагностических сообщений предназначена для отображения и сохранения в памяти текстовых информационных сообщений о тех или иных событиях в системе управления и контролируемом объекте. Примерный вид такого сообщения, отображаемого на экране сенсорной панели оператора, показан в таблице 15. Таким образом, использование диагностических сообщений способствует более быстрому определению места возникновения возможных сбоев и ошибок в системе управления, следовательно, скорейшему их устранению.

Таблица 15. Примерный вид сообщения на экране панели оператора

№	Время	Дата	Сообщение
4	12:50:24:590	2018.08.24	Уровень воды в котле превысил максимально допустимый

В общем система диагностических сообщений среды WinCC включает в себя два типа сообщений:

- системные сообщения (system-defined alarms);
- пользовательские сообщения (user-defined alarms).

Системные сообщения отображают информацию о состоянии ПЛК и о возможных ошибках сетевого соединения ПЛК и ЧМИ-панели оператора.

Пользовательские сообщения (см. таблицу 15) предназначены для отображения информации о состоянии объекта управления. Настройка отображения пользовательских сообщений выполняется разработчиком в процессе разработки и создания микропроцессорной программы управления. Пользовательские сообщения подразделяются:

- на дискретные,
- аналоговые.

Дискретные сообщения могут отображать информацию о событиях дискретного характера в управляющей системе, например: в случае рассматриваемой системы управления водогрейным котлом – о включении/выключении клапанов наполнения и сливного клапана, включении/выключении электронагревательного элемента, старте и остановке процесса автоматического управления и т. д.

Аналоговые сообщения обычно отображают информацию о выходе за допустимые пределы аналоговых величин в объекте управления, выходе уровня воды в котле или температуры воды за допустимые верхнее или нижнее значения.

В зависимости от степени важности отображаемой информации диагностические сообщения могут требовать подтверждения реакции оператора (alarms with acknowledgment) и не требовать такого подтверждения (alarms without acknowledgment). Подтверждение оператора означает в данном случае, что оператор увидел на экране панели управления данное сообщение и определенным образом на него отреагировал.

Каждое диагностическое сообщение, возникшее в микропроцессорной системе управления в процессе работы, характеризуется своим состоянием, другими словами, имеет свой статус. Возможные состояния сообщений перечислены в таблицах 16, 17.

Таблица 16. Статус сообщений, не требующих подтверждения оператора

Статус сообщения	Описание
Входящее (incoming)	Условие для возникновения данного сообщения выполнено
Исходящее (outgoing)	Условие для возникновения данного сообщения более не выполняется

Таблица 17. Статус сообщений, требующих подтверждения оператора

Статус сообщения	Описание
Входящее ----- incoming	Условие для возникновения данного сообщения выполнено
Исходящее, без подтверждения ----- outgoing, not acknowledged	Условие для возникновения данного сообщения более не выполняется, при этом оператор не выполнил подтверждения

Окончание таблицы 17

Статус сообщения	Описание
Исходящее, подтвержденное впоследствии outgoing, subsequently acknowledged	Условие для возникновения данного сообщения более не выполняется, оператор выполнил подтверждение после того, как условие уже перестало выполняться
Входящее, подтвержденное оператором incoming, acknowledged	Условие для возникновения данного сообщения выполнено, оператор выполнил подтверждение
Исходящее, подтвержденное своевременно outgoing, acknowledged first	Условие для возникновения данного сообщения более не выполняется, при этом оператор выполнил подтверждение, когда данное условие выполнялось

Также, в зависимости от степени важности, все возможные сообщения подразделяются на классы сообщений. Класс сообщения определяет то, каким образом данное сообщение будет отображаться на панели оператора. Так, например, сообщение «Уровень воды в котле превысил верхнюю отметку» может быть отнесено к классу «Предупреждения» [Warning], отображение данного сообщения будет происходить на белом фоне и не будет требовать подтверждения оператора. С другой стороны, сообщение «Уровень воды превысил максимально допустимую границу» следует отнести к классу «Ошибка» [Error], соответствующему сбоям и аварийным ситуациям в работе системы управления. Отображение сообщения класса «Ошибка» на панели оператора может происходить на красном фоне в режиме мерцания и обязательно будет требовать подтверждения реакции оператора. В системе диагностических сообщений среды WinCC существуют классы сообщений:

- predefined [Predefined alarm classes],
- пользовательские [Custom alarm classes].

К predefined классам сообщений относятся:

- «Предупреждение» [Warning]. Сообщения данного класса отображают информацию о штатных состояниях и операциях контролируемого технологического процесса. Не требуется подтверждения оператора.

- «Ошибка» [Error]. Отображается информация о критических и опасных, аварийных состояниях контролируемого процесса. Требуется обязательное подтверждение оператора.

- «Системное сообщение» [System]. predefined системные сообщения о системных событиях ПЛК и панели оператора.

Для создания и настройки диагностических сообщений в проекте следует открыть панель настройки сообщений ЧМИ [HMI alarms], расположенную в дереве проекта, в ветви, относящейся к соответствующей панели оператора. Панель

настройки сообщений ЧМИ, внешний вид которой показан на рисунке 3, содержит вкладки [Discrete alarms], [Analog alarms] для создания и настройки, соответственно, дискретных и аналоговых пользовательских сообщений, вкладку [Alarm classes] – для создания и настройки способов отображения различных классов сообщений, а также вкладку [Alarm groups] – для группировки сообщений по группам.

Для каждого из predetermined классов сообщений (рисунок 3) можно настроить способ отображения сообщения на экране панели оператора, а именно: цвет фона сообщения в статусе «Входящее», цвет фона этого же сообщения в статусе «Входящее подтвержденное» и т. д.

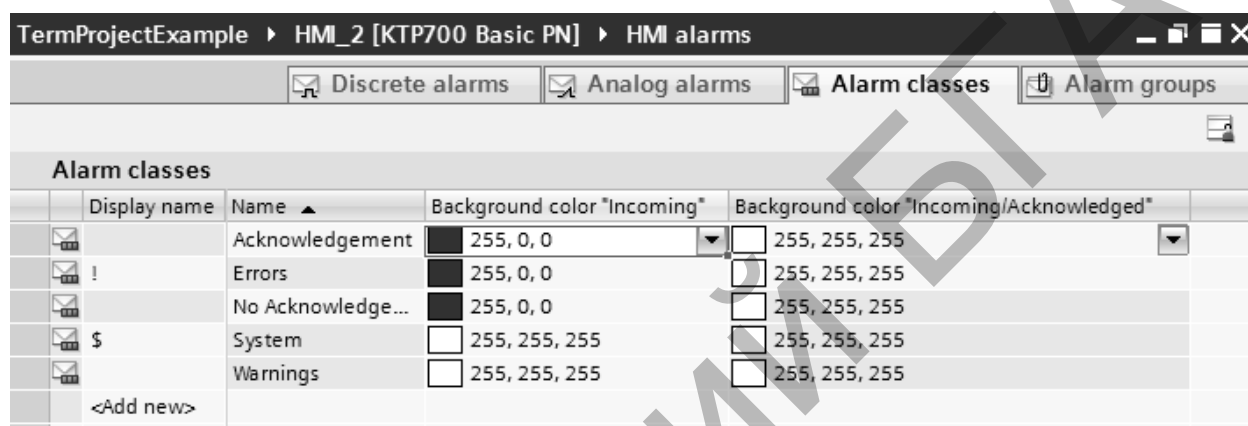


Рисунок 3 – Внешний вид панели настройки сообщений HMI alarms в среде разработки TIA Portal

Последовательность создания и настройки дискретного пользовательского сообщения включает следующие шаги.

– В памяти ПЛК в таблице тегов создать переменную типа Int, в которой будут содержаться биты-триггеры всех дискретных сообщений. При этом для каждого бита-триггера создать отдельно взятую переменную типа Bool. Пример создания такой триггерной переменной показан в таблице 18. В данном случае переменная AlarmTagPLC типа Word имеет размер 16 бит, два бита из которых – нулевой и первый – заняты переменными типа Bool, являющимися триггерными битами дискретных событий.

Таблица 18. Расположение триггерной переменной и триггерных битов дискретных сообщений в памяти ПЛК

Name	Data Type	Logical Address	Comment
AlarmTagPLC	Int	%MW28	Триггерная переменная для дискретных сообщений
trigBitNoWater	Bool	%M28.0	Триггерный бит сообщения – нет воды в котле
trigBitMaxWaterLevel	Bool	%M28.1	Триггерный бит сообщения – уровень воды выше максимального



– В памяти ЧМИ-панели (в дереве проекта – пункт [HMI→HMI tags→Show all tags]) создать переменную AcknowledgeTag типа Int, в которой будут содержаться биты подтверждения реакции оператора для соответствующих событий.

