

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри  
Худолей Г.М.  
“ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

# ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на тему:

*"Автоматизація водогрійного котла КВГ-6,5-150"*

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

Проектант:

студент групи СУзт-61Ш

Є.М. Корнієнко



## РЕФЕРАТ

Корниенко Евгений Николаевич. Автоматизация водогрейного котла КВГ-6,5-150. Дипломный проект. Шосткинский институт Сумского государственного университета. Шостка, 2020 год.

Дипломный проект содержит 74 листа пояснительной записки, с учетом 47 рисунков, 15 таблиц; конструкторскую документацию, которая содержит 2 чертежа; 3 демонстрационных плаката.

Разработано техническое задание. Разработана автоматизация водогрейного котла КВГ-6,5-150 на базе программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК160. Произведён расчёт контура управления расходом воздуха атмосферного в горелке котла и разработан алгоритм управления технологическим процессом. Удовлетворительное качество работы водогрейного котла КВГ-6,5-150 подтверждено результатами моделирования на ЭВМ.

Ключевые слова: технологический процесс, система управления, регулирующий микропроцессорный контроллер, алгоритм управления, регулируемый параметр.

## РЕФЕРАТ

Корнієнко Євген Миколайович. Автоматизація водогрійного котла КВГ-6,5-150. Дипломний проект. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2020 рік.

Дипломний проект містить 74 аркуші пояснювальної записки, з урахуванням 47 рисунків, 15 таблиць; конструкторську документацію, яка містить 2 креслення; 3 демонстраційні плакати.

Розроблено технічне завдання. Розроблено автоматизацію водогрійного котла КВГ-6,5-150 на базі програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК160. Виконано розрахунок контуру управління витратою повітря атмосферного у пальнику котла та розроблено алгоритм управління. Задовільна якість роботи водогрійного котла КВГ-6,5-150 підтверджена результатами моделювання на ЕОМ.

Ключові слова: технологічний процес, система управління, регулюючий мікропроцесорний контролер, алгоритм управління, регульований параметр.

## SUMMARY

Kornienko Evgeny Nikolaevich. Automation of hot-water boiler KVG-6,5-150. Diploma project. Shostka institute of the Sumy state University. Shostka, 2017 year.

A diploma project is contained by 74 leaves of explaining message, taking into account 47 pictures, 15 tables; designer document which contains 2 drafts; 3 demonstration posters.

The specification is developed. The automation of hot-water boiler KVG-6,5-150 on the basis of the programmable logical controler PLK160 is developed. The algorithm of management is developed. Satisfactory quality of work of hot-water boiler KVG-6,5-150 is confirmed with results of modeling on EVM.

Keywords: technological process, control system, the regulating microprocessor controler, the control algorithm, the adjustable parameter.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Худолей Г.М.

“ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

## **ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на проектування автоматизації водогрійного котла КВГ-6,5-150

Проектував:

Студент групи СУзт-61Ш

Є.М. Корнієнко

Погоджено:

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

1 Разработать проект автоматизации водогрейного котла КВГ-6,5-150.

2 Основания для разработки

Задание кафедры на дипломный проект.

3 Цель и назначение разработки

Целью данной разработки является создание проекта автоматизации водогрейного котла КВГ-6,5-150.

Ожидаемые цели реализации данного проекта:

- повышение эффективности технологического процесса;
- повышение уровня безопасности ведения технологического процесса, снижение аварийности;
- улучшение условий труда персонала;
- сокращение времени поиска и устранения неисправностей;
- повышение технико-экономических показателей за счет применения современных методов управления технологическим процессом, а также использование новейших средств автоматизации;
- снижение энергетической нагрузки.

Данная разработка и результаты проектирования могут быть использованы для автоматизации водогрейного котла КВГ-6,5-150.

4 Источники для разработки

Регламент технологического процесса работы водогрейного котла КВГ-6,5-150. Руководство по эксплуатации.

5 Условия эксплуатации

Питание технологических установок осуществляется от цеховой сети переменного тока с напряжением 380 В.

Окружающая среда должна быть не взрывоопасной, не содержать пыли в концентрациях, нарушающей работу электрооборудования, а также не содержать агрессивных паров и газов, разрушающих металл и изоляцию. Условия эксплуатации автоматизированного водогрейного котла КВГ-6,5-150 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия эксплуатации автоматизированного водогрейного котла КВГ-6,5-150

Наименование и характеристика помещения	Климатические условия			Механические условия	
	Температура, °С	Влажность, %	Запыленность, г/м <sup>3</sup>	Амплитуда и частота вибрации, Гц	Наличие колебаний
Производственное помещение	22...25 <sup>0</sup> С	60...85%	-	-	-
Щитовая	22...25 <sup>0</sup> С	60...85%	-	-	-
Операторская комната	22...25 <sup>0</sup> С	40...60%	-	-	-

АСУТП должна быть рассчитана на непрерывный круглосуточный режим работы.

Виды, периодичность и регламент обслуживания технических средств должны быть указаны в соответствующих инструкциях по эксплуатации.

Расположение технических средств АСУТП должно быть рациональным как с точки зрения монтажных связей между ними, так и удобства и безопасности их эксплуатации и обслуживания.

## 6 Технические требования

Автоматизированный водогрейного котла КВГ-6,5-150 должен обеспечивать:

- ведение технологического процесса на основе автоматического контроля технологических параметров;
- снижение трудоемкости при измерении и управлении технологическими параметрами;
- визуализацию параметров технологического процесса и аварийных ситуаций;
- автоматическое управление исполнительными механизмами;
- безаварийный пуск/останов и переключение технологического оборудования;
- предотвращение развития аварийных ситуаций и обеспечение безопасного завершения процесса по заданному алгоритму;
- прием информации с верхнего уровня системы управления и формирование управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

В состав процесса должны входить:

- узел управления на базе программируемого контроллера;
- АРМ на базе ПК с соответствующим программным обеспечением.

Программное обеспечение должно предотвращать возникновение отказов в выполнении функций АСУТП при отказах технических средств и при ошибках персонала, участвующего в выполнении этой функции, либо должно обеспечить перевод отказов, ведущих к большим потерям, в отказы, сопряженные с меньшими потерями.

Средства автоматизации, которые используются в данной установке, должны быть современными и легкодоступными на рынке. Также необходимо учесть наличие взрывоопасных и агрессивных сред.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту на тему:

*«Автоматизація водогрійного котла КВГ-6,5-150»*

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

Проектант:

студент групи СУзт-61Ш

Є.М. Корнієнко



# ОГЛАВЛЕНИЕ

С.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	10
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ.....	12
2 ВЫБОР КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ, СИГНАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ.....	19
3 ВЫБОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ, РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ И ЗАЩИТЫ И АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ.....	27
4 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	66
ВЫВОДЫ.....	80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	81

					СУзт-61Ш 6.050201.07.ПЗ		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		Корнієнко С.М.			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>					9	81	
<i>Реценз.</i>					ШИ СумГУ		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Утверд.</i>		Худолей Г.М.			Пояснительная записка		

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АСУ ТП - автоматизированная система управления технологическим процессом.

ПЧ – преобразователь частоты.

ПЛК – программируемый логический контролер.

ТП – технологический процесс.

ПК – персональный компьютер.

SCADA-система (аббр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition) - система диспетчерского управление и сбора данных.

					СУзТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

## ВВЕДЕНИЕ

Водогрейные котлы применяются в основном для нужд теплоснабжения в частных домах, на котельных различной мощности и на ТЭЦ. В последнем случае они обычно используются как пиковое оборудование в дни максимальных тепловых нагрузок, а также для резервирования тепла от отборов турбины (их установленная мощность в умеренном и холодном климате значительно превосходит мощность отборов, но коэффициент её использования невелик).

Капитальные вложения в водогрейные котлы гораздо ниже, чем в установку комбинированной выработки теплоты той же тепловой мощности, однако при этом не вырабатывается электроэнергия и нет возможности осуществить привод механизмов котельной паром.

Работы, связанные с водогрейными котлами очень жёстко регламентированы. Отдельно следует заметить, что большинство несчастных случаев с серьёзными увечьями и летальными исходами, а также аварий и разрушений, происходят при неправильной эксплуатации котлов.

Задачей настоящего проекта является решение круга вопросов связанных с модернизацией существующей системы управления. Модернизация процесса будет осуществляться с учетом специфических свойств водогрейного котла КВГ-6,5-150, необходимости упрощения управления, увеличения устойчивости процессов к воздействию внешних возмущений. Работа выполняется на основании задания кафедры системотехники и информационных технологий Шосткинского института СумГУ.

					СУзТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

## 1.1 Описание технологического процесса

Водогрейный котел КВГ-6,5-150 предназначен для нагрева воды, которая используется для горячего водоснабжения и отопления (рис. 1.1). Вода, идущая к потребителю, называется прямой, а возвращающая обратно от потребителя в котел – обратной. Вода используется химически очищенная, так как содержащиеся в природной воде растворимые газы (кислород и углекислота) разрушают металл котельного агрегата и трубопроводы. Также использование природной воды приводит к отложению накипи, которая вызывает перегрев металла в следствии ухудшения отвода тепла. Для восполнения неизбежных потерь воды, требуется вода для подпитки обратной воды. Питательная вода применяется химически очищенная.

Нагрев воды происходит за счет тепла, выделяющегося при сжигании топлива. Вода в котел поступает с температурой 60°C и нагревается до температуры 180°C.

Горение – это процесс химической реакции соединений горючих элементов газа с кислородом, способствовавшему повышению температуры и с последующим выделением тепла.

Процесс горения газообразного топлива состоит из образования горючей смеси, нагревании ее до температуры воспламенения и горения. К горелке котла подводятся газ и воздух. Воздух подается дутьевым вентилятором. Горючая смесь, которая образуется в горелке, воспламеняется и отдает тепло в топочную камеру. В результате процесса горения образуются газообразные продукты – дымовые газы. Их отсасывает дымосос, а затем выбрасывает в атмосферу.

Сжигание осуществляется факельным способом. При сжигании газового топлива необходимо обеспечить: хорошее предварительное

					СУзТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

перемешивание газа с воздухом, ведение процесса с малыми избытками воздуха, разделение потока смеси на отдельные струи.

Подогрев газозвушной смеси и химическая реакция горения протекают очень быстро. Основным фактором длительности горения является время, затраченное на перемешивание газа с воздухом в горелке. От быстроты и качества перемешивания газа с необходимым количеством воздуха, зависит скорость и полнота сгорания газа, длина факела топки и температура пламени. Для процесса горения дымососом создается необходимое разрежение и обеспечивается полное удаление продуктов сгорания. Если достигнуть соотношения расхода воздуха в соответствии с подачей топлива, процесс сжигания будет осуществляться с максимальной экономичностью.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

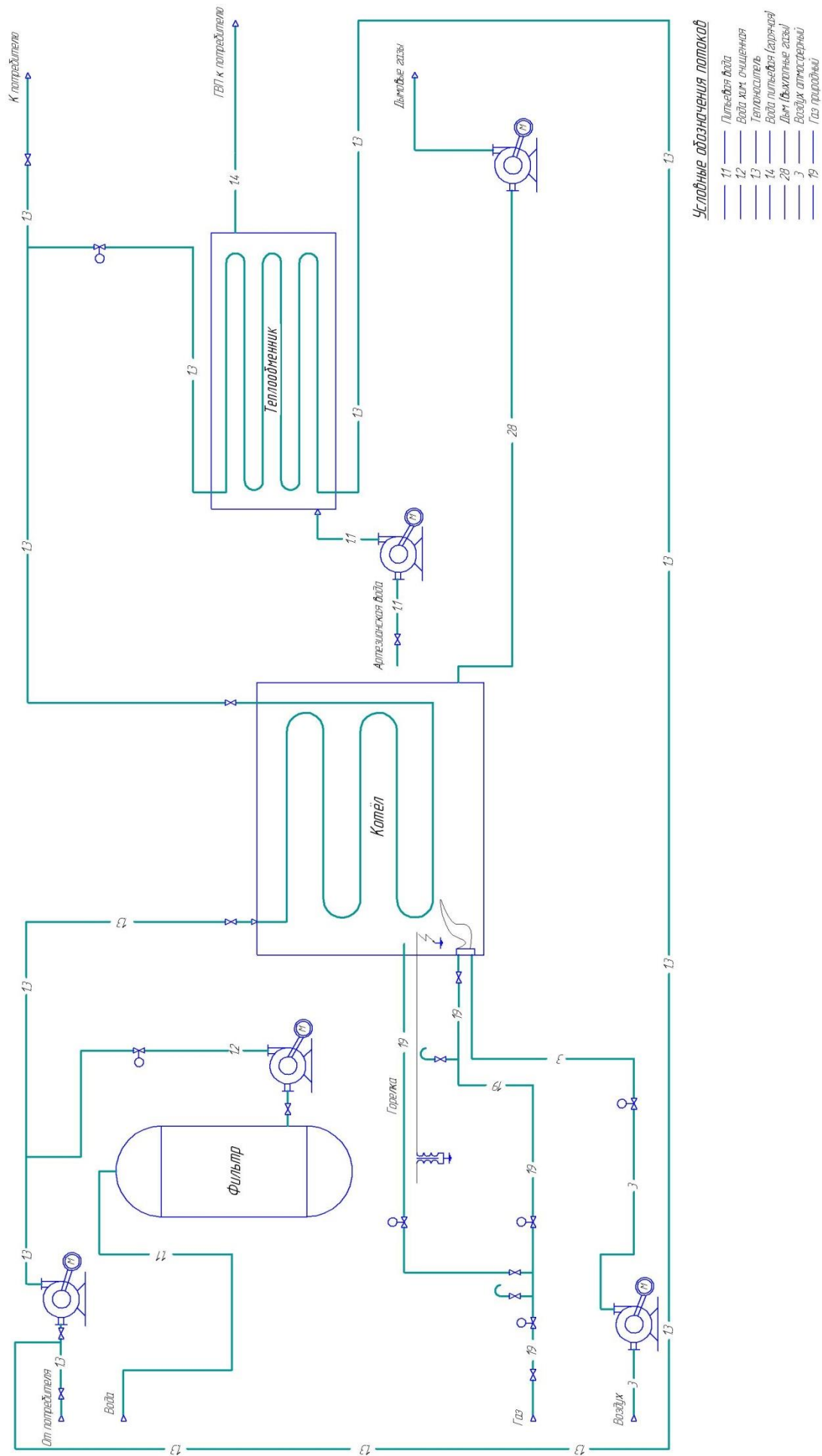


Рисунок 1.1 – Технологическая схема водогрейного котла КВГ-6,5-150

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 1.2 Схема информационно-материальных потоков

На основании технологического процесса нагрева воды в водогрейном котле КВГ-6,5-150 составим схему движения материальных потоков. Схема движения материальных потоков представлена на рисунке 1.2.

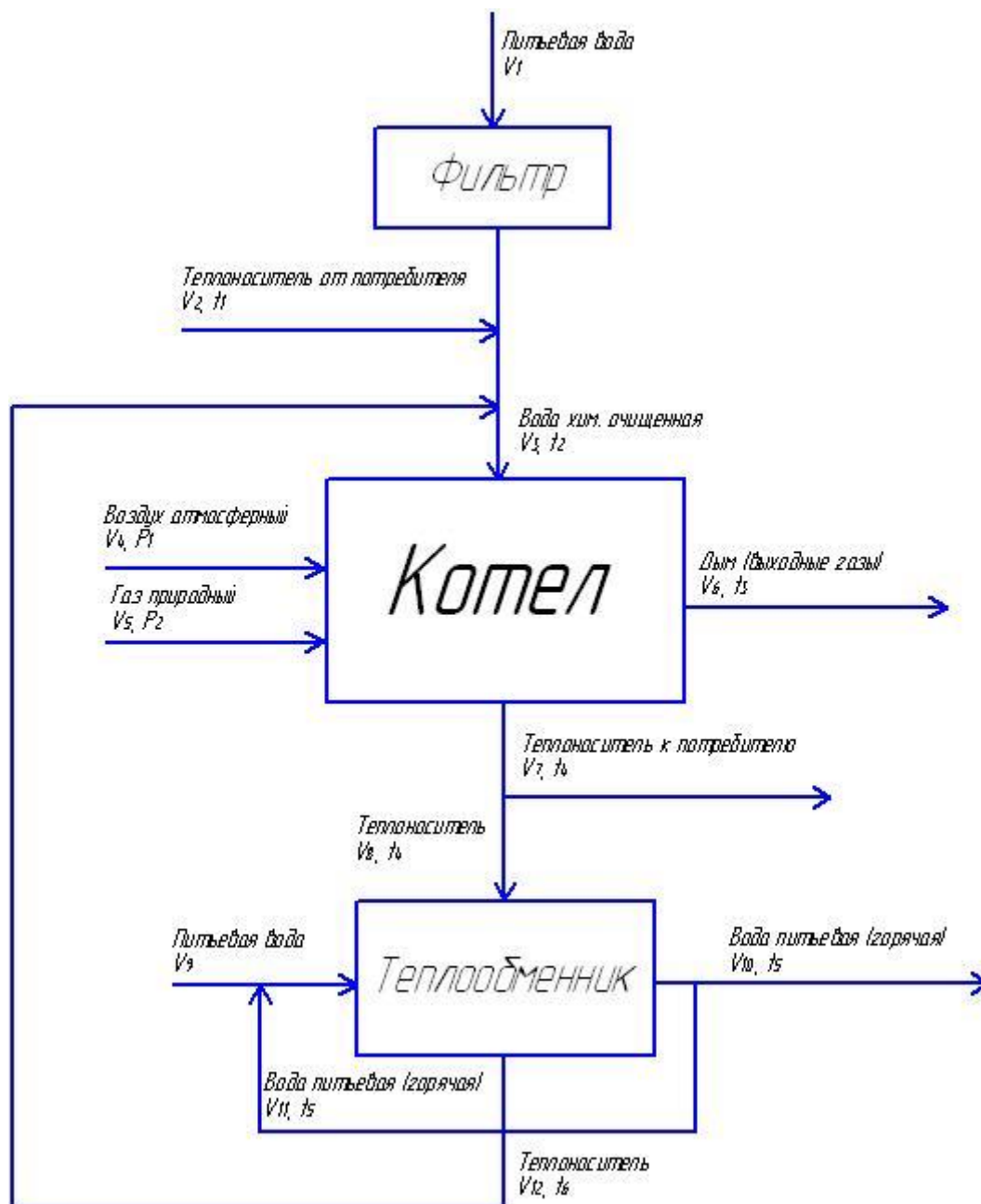


Рисунок 1.2 – Схема информационно-материальных потоков в водогрейном котле КВГ-6,5-150

На основе схемы движения материальных потоков определим параметры для сигнализации, контроля и управления, которые сведем в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Перечень параметров сигнализации, контроля и управления

Параметр	Точка технологического процесса	Функция	Диапазон измеряемой величины	Регулируется	Погрешность измерений
Температура	Трубопровод отвода выходных газов	Контроль	180 °С	-	1%
Температура	Трубопровод подачи горячего водоснабжения (ГВС)	Контроль, управление, сигнализация	60 °С	Подачей теплоносителя на теплообменник	2%
Давление	Давление теплоносителя на выходе с котла	Контроль, управление, сигнализация	6 кгс/см <sup>2</sup>	Расходом подпитки	2%
Давление	Трубопровод подачи газа природного в котёл	Контроль, управление, сигнализация	0,15 кгс/см <sup>2</sup>	Клапаном подачи газа	1%

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------



Продолжение таблицы 1.1

Параметр	Точка технологического процесса	Функция	Диапазон измеряемой величины	Регулируется	Погрешность измерений
Давление	Разряжение в топке котла	Контроль, управление, сигнализация	-20 Па	Оборотами дымососа	2%
Давление	Трубопровод подачи атмосферного воздуха в котёл	Контроль, управление, сигнализация	100-900 Па	Оборотами вентилятора	1%
Расход	Трубопровод подачи атмосферного воздуха в котёл	Контроль, управление, сигнализация	5,18 м <sup>3</sup> /час	Клапаном подачи воздуха	1%
Расход	Трубопровод подачи теплоносителя в котёл	Контроль, управление, сигнализация	120 м <sup>3</sup> /час	Оборотами насоса циркуляции	2%

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Продолжение таблицы 1.1

Параметр	Точка технологического процесса	Функция	Диапазон измеряемой величины	Регулируется	Погрешность измерений
Расход	Трубопровод отвода воды хим. очищенной из фильтра	Контроль, сигнализация	1 м <sup>3</sup> /час	-	2%
Расход	Трубопровод подачи газа природного в котёл	Контроль, сигнализация	120 м <sup>3</sup> /час	-	1%

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2 ВЫБОР КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ, СИГНАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ

При выборе регулирующих величин определяют целевое назначение процесса, взаимосвязь его с другими процессами, показатель эффективности и значение, на котором он должен поддерживаться. После чего анализируется вероятность поступления возмущающих воздействий в объект управления. Определяются пути устранения возмущения или их стабилизации.

Внедрение автоматических средств контроля и сигнализации позволяет обеспечить необходимую безопасность технологического процесса.

### 2.1 Контур контроля температуры в трубопроводе подачи теплоносителя в котёл

Для контроля температуры теплоносителя в трубопроводе подачи его в котёл на нём (трубопроводе) установлен термопреобразователь сопротивления ТЕ (рис. 2.1).

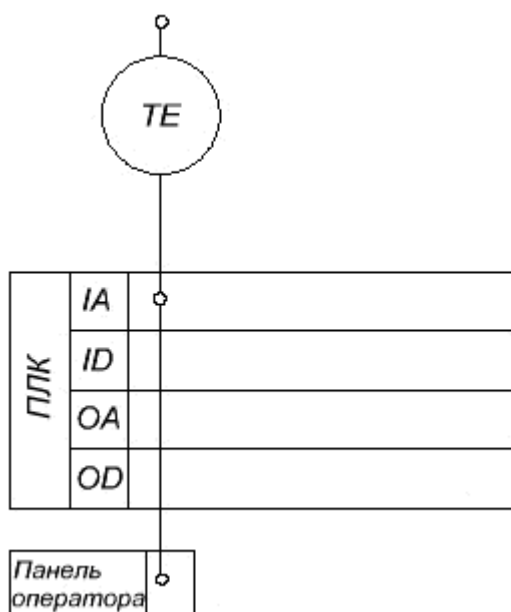


Рисунок 2.1 - Контур контроля температуры теплоносителя в трубопроводе подачи его в котёл

Контур аналогичен для контроля температуры в трубопроводе отвода выходных газов.