– Открыть вкладку редактора дискретных сообщений [Discrete alarms] на панели сообщений ЧМИ.

– Для создания нового пользовательского сообщения выполнить двойной щелчок левой клавишей мыши на ячейке с надписью <Add new> (<Добавить новое>).

– Для настройки созданного таким образом нового сообщения следует открыть в нижней части экрана панель инспектора свойств сообщения [Properties]. Для этого следует нажать правой клавишей мыши на созданном сообщении и во всплывающем меню выбрать пункт [Properties]. Далее в открывшемся инспекторе свойств для данного сообщения следует определить отображаемый на экране текст сообщения – в поле [Alarm text], числовой идентификатор сообщения – в поле [ID], класс сообщения – в поле [Alarm class]. При необходимости в поле [Tooltip→Text] следует ввести текст дополнительной подсказки, который будет отображаться в процессе выполнения программы при выводе данного сообщения на панель оператора.

– В полях [Trigger→Tag] и [Trigger→Bit] нужно указать переменную и соответствующий номер бита – триггера данного сообщения.

– В случае, если для данного события выбран класс события «Ошибка» [Error], то в поле [Acknowledgement] нужно указать переменную и номер бита подтверждения реакции на данное событие. Эта переменная может располагаться как в памяти панели ЧМИ, так и в памяти ПЛК. В нашем случае это – переменная AcknowledgeTag типа Int в памяти панели ЧМИ.

Создание и настройка аналоговых сообщений выполняется на вкладке редактора аналоговых сообщений [Analog alarms] на панели сообщений ЧМИ. Последовательность создания и настройки аналогового пользовательского сообщения включает следующие шаги.

– Открыть вкладку редактора аналоговых сообщений [Analog alarms] на панели сообщений ЧМИ.


– Для создания нового пользовательского сообщения выполнить двойной щелчок левой клавишей мыши на ячейке с надписью <Add new> (<Добавить новое>).

– Для настройки нового сообщения следует открыть в нижней части экрана панель инспектора свойств сообщения [Properties]. Для этого следует нажать правой клавишей мыши на созданное сообщение и во всплывающем меню выбрать пункт [Properties]. Далее в открывшемся инспекторе свойств для данного сообщения

следует определить отображаемый на экране текст сообщения – в поле [Alarm text], числовой идентификатор сообщения – в поле [ID], класс сообщения – в поле [Alarm class]. При необходимости в поле [Tooltip→Text] следует ввести текст дополнительной подсказки, который будет отображаться в процессе выполнения программы при выводе данного сообщения на панель оператора.

– В поле [Trigger→Tag] нужно указать переменную целочисленного (Int) или вещественного (Real) типа, изменение значения которой будет определять возникновение данного события. Кроме того, в поле [Limit] следует указать опорное значение [Value], относительно которого система будет отслеживать изменения триггерной переменной, а также условие возникновения сообщения [Mode]. В качестве условия [Mode] может быть выбран один из двух возможных вариантов: [High limit violation] (превышение верхнего максимального значения) или [Low limit violation] (снижение ниже минимального значения). Так, если требуется сообщать пользователю о возрастании контролируемой температуры выше определенного максимального значения  $T_{\text{макс}}$ , то в поле [Trigger→Tag] нужно указать переменную "Т" в памяти ПЛК, в которой хранится значение температуры в °С, а в поле [Limit] указать переменную или константу " $T_{\text{max}}$ ", содержащую максимальное допустимое значение температуры, и условие [High limit violation]. Кроме того, для исключения влияния шумов и случайных колебаний, характерных для аналоговых величин, можно также ввести для данного сообщения зону нечувствительности [Deadband], задав для этого соответствующий режим нечувствительности в поле [Deadband→Mode] и ширину зоны нечувствительности [Deadband→Value] в процентах опорного значения [Limit→Value].

Для отображения сообщений на экране ЧМИ-панели в процессе выполнения программы следует использовать компонент [Alarm window] (окно отображения сообщений). Компонент [Alarm window] не отображается постоянно и не привязан к какой-нибудь отображаемой пользовательской странице или экрану (список всех используемых в проекте пользовательских экранов, отображаемых на ЧМИ-панели, находится в дереве проекта [Project tree] в ветви [Project→HMI→Screens]). Отображение окна сообщений [Alarm window] происходит в момент возникновения того или иного сообщения и продолжается до тех пор, пока выполняется условие для данного сообщения (в случае сообщения класса [Warning]) или пока сообщение не было подтверждено оператором (в случае сообщения класса [Error]). Для настройки элемента [Alarm window] следует открыть так называемый глобальный экран [Global screen], находящийся в дереве проекта в ветви [Project→HMI→Screen management→Global screen]. В случае, если по умолчанию там отсутствуют компоненты [Alarm window] для отображения

различных классов пользовательских и системных сообщений, нужно перетащить компонент [Alarm window] на глобальный экран с вкладки [Toolbox→Controls], где он отображен в виде пиктограммы . Перетащив компонент [Alarm window] и расположив его на глобальном экране, далее, нажав на нем правой клавишей мыши и выбрав во всплывающем меню пункт [Properties], следует открыть редактор его свойств и на многочисленных вкладках, задавая соответствующие значения полей, выполнить настройки поведения и отображения компонента [Alarm window], а именно: указать классы сообщений, которые будут отображаться на данном компоненте, задать его размеры и положение на экране ЧМИ-панели, цветовую гамму, размер шрифта, наличие или отсутствие кнопок подтверждения сообщений или отображения подсказок и т. д.

### ***Администрирование пользователей в системе безопасности устройства управления***

При проектировании человеко-машинного интерфейса микропроцессорной системы управляющие элементы панели оператора могут быть защищены от несанкционированного использования с помощью паролей. Например, в случае рассматриваемой системы управления работой водогрейного котла, такими элементами на панели оператора могут быть управляющие кнопки запуска («Старт») и остановки («Стоп») автоматического режима управления, цифровые поля ввода значений верхнего и нижнего уровней воды, максимальной и минимальной температуры воды в котле (см. рисунок 7). После этого важные параметры и настройки могут быть изменены только уполномоченным персоналом.

Система безопасности основана на полномочиях, группах пользователей и пользователях. Если в процессе работы системы требуется выполнить определенное действие с каким-нибудь элементом управления, защищенным паролем, например, нажать на экране панели кнопку «Старт» или ввести новое значение для максимальной температуры воды в котле, то ЧМИ-панель сначала потребует авторизации пользователя. Для этого отображается диалоговое окно регистрации, в которое вводится имя пользователя и пароль (рисунок 4), после чего оператор может работать с управляющими элементами, для которых у него есть необходимые полномочия.

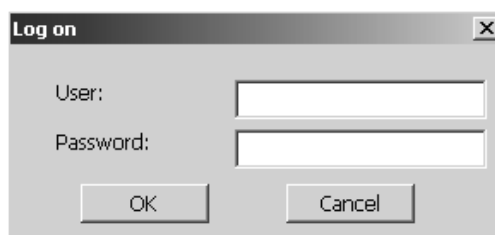


Рисунок 4 – Внешний вид диалогового окна регистрации пользователя

На стадии разработки визуального интерфейса панели оператора и создания программы разработчик программы формирует группы пользователей в таблице "Groups" и соответствующие им полномочия – в таблице "Authorizations" на панели "User groups" [Группы пользователей], вид которой показан на рисунке 5. По умолчанию в любом проекте обычно включены минимум две группы пользователей: "Administrator group" [Администраторы] и "Users" [Пользователь ПЛК]. Кроме того, по умолчанию также следующие полномочия:

- "User administration" [Администрирование пользователей];
- "Monitor" [Просмотр] – отображение и просмотр значений параметров процесса на панели;
- "Operate" [Выполнение операций] – выполнение операций, например, нажатие управляющей кнопки «Старт», ввод новых значений максимальной и минимальной температуры и т. д.