## 2.2 Контур контроля температуры в трубопроводе выхода теплоносителя с котла

Для контроля температуры теплоносителя в трубопроводе выхода его с котла на нём (трубопроводе) установлен термопреобразователь сопротивления ТЕ. Сигнализация аварийных ситуаций осуществляется лампой НЛ и звонком НА, вид аварийной ситуации отображается на панели оператора (рис. 2.2).

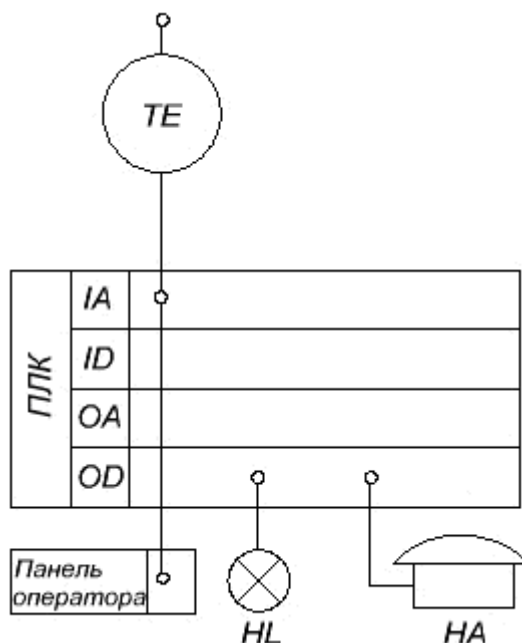


Рисунок 2.2 - Контур контроля и сигнализации температуры теплоносителя в трубопроводе выхода его с котла

## 2.3 Контур регулирования температуры в трубопроводе подачи ГВС

Температура ГВС в трубопроводе, необходимая для нормального протекания технологического процесса, составляет 60 С°. Для предотвращения достижения критической температуры и поддержания необходимого её значения на входе трубопровода установлен термопреобразователь сопротивления ТЕ, а на выходе - регулирующий клапан. Сигнализация аварийных ситуаций осуществляется лампой НЛ и звонком НА, вид аварийной ситуации отображается на панели оператора (рис. 2.3).

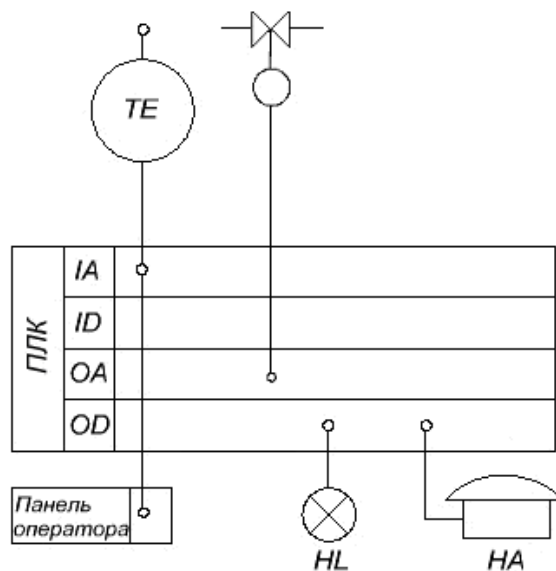


Рисунок 2.3 - Контур контроля, управления и сигнализации температуры ГВС в трубопроводе его подачи

#### 2.4 Контур регулирования давления теплоносителя на выходе с котла

Давление теплоносителя в трубопроводе, необходимое для нормального протекания технологического процесса, составляет 6 кгс/см<sup>2</sup>. Для предотвращения достижения критического давления и поддержания необходимого его значения на входе трубопровода установлен датчик давления PE, а на выходе - регулирующий клапан. Сигнализация аварийных ситуаций осуществляется лампой HL и звонком HA, вид аварийной ситуации отображается на панели оператора (рис. 2.4).

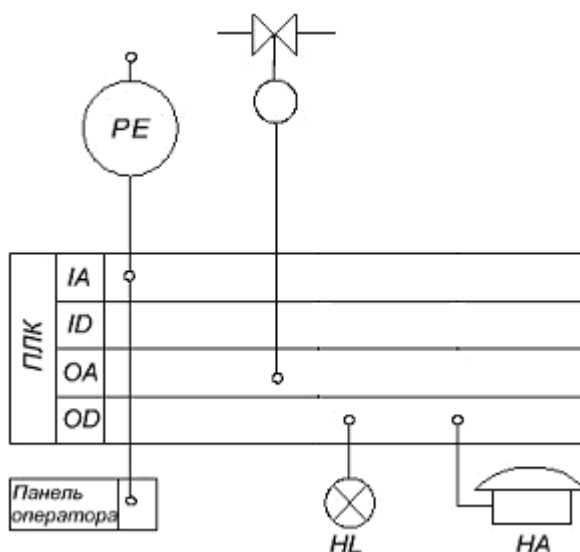


Рисунок 2.4 - Контур контроля, управления и сигнализации давления теплоносителя в трубопроводе на выходе с котла

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Контур аналогичен для контроля, управления и сигнализации давления в трубопроводе подачи газа природного в котёл.

## 2.5 Контур регулирования давления в топке котла

Для обеспечения нормального сгорания газа необходимо создать разрежение в топке котла -20 Па. Для предотвращения достижения критического давления и поддержания необходимого его значения на входе трубопровода установлен датчик давления PE. Управление осуществляется частотным преобразователем SYC, который измеряет частоту вращения дымососа. Сигнализация аварийных ситуаций осуществляется лампой HL и звонком HA, вид аварийной ситуации отображается на панели оператора (рис. 2.5).

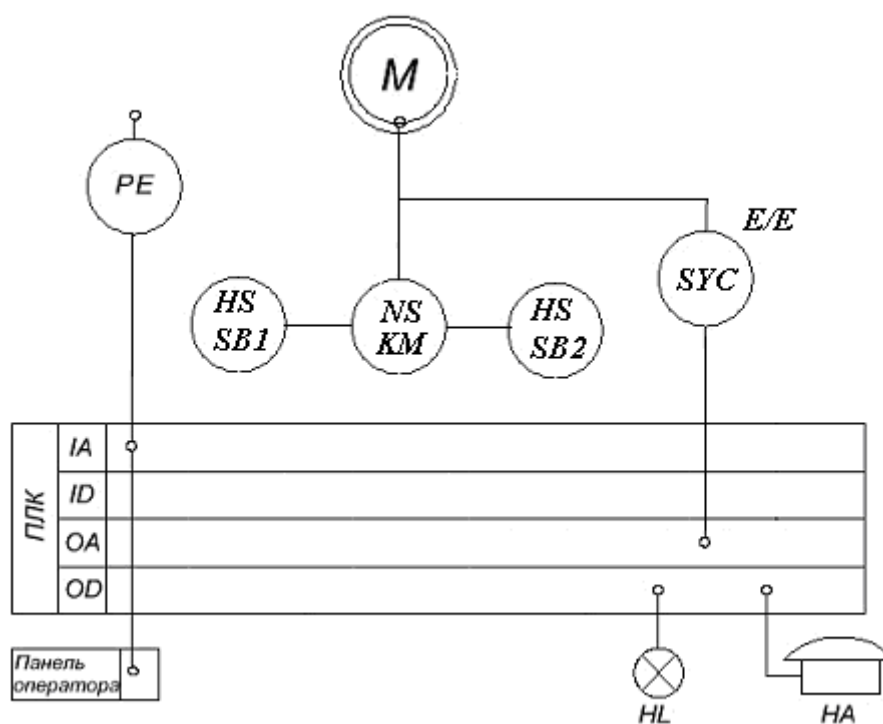


Рисунок 2.5 - Контур контроля, управления и сигнализации давления в топке котла

Контур аналогичен для контроля, управления и сигнализации давления в трубопроводе подачи атмосферного воздуха в котёл.

## 2.6 Контур регулирования расхода в трубопроводе подачи атмосферного воздуха в котёл

Расход атмосферного воздуха в трубопроводе, необходимый для нормального протекания технологического процесса, составляет 5,18 м<sup>3</sup>/час. Контроль расхода воздуха осуществляется датчиком разности давлений с измерительной диафрагмой FE, а регулирование – регулирующим клапаном. Сигнализация аварийных ситуаций осуществляется лампой HL и звонком HA, вид аварийной ситуации отображается на панели оператора (рис. 2.6).

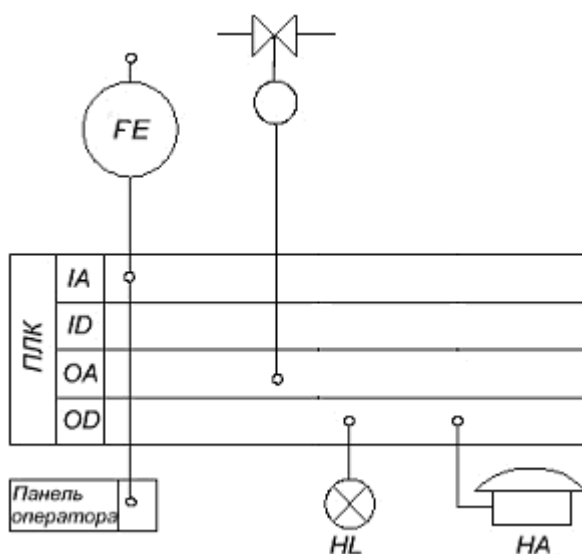


Рисунок 2.6 - Контур контроля, управления и сигнализации расхода в трубопроводе подачи атмосферного воздуха в котёл

## 2.7 Контур регулирования расхода в трубопроводе подачи теплоносителя в котёл

Расход теплоносителя в трубопроводе, необходимый для нормального протекания технологического процесса, составляет 120 м<sup>3</sup>/час. Контроль расхода теплоносителя осуществляется датчиком разности давлений с измерительной диафрагмой FE, а регулирование – изменением частоты вращения насоса циркуляции с помощью частотного преобразователя SYC. Сигнализация аварийных ситуаций осуществляется лампой HL и звонком HA, вид аварийной ситуации отображается на панели оператора (рис. 2.7).

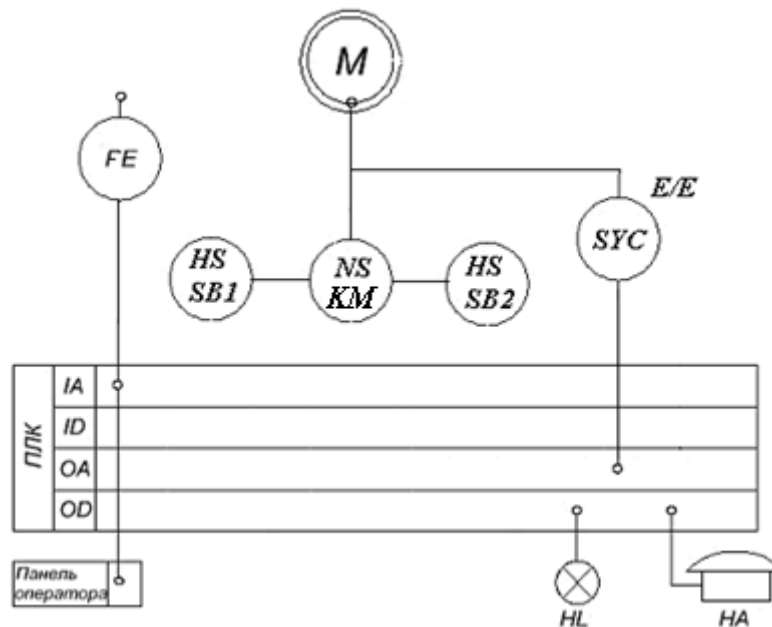


Рисунок 2.7 - Контур контроля, управления и сигнализации расхода теплоносителя в трубопроводе подачи его в котёл

## 2.8 Контур контроля расхода в трубопроводе отвода воды хим. очищенной из фильтра

Для контроля расхода воды хим. очищенной в трубопроводе отвода её из фильтра на нём (трубопроводе) установлен датчиком разности давлений с измерительной диафрагмой FE. Сигнализация аварийных ситуаций осуществляется лампой HL и звонком HA, вид аварийной ситуации отображается на панели оператора (рис. 2.8).

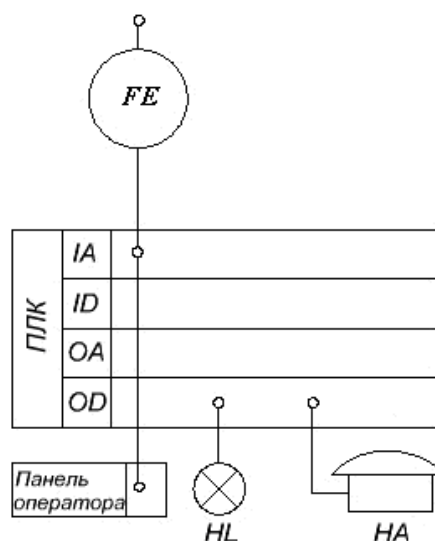


Рисунок 2.8 - Контур контроля и сигнализации расхода воды хим. очищенной в трубопроводе отвода её из фильтра



Контур аналогичен для контроля и сигнализации расхода газа природного в трубопроводе подачи его в котёл.

## 2.9 Наличие пламени в газозажигательном устройстве

Для избегания погасания пламени в газозажигательном устройстве в котле установлен датчик наличия пламени ВЕ (рис. 2.9). С блока управления зажиганием и контролем пламени газозажигательного устройства ВУС подаётся управляющее воздействие на сам зажигатель и на регулирующие клапаны (запальника и горелки).