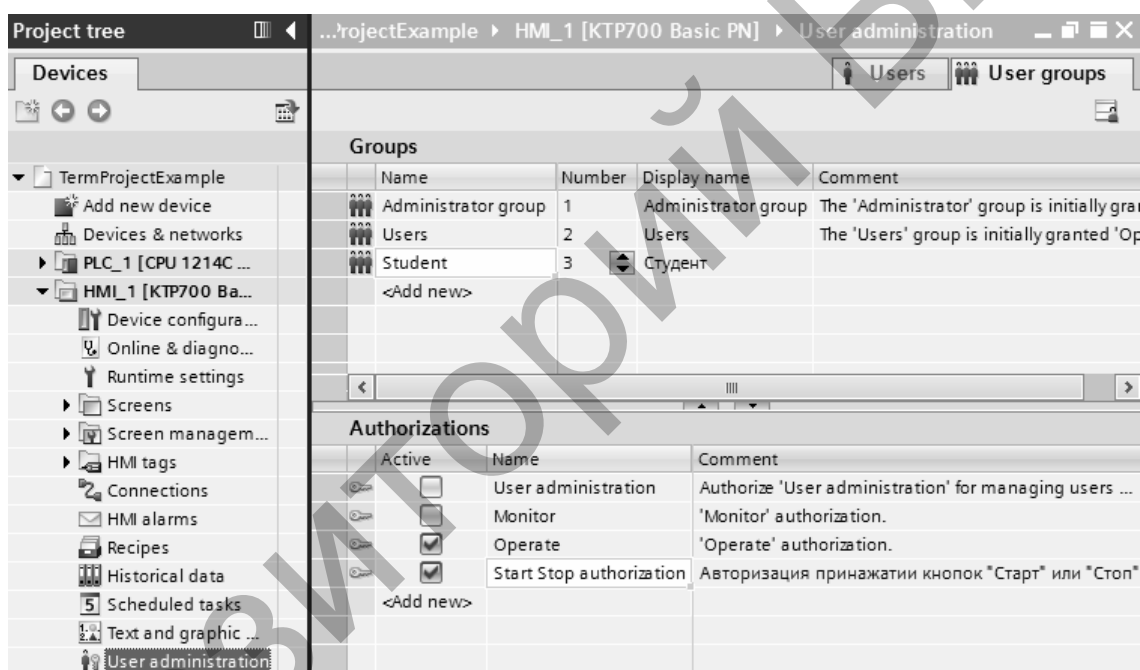


Рисунок 5 – Панель настройки групп пользователей "Groups" и полномочий "Authorizations"

При необходимости, разработчик системы может добавить к указанным группам пользователей и полномочиям нужное число дополнительных групп пользователей.

Настройка системы администрирования пользователей выполняется в несколько этапов. Основные этапы настройки:

1. Добавить требуемые группы.
2. Выбрать необходимые права доступа для групп.
3. Добавить пользователей и определить для них соответствующие регистрационные имена и пароли. Свойства группы (права доступа) копируются для каждого добавляемого в эту группу нового пользователя, поэтому рекомендуется помещать

пользователя, для которого необходимы определенные права доступа, в ту группу, для которой установлены соответствующие права.

4. Выберите для разных пользователей различные права доступа. Здесь также можно установить время, после которого выполняется автоматический выход пользователя из системы для защиты системы от несанкционированного доступа.

В проект добавлена группа пользователей "Student" [Студент] (см. рисунок 5), для которой, помимо предлагаемых по умолчанию системных прав доступа, добавлено дополнительно право доступа "Start Stop authorization" [Авторизация при нажатии кнопок Старт, Стоп]. Таким образом, пользователь, относящийся к группе "Student" [Студент], будет наделен правами доступа "Operate" и "Start Stop authorization".

Далее на панели "Users" [Пользователи] в таблице "Users" [Пользователи] (рисунок 6) добавлены пользователи с именами "Ivanov", "Petrov", "Federer", "Nadal", "Djokovich", относящиеся к группе "Student". Для каждого из них введен свой пароль. Каждый из этих пользователей будет наделен правами доступа "Operate" и "Start Stop authorization". Кроме того, в системе всегда присутствует пользователь "Administrator", наделенный по умолчанию всеми системными правами доступа: "User administration", "Monitor", "Operate".

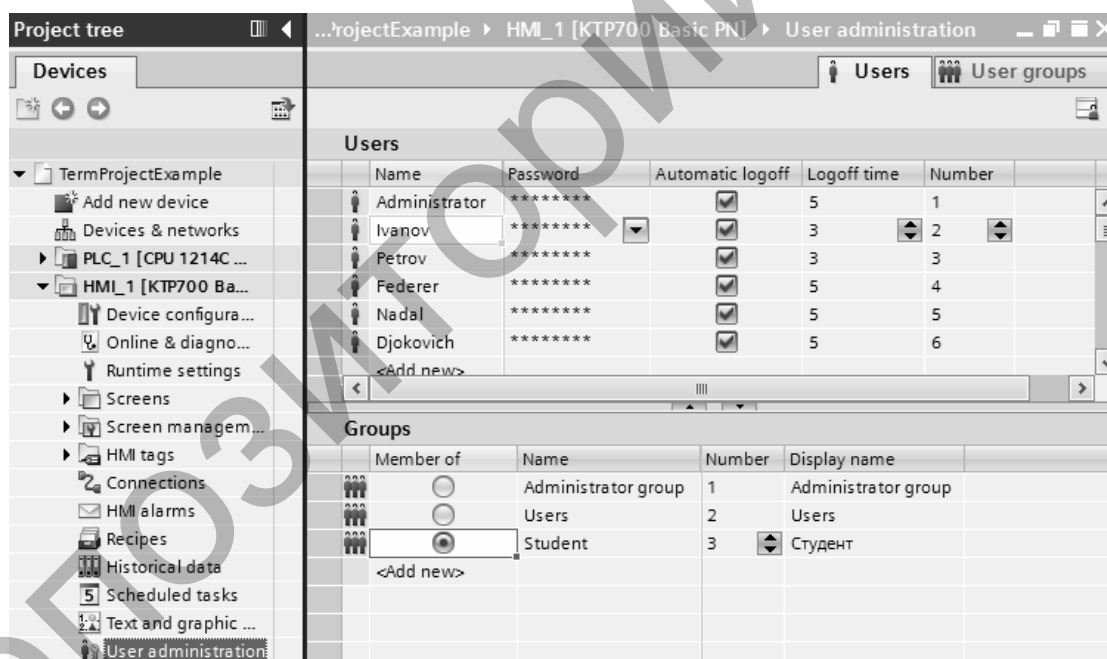


Рисунок 6 – Панель настройки пользователей "Users"

Каждый пользователь включается только в одну группу. Вводить пользователей и назначать им пароли могут следующие лица:

- проектировщик на стадии разработки системы и написания программы;
- администратор на панели оператора в процессе выполнения программы;
- пользователь с полномочиями управления пользователями на панели оператора в процессе выполнения программы.

В процессе работы системы на реальном объекте, если, например, оператор по фамилии Петров уволится с предприятия, администратор системы (например, главный инженер предприятия) сможет удалить его из числа пользователей прямо с панели оператора, не задействуя для этого компьютер и не перепрограммируя панель оператора.

Для каждого пользователя в системе может быть запроектировано время окончания сеанса (см. рисунок 6, поля "Automatic logoff" и "Logoff time" в таблице "Users"). Если время между двумя любыми действиями пользователя превышает указанное число минут, то пользователь автоматически снимается с регистрации. Чтобы продолжить управлять элементами, которым назначен пароль, пользователь должен снова зарегистрироваться.

– Для каждого управляющего элемента на панели оператора следует также задать соответствующее право доступа. Так, чтобы задать право доступа для кнопки «Пуск» на панели оператора (рисунок 7), следует в инспекторе свойств данной кнопки в нижней части экрана на вкладке "Properties→General→Security" [Свойства→Основные→Безопасность] выбрать в поле "Runtime→Security" [Безопасность в режиме исполнения программы] для данной кнопки одно из ранее заданных в системе прав доступа, например "Start Stop authorization".

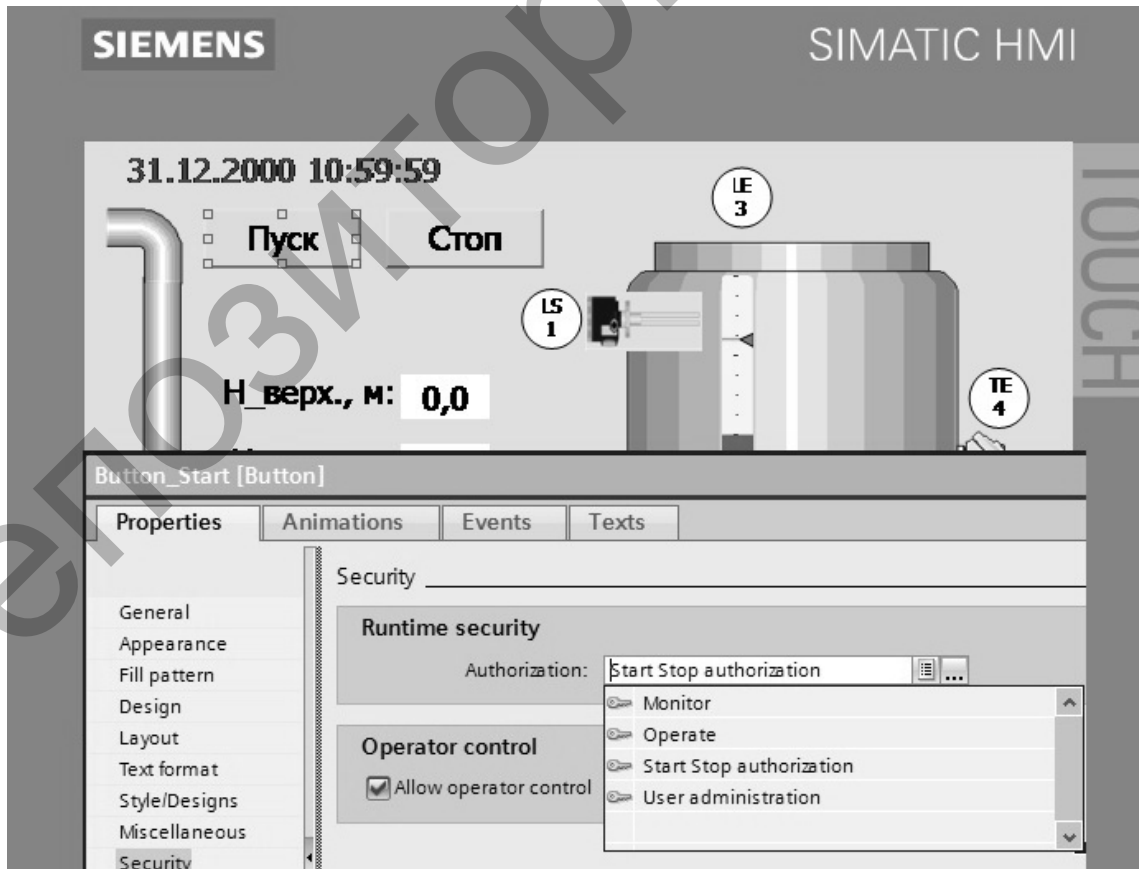


Рисунок 7 – Настройка авторизации для кнопки «Старт» на панели оператора

Таким образом, нажать на кнопку «Пуск» сможет только тот пользователь, который относится к группе пользователей, наделенных данным правом доступа, т. е. к группе "Student" [Студент]. При нажатии на кнопку появится диалоговое окно регистрации пользователя (см. рисунок 4) и только после правильного ввода имени пользователя и пароля произойдет нажатие данной кнопки. Для других пользователей, не наделенных правом доступа "Start Stop authorization", данная кнопка будет заблокирована.

Компонент "User view" [Обзор пользователей] используется для отображения пользователей на панели оператора. Данный компонент отображает следующую информацию о пользователях:

- "User" [Пользователь];
- "Password" [Пароль];
- "Group" [Группа];
- "Logoff time" [Время окончания сеанса].

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### Оформление листов пояснительной записки

1. Текстовые материалы ПЗ выполняются на листах белой машинописной бумаги, оформленных рамками в соответствии с рисунком 8.

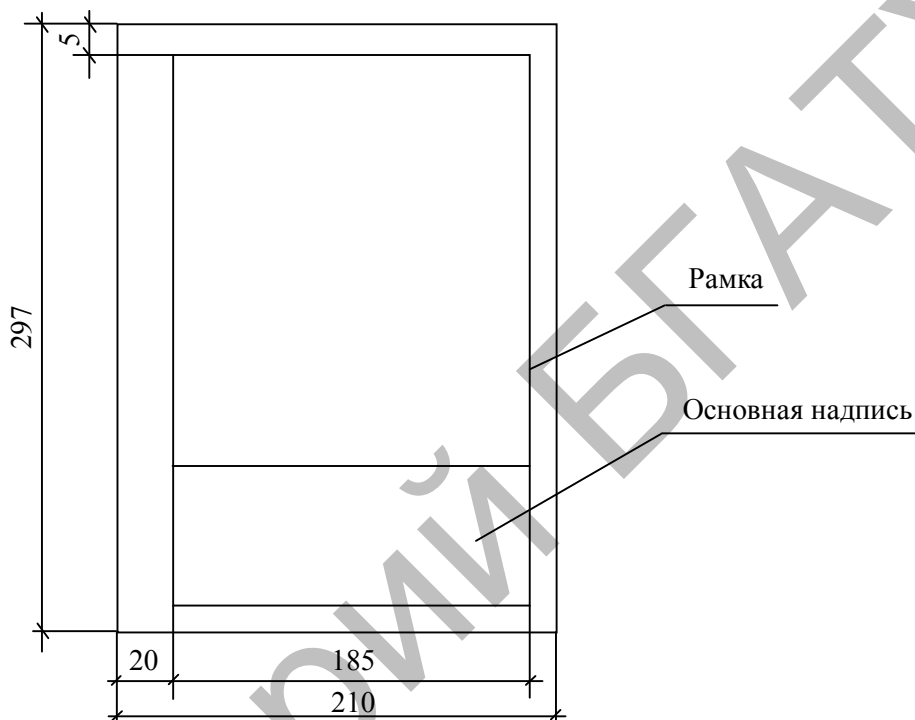


Рисунок 8 – Компоновка и размеры листа текстовой части ПЗ

2. Основная надпись на листах пояснительной записки выполняется в соответствии с рисунком 9.

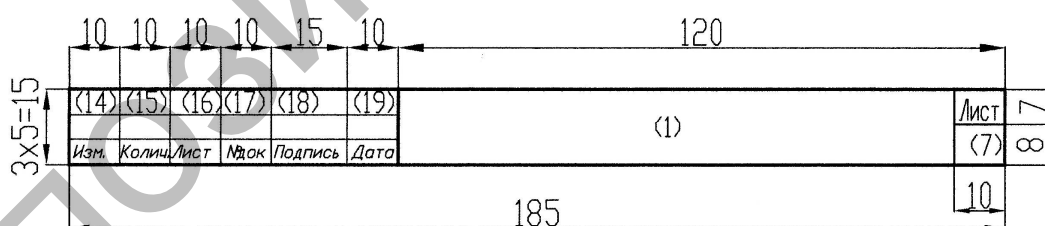


Рисунок 9 – Форма основной надписи для листов ПЗ

3. Листы записки и приложений имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Титульному листу, заданию на проектирование, реферату номера присваивают, но не проставляют. Номера страниц начинают проставлять с листа «Содержание».

4. Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы и т. п.), расположенные на отдельных листах записки, включают в общую нумерацию страниц. При этом лист, формат которого больше формата А4, учитывают как одну страницу.



## Правила построения текстового материала

1. Текстовый материал ПЗ подразделяют на разделы, подразделы, пункты.

Разделам присваивают порядковые номера, которые обозначают арабскими цифрами без точки и записывают с абзачного отступа.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, то пункт не нумеруется.

2. Разделы и подразделы и, при необходимости, пункты должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов, пунктов. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Заголовки подразделов (пунктов) не должны повторять содержание заголовков разделов (подразделов).

Заголовок записывается с прописной буквы. Точка в конце не ставится. Заголовки не подчеркиваются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

3. Каждый раздел ПЗ следует начинать с новой страницы.

## Формулы

1. В пояснительной записке математические формулы могут быть расположены внутри текста или отдельными строками. Внутри текста помещают простые, не содержащие дроби формулы. Такие формулы, как правило, не нумеруют.

На отдельных строках приводят более сложные формулы, которые обычно сопровождаются пояснениями примененных символов. При этом выше и ниже формулы необходимо оставлять по одной свободной от записи строке.

2. Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

3. Если формула не умещается в одной строке, то делается перенос. Переносить формулу на следующую строку допускается только на знаках выполнения операций: плюс (+), минус (−), умножение (×) или на знаках равенства (=), неравенства ( $\neq$ ), знаках соотношений и т. п.

4. Все формулы, помещенные в тексте ПЗ, нумеруют арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа от нее в круглых скобках.

5. Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и номера формулы, разделенных точкой, например: (3.1).

*Пример.* Номинальный ток асинхронного электродвигателя  $I_n$ , А, определяется по формуле

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi_n \eta_n}, \quad (1)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность, кВт;  
 $U_n$  – номинальное напряжение, кВ;  
 $\cos \varphi_n$  – коэффициент мощности, о. е.;  
 $\eta_n$  – КПД электродвигателя, о. е.

### Таблицы

1. Название таблицы должно отражать содержание таблицы, быть точным, кратким. Название следует размещать над таблицей после слова «Таблица».

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

2. Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

3. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте. При ссылке необходимо писать слово «таблица» с указанием ее номера.

4. Заголовки граф и строк в таблице следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

### Оформление проектной документации

1. Проектной документации присваивают обозначение, состоящее из базового цифрового обозначения, и через дефис – буквенного обозначения (см. структуру обозначения).