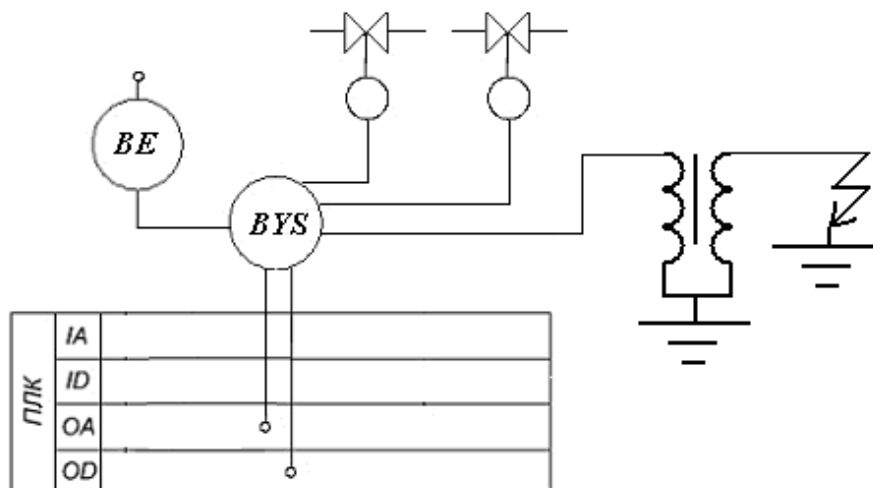


Рисунок 2.9 - Контур управления наличием пламени в газозажигательном устройстве

## 2.10 Управление двигателем насоса подпитки

Управление регулируемым электроприводом М осуществляется посредством частотного преобразователя СУС (рис. 2.10).

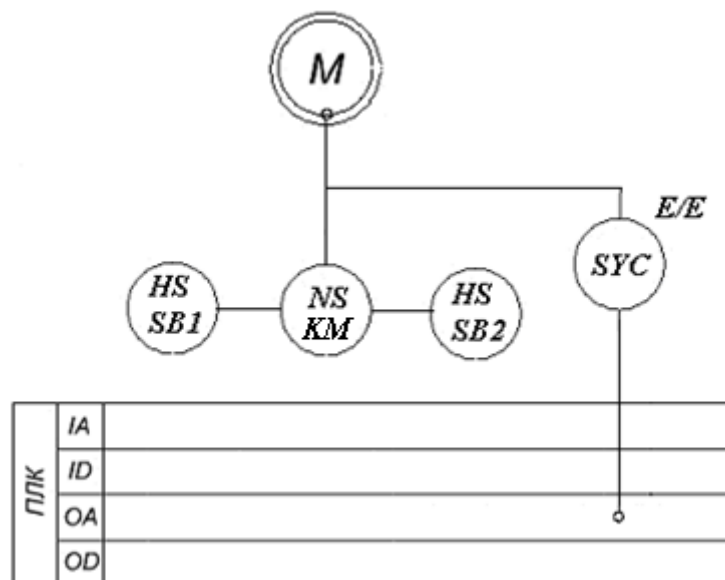


Рисунок 2.10 – Контур управления скоростью вращения двигателя насоса подпитки

Контур аналогичен для управления скоростью вращения двигателя насоса трубопровода подачи артезианской воды в теплообменник.

На основании локальных контуров построена функциональная схема автоматизации процесса (СУзт-61Ш 6.050201.07.А2).

### **3 ВЫБОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ, РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ И ЗАЩИТЫ И АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ**

Приняв во внимание особенности водогрейного котла КВГ-6,5-150, топологию объекта, и распределение функциональных элементов технологического процесса по предприятию, выбираем 2-х уровневую систему управления. Принципиально важными критериями выбора средств автоматизации (в частности нижнего уровня) выступают их точность, надёжность и защищённость. Точность измерений имеет наивысший приоритет. Для избегания конфликтов в протоколе RS-485 на одном объекте следует стараться использовать средства автоматизации, выпускаемые одним производителем.

#### **3.1 Нижний уровень автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП)**

Нижний уровень должен решать задачи сбора информации с датчиков технологических параметров, контроль исправности датчиков и линий связи, контроль параметров и сигнализация об отклонениях их за допустимые технологические пределы, а также передает их в АСУ верхнего уровня.

##### **3.1.1 Выбор датчиков**

###### **3.1.1.1 Датчики температуры**

В данном ТП производится контроль температуры теплоносителя в трубопроводах подачи его в котёл и выхода его с котла, выходных газов в трубопроводе их отвода, а также регулирование температуры ГВС в трубопроводе его подачи. Так как диапазон измеряемых температур невелик, будем использовать термопреобразователи сопротивления ДТС. Также следует отметить, что диапазон измеряемых температур в обеих точках практически одинаков, следовательно, применим один тип датчика для этих точек. Целесообразно совместно с термопреобразователем применять нормирующий преобразователь. Сравним характеристики термопреобразователей в таблице 3.1.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Таблица 3.1 - Основные технические характеристики термопреобразователей сопротивления ДТС

Овен ДТС	Овен ДТС	Наименование
XX5	XX4	Тип
50П 100П Pt100	50П 100П Pt100	Номинальная статическая характеристика (НСХ)
А; В; С	А; В; С	Класс допуска
+	-	Встроенный нормирующий преобразователь (НП) в 4...20 мА
-50...500 <sup>0</sup> С	-50...250 <sup>0</sup> С	Диапазон измеряемых температур
±0,005 Т	±0,0075 Т	Допустимые отклонения
568,92	546,17	Стоимость, грн

Для измерения горячей воды в трубопроводах подачи её в котёл и в теплообменник, выходных газов в трубопроводе их отвода и воды питьевой в трубопроводе её отвода наиболее подходит термопреобразователь сопротивления типа XX5, так как он имеет достаточный рабочий диапазон, приемлемую точность и встроенный нормирующий преобразователь.

Следовательно, для трубопроводов подач и отводов применим термопреобразователь сопротивления марки ОВЕН ДТС055-50П.В3.60/1.Ех-Т6.

Данный термометр сопротивления медный 50П, модель 055, класс допуска В, с трехпроводной схемой соединений, длина монтажной части 60 мм, длина кабельного вывода 1 м, во взрывозащищенном исполнении, температурный класс Т6 (температура контролируемой среды до 80 °С).

Внешний вид выбранного датчика температуры представлен на рисунке 3.1.

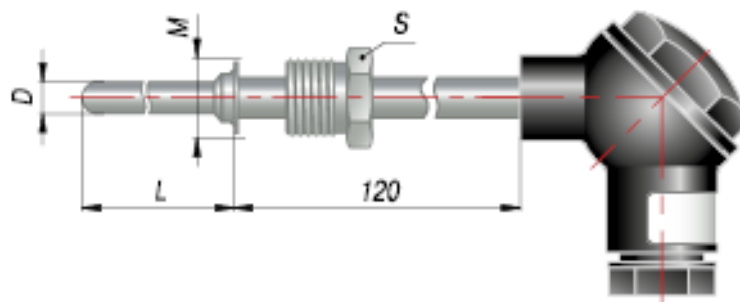


Рисунок 3.1 – Датчик температуры ОВЕН ДТС055-50П.В3.60/1.Ех-Т6

### 3.1.1.2 Датчик давления

В данном ТП производится регулирование давления теплоносителя на выходе с котла, газа природного в трубопроводе подачи его в котёл, в топке котла и атмосферного воздуха в трубопроводе подачи его в котёл. Так как диапазон измеряемого давления невелик, будем использовать датчик (преобразователь) давления. Для измерения давления проведем выбор между датчиком ОВЕН ПД100-ДИ0,0016-811-1 датчиком давления Сапфир-22-ДА-2030 с верхним пределом измерения 4 кПа. Сравним характеристики датчиков давления в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Основные технические характеристики датчиков (преобразователей) давления

Наименование	ОВЕН ПД100-ДИ0,0016-811-1	Сапфир-22-ДА-2030
Верхний предел измерений, МПа	0,0016	0,004
Выходной сигнал	4...20 мА	4 - 20/ 20 - 4; 0 - 5/5 - 0; 0 - 20/20 - 0
Основная приведенная погрешность	1 %	± 0,5 %

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Наименование	ОВЕН ПД100-ДИО,0016-811-1	Сапфир-22-ДА-2030
Степень защиты корпуса	IP65	IP 65
Штуцер для подключения	M20x1,5 манометрический	-
Цена, грн	1706,77	2776,34

Сравнив технические характеристики датчиков ОВЕН ПД100-ДИО,0016-811-1 и Сапфир-22-ДА-2030, можно сделать вывод, что оба датчика одинаково подходят. И, хотя датчик Сапфир-22-ДА-2030, имеет меньшую погрешность, предпочтение отдадим датчику ПД100-ДИО,0016-811-1, так как он имеет достаточную для данного измерения точность, практичность крепления и значительно меньшую стоимость – поэтому следует использовать датчик давления ОВЕН ПД100-ДИО,0016-811-1.