*Структура базового обозначения при курсовом проектировании:*

$X_1X_2.X_3X_4.X_5X_6X_7.X_8X_9 - X_{10}X_{11}X_{12}$ ,

где  $X_1X_2$  – индекс работы: 02 – курсовой проект, 03 – курсовая работа;

$X_3X_4$  – индекс кафедры;

$X_5X_6X_7$  – номер варианта по заданию;

$X_8X_9$  – год разработки (две последние цифры года);

$X_{10}X_{11}X_{12}$  – для текстовых материалов – ПЗ, для графических материалов – марка разрабатываемого чертежа.

*Примечание.* Индексы кафедр:

АСУП – 49; ЭСХП – 43; электроснабжения сельскохозяйственного производства – 53; электротехнологии – 68; энергетики – 58; ППС – 24; электротехники – 45.

## 2. Основные надписи:

Применение тех или иных форм основных надписей определяется назначением чертежа и материалом, помещенным на разрабатываемом чертеже:

1) форма рисунка 10 – для чертежей генпланов с инженерными сетями, планов зданий и сооружений с размещением оборудования, чертежей схем электрических, технологических и т. п.;

2) форма рисунка 11 – для первого листа ПЗ, с которого начинается изложение текстовой части.

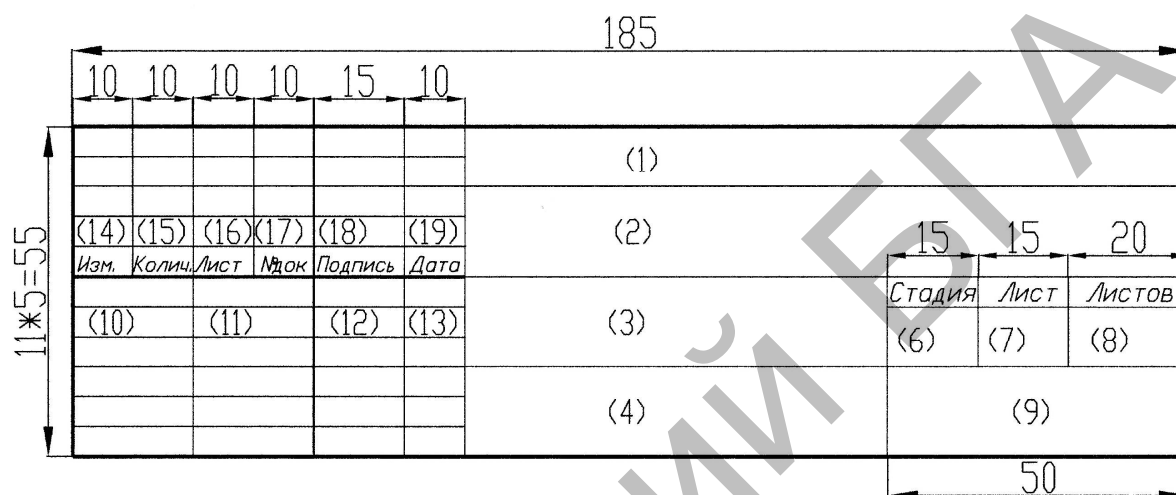


Рисунок 10 – Форма основной надписи, которая применяется для листов графической части и листа ведомости комплекта проектной документации

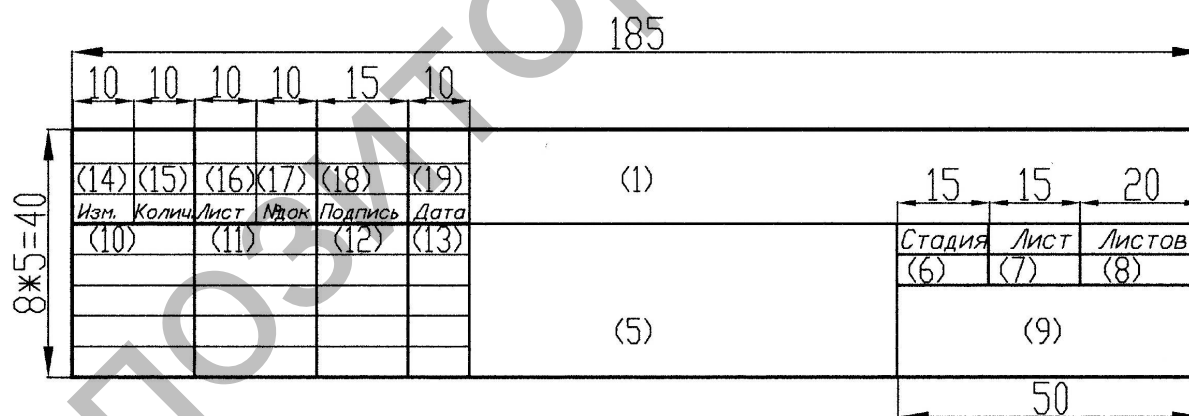


Рисунок 11 – Форма основной надписи, которая применяется для листа ПЗ, с которой начинается изложение текстовой части записки (обычно – лист «Содержание»)

В графах основной надписи (на рисунках 9, 10, 11 номера граф показаны в скобках) указывают:

- а) в графе 1 – обозначение проектной документации – маркировку документа;
- б) базовое обозначение;
- в) добавляемую через дефис марку разрабатываемых чертежей;

г) в графе 2 – тему курсового проекта (работы);

д) в графе 3 – наименование здания (сооружения). Для чертежа генерального плана в графе 3 записывают наименование соответствующего раздела, например: «электроснабжение», «теплоснабжение», «диспетчеризация» или «диспетчерское управление»;

е) в графе 4 – наименование изображения или материала, помещенного на данном листе, т. е. название чертежа, листа. Если на листе приведены несколько материалов (например, план здания, разрез II–II, экспликация, перечень элементов, сечение «А–А» и т. п.), то в название чертежа включают основные материалы, второстепенные – опускают;

ж) в графе 5 – наименование документа аналогично графе 4 (обычно – «Пояснительная записка»);

з) в графе 6 – условное обозначение стадии проектирования: «С» (строительный проект);

и) в графе 7 – порядковый номер листа. На документе, состоящем из одного листа, графу не заполняют;

к) в графе 8 – общее число листов документа;

л) в графе 9 на первой строке – наименование организации, разработавшей документ (БГАТУ), на второй строке – шифр зачетной книжки студента;

м) в графе 10 – характер работы: «разработал» (студент); на следующей строке – «руководитель», далее – «консультант», «нормоконтролер», «зав. кафедрой»;

н) в графе 11 – фамилии студента, руководителя, консультанта (-ов), нормоконтролера, зав. кафедрой на соответствующих строках;

о) в графе 12 – подписи;

п) в графе 13 – даты.

Графы 14–19 в дипломных и курсовых проектах не заполняются.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гируцкий, И. И. Компьютеризированные системы управления в сельском хозяйстве / И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков. – Минск : БГАТУ, 2014. – 212 с.
2. Деменков, Н. П. Языки программирования промышленных контроллеров / Н. П. Деменков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 172 с.
3. Минаев, И. Г. Программируемые логические контроллеры : практическое руководство для начинающего инженера / И. Г. Минаев, В. В. Самойленко. – Ставрополь : АГРУС, 2009. – 100 с.
4. Митин, Г. Л. Системы автоматизации с использованием программируемых логических контроллеров / Г. Л. Митин, О. В. Хазанова. – М. : Изд-во МГТУ «Станкин», 2005. – 136 с.
5. Новиков, Ю. В. Основы микропроцессорной техники : учебное пособие / Ю. В. Новиков, П. К. Скоробогатов. – 4-е изд., испр. – М. : Интернет-Университет Информационных Технологий : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 358 с.
6. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ): учебно-методическое пособие / В. В. Гурин [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2014. – 144 с.
7. Парр, Э. Программируемые контроллеры : руководство для инженера / Э. Парр. – М. : БИНОМ, 2007. – 516 с.
8. Петров, И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты / И. В. Петров. – М. : СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.
9. Якубовская, Е. С. Автоматизация технологических процессов : практикум / Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2008. – 320 с.

### *Технические нормативные правовые акты*

10. ГОСТ 7.1–2003 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – Взамен ГОСТ 7.1–84 ; введ. 2004-11-01. – Минск : БелГИСС, 2003. – 48 с.
11. ГОСТ 19.701–90 ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. – Взамен ГОСТ 19.002–80, ГОСТ 19.003–80 ; введ. 1992-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 24 с.

### *Интернет-ресурсы*

12. Официальный сайт компании Siemens [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>. – Дата обращения: 9.11.2015.

**Приложение А**

**Пример выполнения  
пояснительной записки к курсовой работе**

Репозиторий БГАТУ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Агроэнергетический факультет

Кафедра автоматизированных систем  
управления производством

Курсовая работа

по дисциплине «Микропроцессорная техника систем автоматизации»

Вариант № 1

Тема: «Разработка микропроцессорной программы автоматического управления  
электрическим водогрейным котлом»

*Студент 4 курса 14а группы*

\_\_\_\_\_ /Иванов И. И./  
(личная подпись) (Ф.И.О.)

*Шифр зачетной книжки*

\_\_\_\_\_ 1234567 \_\_\_\_\_

*Руководитель*

\_\_\_\_\_ /Сеньков А. Г./  
(личная подпись) (Ф.И.О.)

Минск, 2019

Учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет»  
Агроэнергетический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АСУП

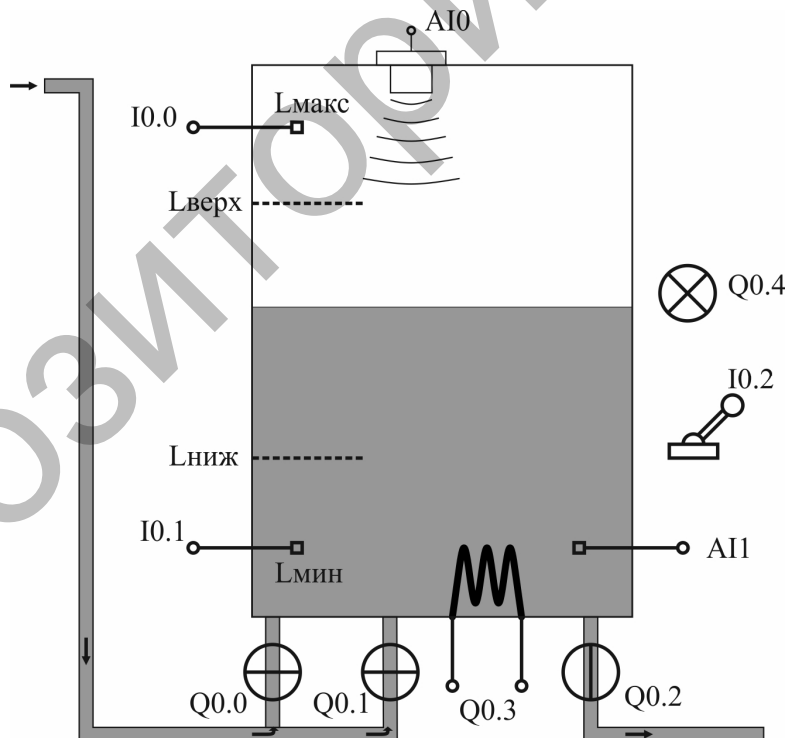
\_\_\_\_\_/А. Г. Сеньков/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

ЗАДАНИЕ  
по курсовой работе

Студенту Иванову И. И.

1. Тема курсовой работы: «Разработка микропроцессорной программы автоматического управления электрическим водогрейным котлом».
2. Срок сдачи студентом законченной работы до «\_\_» декабря 201\_\_ г.
3. Исходные данные к работе.



Объектом управления является водогрейный котел.

Входы (дискретные): I0.0 – датчик максимального уровня воды в баке; I0.1 – датчик минимального уровня воды; I0.2 – кнопка пуска/останова работы программы управления; I0.7 – переключатель аварийной остановки процесса управления.



Входы (аналоговые, 0–10 В): AI0 – ультразвуковой датчик уровня; AI1 – датчик температуры воды в баке.

Выходы (дискретные): Q0.0 – входной клапан быстрого наполнения; Q0.1 – входной клапан медленного наполнения; Q0.2 – выходной клапан слива; Q0.3 – управление электрическим нагревательным элементом.

### ***Постановка задачи***

Необходимо циклически наполнять и опустошать резервуар, непрерывно регулируя температуру воды между максимальным  $T_{\max}$  и минимальным  $T_{\min}$  значениями.

Требования к управлению уровнем воды в баке:

1) для наполнения бака водой необходимо открывать оба вентиля (Q0.0, Q0.1);  
 2) если уровень воды выше уровня  $L_{\text{верх}}$ , то дальнейшее заполнение водой до уровня  $L_{\max}$  должно происходить медленнее, поэтому должен быть включен только клапан медленного заполнения Q0.1;

3) если уровень воды выше значения  $L_{\max}$ , то выключаются оба входных вентиля (Q0.0, Q0.1) и (если при этом температура воды находится в пределах от  $T_{\min}$  до  $T_{\max}$ ) включается клапан слива (Q0.2);

4) если клапан слива (Q0.2) включен, то выключается он только тогда, когда уровень воды установится ниже значения  $L_{\text{ниж}}$  или температура воды выйдет за пределы интервала от  $T_{\min}$  до  $T_{\max}$ ;

5) если включен клапан слива и уровень воды ниже значения  $L_{\text{верх}}$ , то для замедления процесса слива включается входной клапан медленного заполнения (Q0.1).

Управление температурой воды в баке.

Нагрев воды (Q0.3) должен включаться, если уровень воды выше значения  $L_{\min}$  и температура воды ниже значения  $T_{\max}$ . Если температура воды достигла максимума, то нагрев воды должен прекратиться до снижения температуры до значения  $T_{\min}$ .

Предусмотреть подачу световой сигнализации (Q0.4) при выходе значений уровня или температуры воды из требуемых границ.

На основе сенсорной панели оператора КТР700 Basic разработать графический интерфейс пользователя для управления процессом нагрева. На сенсорной панели должны отображаться состояние всех датчиков и исполнительных механизмов, текущее время суток и дата. Ввод значений нижнего и верхнего уровней воды в баке, максимального и минимального значений температуры должен осуществляться с сенсорной панели. Запуск процесса автоматического управления нагревом осуществляется как нажатием графической кнопки «Пуск» на сенсорной панели, так и кратковременным включением переключателя I0.2. Предусмотреть ручной аварийный останов процесса управления нагревом воды

с помощью переключателя I0.7, а также нажатием соответствующей кнопки «Стоп» на экране сенсорной панели.

Реализовать архивирование значений температуры и уровня воды в баке и сохранение в файл в памяти ПЛК с периодичностью  $\Delta t$ , с.

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов).

1) Разработка схемы автоматизации, принципиальной электрической схемы системы управления.

2) Разработка алгоритма управления технологическим процессом нагрева.

3) Разработка микропроцессорной системы управления процессом нагрева.

5. Перечень графического материала.

Схема автоматизации. Схема принципиальная электрическая.

6. Дата выдачи задания «14» сентября 2019 г.

7. Календарный график работы:

25 % проекта (вопрос 1) – «1» октября 2019 г.

50 % проекта (вопрос 2) – «1» ноября 2019 г.

75 % проекта (вопрос 3) – «1» декабря 2019 г.

100 % проекта (вопрос 3, оформление записки) «22» декабря 2019 г.

Подготовка презентации и защита КР – «24» декабря 2019 г.

Руководитель \_\_\_\_\_  
(подпись) (инициалы, фамилия)

Задание принял к исполнению «14» сентября 2019 г.

\_\_\_\_\_  
(подпись)

## РЕФЕРАТ

Курсовая работа выполнена в объеме: пояснительная записка на 27 страницах машинописного текста, таблиц – 3, рисунков – 3; графическая часть – 3 листа формата А4; список использованных источников – 5.

Ключевые слова: микропроцессорная система автоматического управления, программируемый логический контроллер.

На основе программируемого логического контроллера S7-1200 и сенсорной панели оператора KTP700 Basic производства Siemens (Германия) разработана микропроцессорная система автоматического управления нагревом воды в водогрейном котле с электронагревательным элементом. Имитация поведения объекта управления, сигналов датчиков и работы исполнительных устройств реализована основе имеющихся на лабораторном стенде модулей ввода/вывода цифровых и аналоговых сигналов:

– модуль Festo 8DIn – источник входных цифровых сигналов – позволяет подавать на цифровые входы контроллера одновременно до 8 дискретных сигналов постоянного напряжения +24 В;

– модуль Festo 8DOut – приемник выходных цифровых сигналов – содержит 8 светодиодных индикаторов уровней выходных цифровых сигналов контроллера и позволяет передавать их на внешнюю нагрузку через соединительные разъемы;

– модуль Festo 4AIn/2AOut – модуль ввода/вывода аналоговых сигналов – модуль обеспечивает подачу на аналоговые входы контроллера до 4 аналоговых сигналов в диапазоне от 0 до 10 В постоянного напряжения.