Внешний вид выбранного датчика давления представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Датчик давления ОВЕН ПД100-ДИО,0016-811-1

### 3.1.1.3 Датчики расхода

В данном ТП производится регулирование расхода в трубопроводах подачи теплоносителя и атмосферного воздуха в котёл, а также контроль расхода воды хим. очищенной в трубопроводе отвода её из фильтра и газа

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

природного в трубопроводе подачи его в котёл. Диапазон измеряемых расходов во всех точках практически одинаков, следовательно, применим один тип датчика для этих точек. Для измерения расхода возможно использование следующих датчиков:

#### **а) Датчик разности (перепада) давления САПФИР-22-ДД**

Преобразователь перепада давления Сапфир-22-ДД предназначен для непрерывного преобразования значения измеряемого перепада давления в унифицированный токовый выходной сигнал. Датчик перепада давления Сапфир-22-ДД может применяться для измерения расхода путём преобразования измеренного перепада давления на стандартном сужающем устройстве (диафрагме) в унифицированный выходной сигнал по квадратичному закону.

Основные характеристики датчика приведены в таблице 3.3.

#### **б) Преобразователь дифференциального давления ОВЕН ПД200**

Преобразователь данной модели предназначен для измерения перепада давления или уровня жидкости в сосудах под давлением или расхода среды на сужающих устройствах в системах автоматического регулирования и управления на основных и вторичных производствах в промышленности и ЖКХ: газораспределительных системах, узлах учета газа, объектах энергетики, «барабанах» котлов в котельных, парогенерирующих объектах, вентиляционных системах и т.п.

Основные характеристики датчика приведены в таблице 3.3.

					СУзт-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Таблица 3.3 - Основные технические характеристики датчиков разницы давления

ОВЕН ПД200-ДД2-155-0,25-2-Н	САПФИР-22-ДД-2450	Название датчика
Преобразователь дифференциального давления	Датчик разности (перепада) давлений	Функциональные особенности
2	2,5	Диапазон измерений, МПа
140	160	Верхний предел измеряемых расходов, м <sup>3</sup> /час
1 %	0,15 %	Основная погрешность
4-20	0-5, 4-20	Выходной сигнал, мА
13244,51	13932,23	Стоимость, грн

Сравнив технические характеристики датчиков, а также их стоимость, и приняв во внимание принцип действия можно сделать вывод, что датчик дифференциального давления ОВЕН ПД200-ДД2-155-0,25-2-Н подходит лучше, так как он имеет достаточную для данных измерений точность, но меньшую стоимость. Поэтому выбираем датчик давления ОВЕН ПД200-ДД2-155-0,25-2-Н.

Внешний вид датчика представлен на рисунке 3.3.





Рисунок 3.3 – Преобразователь дифференциального давления ОВЕН  
ПД200-ДД2-155-0,25-2-Н

В качестве стандартного сужающего устройства используем диафрагму бескамерную ДБС-10-50-Б, технические характеристики которой приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Основные технические характеристики диафрагмы бескамерной ДБС-10-50-Б

Наименование	Обозначение	Условное давление $P_u$ , МПа	Условные проходы $D_u$ , мм	Материал	Условное обозначение	Стоимость, грн
Диафрагма бескамерная	ДБС	до 10	50	Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632	Б	3150

Внешний вид диафрагмы представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Диафрагма бескамерная ДБС-10-50-Б

### 3.1.1.4 Датчик наличия пламени

Для избегания погасания пламени в газозажигательном устройстве в котле необходимо установить датчик наличия пламени. Возможно использование следующих устройств контроля наличия пламени:

#### а) Датчик контроля пламени Комел ПКП ФП-2

Датчик контроля пламени Комел ПКП ФП-2 предназначен для контроля наличия пламени при сгорании газообразного топлива и обеспечивает:

- контроль с помощью фоторезисторов ФР1-3 47кОм наличия пламени по двум независимым каналам;
- световую индикацию наличия пламени (светодиодные индикаторы "ПЛАМЯ")
- подачу выходных сигналов 4-20 мА;
- индикацию наличия напряжения питания (индикатор " $\sim$  220 В");
- срабатывания выходных каналов при отсутствии пламени в течение 1 секунды.

Стоимость датчика – 786 грн.

#### б) Датчик контроля пламени УКП-2М

Датчик контроля пламени УКП-2М предназначен для контроля наличия пламени, вызванного горением углеводородного сырья (природного газа, мазута, угля и т.п.) и выдачи сигналов о наличии пламени для систем автоматики технологического оборудования.

Контроль пламени осуществляется по наличию ультрафиолетового излучения, возникающего при горении углеводородного сырья.

Технические характеристики устройства УКП-3:

- расстояние от факела пламени до датчика, м - от 0,4 до 1,2;
- время задержки выдачи блоком сигнала о погасании пламени, с, не более – 1;
- напряжение постоянного тока на соединителях для подключения датчика пламени, В -  $300 \pm 25$ ;
- корпус датчика соответствует исполнению IP65 по ГОСТ 12997-84;

					СУзТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

- вид климатического исполнения – УХЛ, категория размещения - 2.1 по ГОСТ 15150-69.

- диапазон рабочих температур датчика от -30 до +75 °С, относительная влажность воздуха не более 75% при 30 °С без конденсации влаги.

Стоимость датчика – 834 грн.

Выбираем датчик контроля пламени Комел ПКП ФП-2, так как к нему не нужно применять дополнительный нормирующий преобразователь.

Внешний вид датчика изображен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Датчик контроля наличия пламени Комел ПКП ФП-2

### 3.1.2 Преобразователи

#### Преобразователи частоты

Необходимо поддерживать на определённом уровне скорость вращения двигателя циркулярного насоса, в качестве которого используются трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4A250S4У3 со следующими характеристиками:

$P_n=75$  кВт;  $n_n=1480$  об/мин;  $\eta_n=93\%$ ;  $\cos\varphi_n=0,9$ ;  $\alpha=7$ ;  $\lambda_{\max}=2,3$ ;  $\lambda_{\text{пуск}}=1,2$ ;  $J_{\text{дв}}=1,02$  кг·м<sup>2</sup>.

Процесс поддержания скорости движения на одном уровне осуществляется за счет регулирования частоты вращения двигателя средствами преобразователя частоты.