Разработанная система управления обеспечивает автоматическое наполнение и слив водогрейного котла, поддержание требуемого уровня и температуры воды в котле в соответствии с заданием на проектирование.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1. Исходные данные .....	8
2. Разработка алгоритма управления объектом .....	10
3. Разработка микропроцессорной программы управления объектом .....	13
Заключение .....	26
Список использованных источников.....	27

						<i>03.49.011.19 – ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Пояснительная записка</i>	<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Иванов</i>					УП		
<i>Руковод.</i>		<i>Матвейчук</i>					<i>БГАТУ N7112017</i>		
<i>Консульт.</i>									
<i>Зав. каф.</i>		<i>Сеньков</i>							











входной клапан медленного наполнения отключается. Приток воды в бак полностью прекращается. Далее, в случае, если температура воды в баке находится в требуемых границах от  $T_{\text{мин}}$  до  $T_{\text{макс}}$ , открывается выходной клапан слива. Нагретая вода уходит из бака. При понижении уровня воды ниже  $L_{\text{верх}}$  вновь включается клапан медленного наполнения с тем, чтобы опустошение бака происходило медленнее. При понижении уровня воды в баке ниже отметки  $L_{\text{ниж}}$  клапан слива закрывается, и возобновляется наполнение бака, т. е. к работающему клапану медленного наполнения подключается клапан быстрого наполнения.

Символьная запись алгоритма управления уровнем воды в баке имеет следующий вид (таблица 1).

Таблица 19. Символьная запись алгоритма управления уровнем воды в баке

Шаг	1	2	3	4	5	6	7	8
Вес элемента	1	2, 4	8	16	2	32	4	64
Запись алгоритма	$a_1\uparrow$	$X_1\uparrow$ $X_2\uparrow$	$b_2\uparrow$	$b_3\uparrow$	$X_1\downarrow$	$b_4\uparrow$	$X_2\downarrow$	$X_3\uparrow$
Вес состояния	1	7	15	31	29	61	57	121
Шаг	9	10	11	12	13	14		
Вес элемента	32	16	4	8	64			
Запись алгоритма	$b_4\downarrow$	$b_3\downarrow$	$X_2\uparrow$	$b_2\downarrow$	$X_3\downarrow$			
Вес состояния	89	73	77	69	5			

Проверка реализуемости данного алгоритма методом подсчета весового состояния показывает, что данный алгоритм реализуем.

### ***Разработка алгоритма управления температурой воды в котле***

Выполняем словесное описание алгоритма управления температурой.

В начале работы вода в котле отсутствует. Электронагреватель выключен. После нажатия на кнопку «Старт» происходит наполнение котла водой, температура которой ниже требуемого минимального значения  $T_{\text{мин}}$ .

								Лист
								11
Изм.	Колич.	Лист	№ док	Подпись	Дата	03.49.011.19 – ПЗ		



### 3 РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

#### Программное обеспечение

Для программирования и конфигурирования ПЛК S7-1200 используется программный пакет STEP 7 Professional. STEP 7 – это базовый пакет программ, включающий в свой состав весь спектр инструментальных средств, необходимых для программирования и эксплуатации систем управления, построенных на основе программируемых контроллеров SIMATIC S7. Отличительной особенностью пакета STEP 7 является возможность разработки комплексных проектов автоматизации, базирующихся на использовании множества программируемых контроллеров, промышленных компьютеров, устройств и систем человеко-машинного интерфейса, устройств распределенного ввода/вывода, сетевых структур промышленной связи [2].

Инструментальные средства STEP 7 позволяют реализовать:

- конфигурирование и определение параметров настройки аппаратуры;
- конфигурирование систем промышленной связи и настройку параметров передачи данных;
- программирование, тестирование, отладку и запуск программ отдельных систем автоматизации, а также их локальное или дистанционное обслуживание;
- документирование и архивирование данных проекта;
- функции оперативного управления и диагностирования аппаратуры.

Simatic WinCC (Windows Control Center) – система HMI, программное обеспечение для создания человеко-машинного интерфейса, составная часть семейства систем автоматизации Simatic, производимых компанией Siemens AG. Работает под управлением операционных систем семейства Microsoft Windows. Основные возможности WinCC:

- визуализация техпроцесса (Graphic Designer);
- конфигурирование и настройка связи с контроллерами различных производителей (Tag Management);

						Лист
						13
Изм.	Колич.	Лист	№ док	Подпись	Дата	































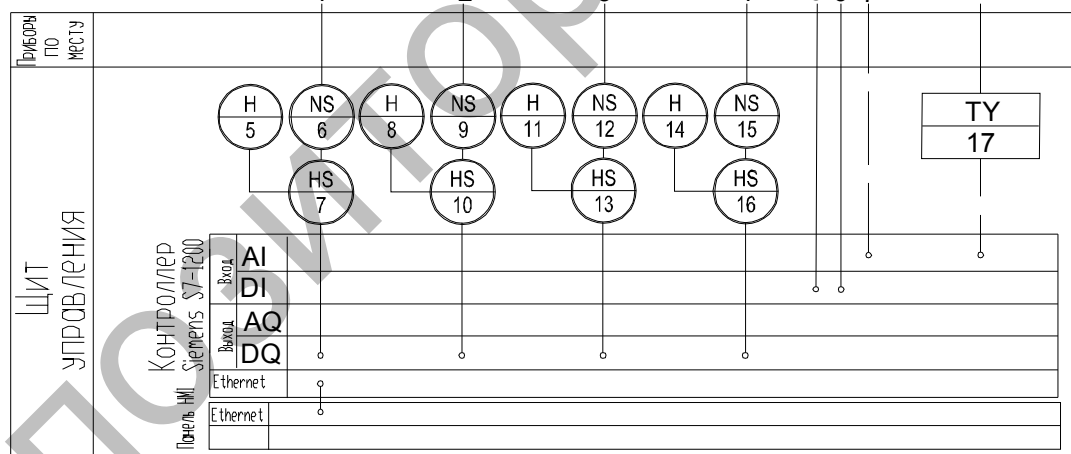
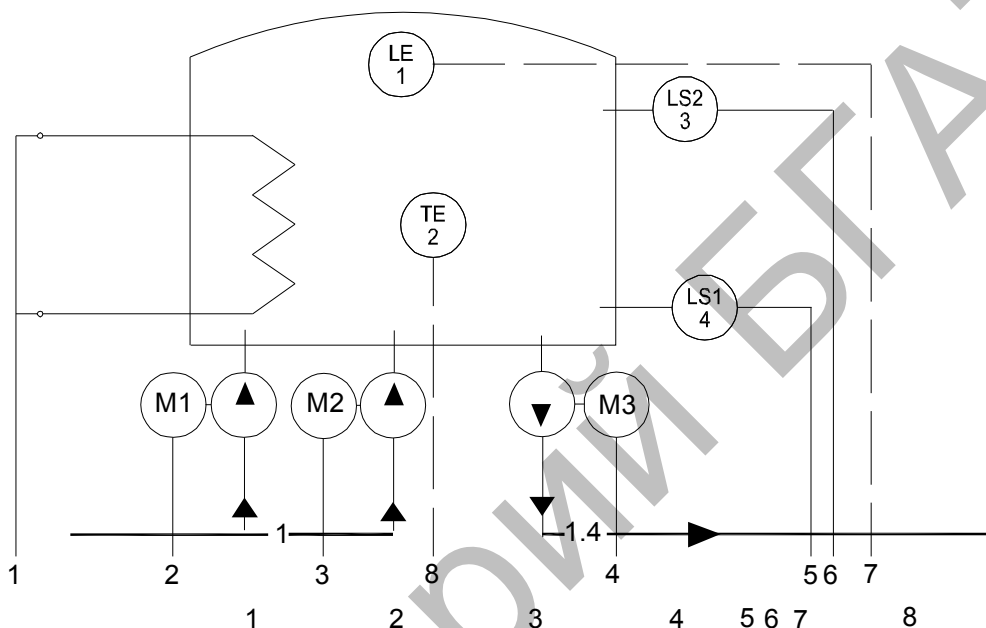


**Приложение Б**

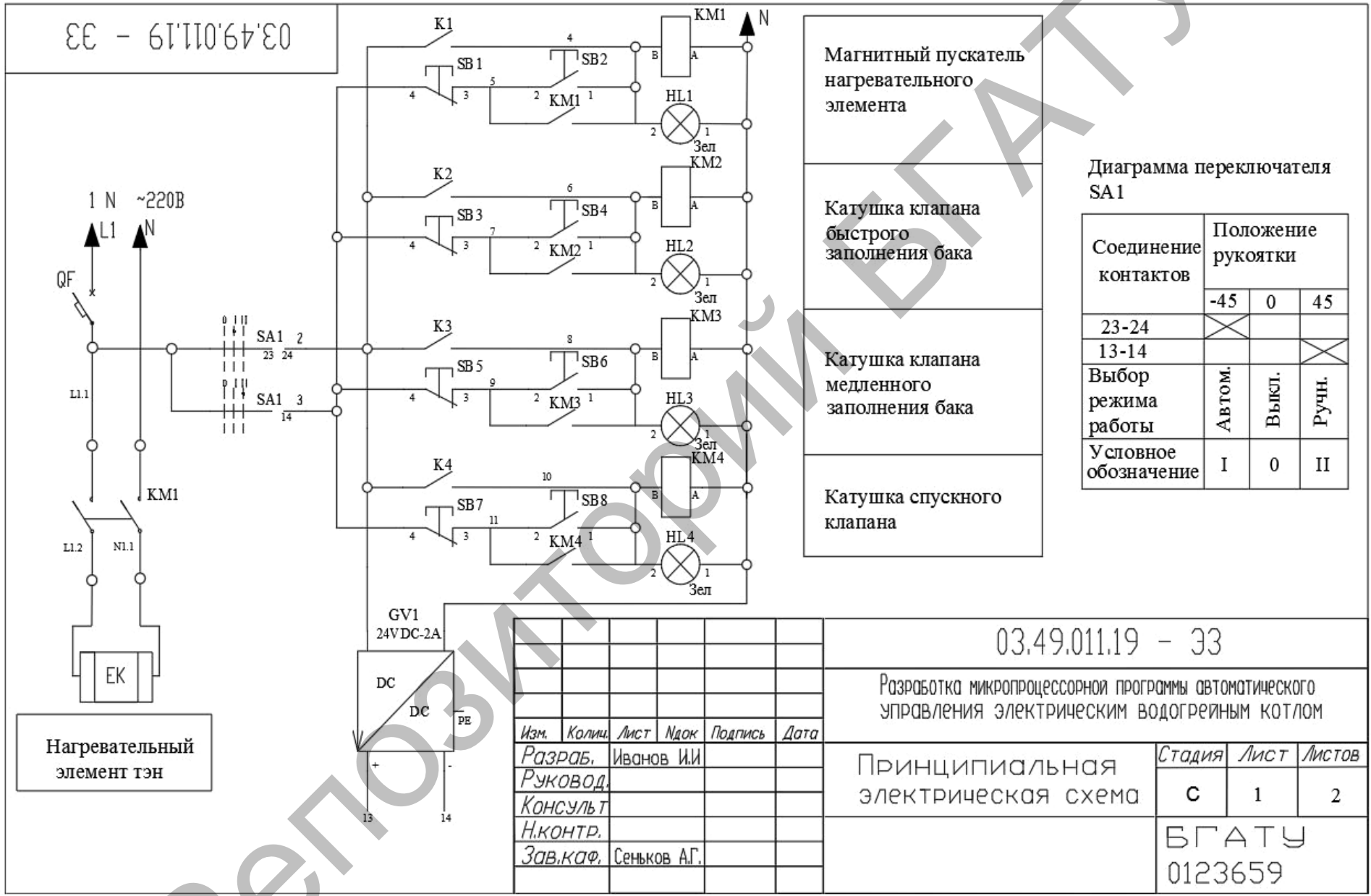
**Пример выполнения  
графической части курсовой работы**

Репозиторий БГАТУ

Обозначение сред		
Обозначение	Наименование	Примечание
— 1 —	Вода холодная	
— 1.4 —	Вода горячая	



						03.49.011.19 - АТХ			
						Разработка микропроцессорной программы автоматического управления электрическим водогрейным котлом			
Изм.	Колич.	Лист	Идок	Подпись	Дата	Схема автоматизации водогрейного котла	Страница	Листов	Листов
Разраб.		Иванов И.И.					У	1	1
Руковод.									
Консульт.									
Нормкон.							БГАТУ N 7112017		
Зав. каф.		Сеньков А.Г.							



03.49.011.19 - 33

1 N ~220В

QF

L1.1

L1.2

N1.1

Нагревательный элемент ТЭН

GV1  
24VDC-2A

DC  
DC

+

13

14

Изм.	Колич.	Лист	Идок	Подпись	Дата
РАЗРАБ.				Иванов И.И.	
РУКОВОД.					
КОНСУЛЬТ.					
Н.КОНТР.					
ЗАВ.КАФ.				Семьков А.Г.	

- Магнитный пускатель нагревательного элемента
- Катушка клапана быстрого заполнения бака
- Катушка клапана медленного заполнения бака
- Катушка спускного клапана

Диаграмма переключателя SA1

Соединение контактов	Положение рукоятки		
	-45	0	45
23-24	X		
13-14			X
Выбор режима работы	АВТОМ.	ВЫКЛ.	РУЧН.
Условное обозначение	I	0	II

03.49.011.19 - 33

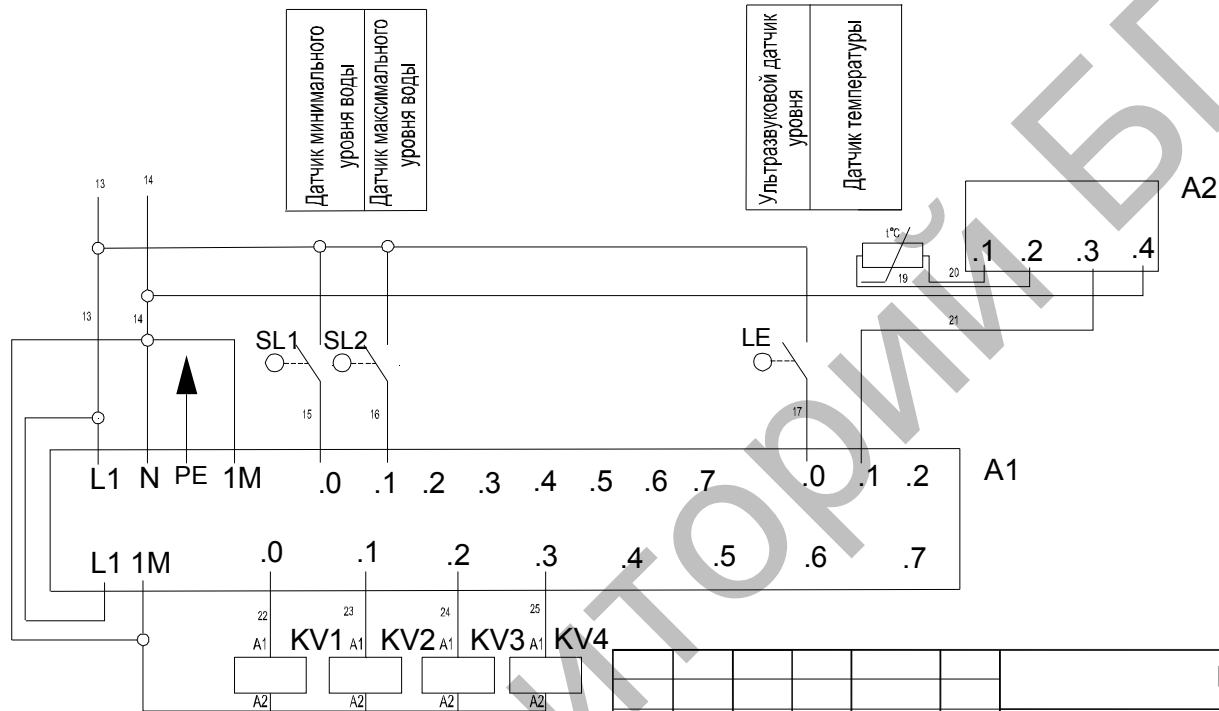
Разработка микропроцессорной программы автоматического управления электрическим водогрейным котлом

Принципиальная электрическая схема

Стадия	Лист	Листов
С	1	2

БГАТУ  
0123659

03.49.011.19 - 33



Нагревательный элемент	Быстрое заполнение бака	Медленное заполнение бака	Подача воды
------------------------	-------------------------	---------------------------	-------------

Изм.	Колич.	Лист	Ндок	Подпись	Дата
Разраб.				Иванов И.И.	
Руковод.					
Консульт.					
Нормкон.					
Зав. каф.				Сеньков А.Г.	

03.49.011.19 - 33

Разработка микропроцессорной программы автоматического управления электрическим водогрейным котлом

Принципиальная электрическая схема

Стадия	Лист	Листов
У	2	2

БГАТУ  
N 7112017

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Репозиторий БГАТУ

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Репозиторий БГАТУ

Учебное издание

**Сеньков Андрей Григорьевич**

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА  
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ.  
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *А. Г. Сеньков*

Корректор *Т. В. Каркоцкая*

Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*

Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 29.03.2019. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 4,36. Тираж 99 экз. Заказ 128.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.