Преобразователь частоты будем выбирать по следующим условиям:

$$P_{пч} \geq P_{дв}; \quad U_{пч.н} = U_{дв.н}; \quad I_{пч.н} \approx I_{дв.н}.$$

По нижеприведённой формуле определяем номинальный ток двигателя

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

$$I_n = \frac{75000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,93} = 136,14 \text{ A}$$

Возможно использование следующих преобразователей частоты:

#### а) Преобразователь частоты ОВЕН ПЧВЗ-75К-В

В ПЧВЗ (рис. 3.6) возможности взаимодействия преобразователя с другими устройствами системы частотного управления приводом значительно расширены за счет увеличения количества дискретных и аналоговых выходов. ПЧВЗ имеют два релейных и два аналоговых токовых выхода, которые при необходимости могут использоваться как цифровые. Это расширяет возможности использования ПЧВ в системах каскадного управления насосами, а также улучшает организацию работы дополнительных систем автоматики.

В ПЧВЗ значительно расширены функциональные возможности, а именно режимы: «пожарный», «спящий» и контроль «обрыва ремня» с выполнением специальных алгоритмов работы приводов.



Рисунок 3.6 – Преобразователь частоты ОВЕН ПЧВЗ-75К-В

Помимо интерфейса Modbus ПЧВЗ поддерживает несколько дополнительных интерфейсов для более удобной интеграции в системы интеллектуального здания, а именно: BACNet, Metasys N, FLN Apogee. Заводские настройки «по умолчанию» позволяют пользователю с минимальными затратами опробовать работу привода в ручном и автоматическом режимах после ввода основных параметров АД.

Основные характеристики преобразователя частоты приведены в таблице 3.5.

### б) Преобразователи частоты серии FR-A846-02160 Mitsubishi Electric (рис. 3.7)

Основными особенностями данного ПЧ являются

- \* полный контроль и повышенная защита электродвигателя;
- \* запуск при вращающейся нагрузке;
- \* оптимальное согласование характеристики крутящего момента с характеристикой механизма;
- \* управление несколькими вентиляторами или насосами;
- \* локальное ПИД-регулирование и опции подключения к сети обмена данными;
- \* экономия энергии свыше 60% благодаря технологии ОЕС;
- \* большой срок службы при упрощенном техобслуживании.



Рисунок 3.7 – Преобразователь частоты FR-A846-02160 Mitsubishi Electric.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Основные характеристики преобразователя частоты приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Основные характеристики преобразователей частоты

Изготовитель	ОВЕН	Mitsubishi Electric
Наименование	ПЧВ3-75К-В	FR-A846-02160
Диапазон мощности, кВт	75	75
Номинальный ток, А	140	144
Питание	3-фазное 380-480В	3-фазное 380-480В
Выходная частота	0...200 Гц	0...400 Гц
Цена	7421 грн	12570 грн

Сравнив технические характеристики преобразователей частоты, можно сделать вывод, что оба преобразователя одинаково подходят. И хотя преобразователь FR-A846 имеет большую выходную частоту, предпочтение отдано преобразователю ПЧВ3, так как он имеет достаточный диапазон выходной частоты для данного измерения, и значительно меньшую стоимость – поэтому следует использовать преобразователь частоты ПЧВ3-75К-В.

Аналогичные действия выполняем для двигателей подпитки, в качестве которых используются трёхфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором 4А80В4У3 со следующими характеристиками:

$P_n=1,5$  кВт;  $n_n=1415$  об/мин;  $\eta_n=77\%$ ;  $\cos\varphi_n=0,83$ ;  $\alpha=5$ ;  $\lambda_{max}=2,2$ ;  $\lambda_{пуск}=2$ ;  
 $J_{дв}=33,3 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>2</sup>.

$$I_n = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,77} = 3,57 \text{ А}$$

Для данных двигателей выбираем модификацию ПЧВ3 с мощностью  $P_{пч}=2$  кВт,  $I_{пч n}=3,7$  А, а именно ПЧВ3-2К2-В. Остальные характеристик данного ПЧ совпадают с аналогичными для ПЧВ3-75К-В.

Аналогичные действия выполняем для двигателя дутьевого вентилятора, в качестве которого используются трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4А180S4У3 со следующими характеристиками:

$P_n=22$  кВт;  $n_n=1470$  об/мин;  $\eta_n=90\%$ ;  $\cos\varphi_n=0,9$ ;  $\alpha=6,5$ ;  $\lambda_{\max}=2,3$ ;  $\lambda_{\text{пуск}}=1,4$ ;  
 $J_{\text{дв}}=19 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>2</sup>.

$$I_n = \frac{22000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 41,27 \text{ А}$$

Для данного двигателя выбираем модификацию ПЧВЗ с мощностью  $P_{\text{пч}}=22$  кВт,  $I_{\text{пч н}}=42,5$  А, а именно ПЧВЗ-22К-В. Остальные характеристик данного ПЧ совпадают с аналогичными для ПЧВЗ-75К-В.

Аналогичные действия выполняем для двигателя дымохода, в качестве которого используются трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4А160S4У3 со следующими характеристиками:

$P_n=15$  кВт;  $n_n=1465$  об/мин;  $\eta_n=88,5\%$ ;  $\cos\varphi_n=0,88$ ;  $\alpha=7$ ;  $\lambda_{\max}=2,3$ ;  $\lambda_{\text{пуск}}=1,4$ ;  
 $J_{\text{дв}}=10,3 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>2</sup>.

$$I_n = \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,885} = 29,26 \text{ А}$$

Для данного двигателя выбираем модификацию ПЧВЗ с мощностью  $P_{\text{пч}}=15$  кВт,  $I_{\text{пч н}}=31$  А, а именно ПЧВЗ-15К-В. Остальные характеристик данного ПЧ совпадают с аналогичными для ПЧВЗ-75К-В.

### 3.1.3 Исполнительные механизмы

#### 3.1.3.1 Регулирующие клапаны

Для управления давлениями и расходами газа углеводородного, дыма (выходных газов), воды горячей, воды питьевой и воздуха в трубопроводах их подач и отводов необходимо выбрать исполнительные механизмы, которые бы удовлетворяли условиям взрывозащищенности.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

В качестве исполнительного механизма могут быть использованы:

**а) Механизм исполнительный пневматический МИП-320 с пневматическим аналоговым входным сигналом**

Предназначен для перемещения регулирующих и запорно-регулирующих органов для точного регулирования нейтральных и агрессивных жидкостей и газов в системах автоматического и дистанционного управления.

Основные характеристики исполнительного механизма приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Основные характеристики МИП-320

Тип	МИП-320
Рабочая среда	Сжатый воздух
Условный ход (типоразмер), мм	100, 200, 320, 400
Давление питания	от 0,4...1 МПа
Входной сигнал	0,02...0,1 МПа

**б) Регулирующий поршневой пневмоклапан Burkert 2300 (рис. 3.8)**

2/2-ходовой регулирующий поршневой пневмоклапан Burkert 2300 предназначен для точного регулирования нейтральных и агрессивных жидкостей и сыпучих материалов в трубопроводах с сечением Ду 13- 50 мм. Регулирующий пневмоклапан 2300 поставляется с фланцевым, резьбовым или сварным присоединениями. Благодаря параболическому конусу клапан имеет прекрасные регулирующие характеристики. Отличительной особенностью регулирующего пневмоклапана 2300 состоит в конструкции пневмопривода из нержавеющей стали. Материал уплотнения - сталь/сталь или PTFE/сталь. Температура рабочей среды: -10-+180<sup>0</sup>С.





Рисунок 3.8 – Пневмоклапан Burkert 2300

Стоимость пневмоклапана – 37516,31 грн.

Для трубопровода подачи горячей воды наиболее подходит модификация ИО 2301-А-50-PTFE-VA, для трубопровода подачи воды артезианской - модификация ИО 2301-А-20-PTFE-VA, для трубопровода подачи газа углеводородного - модификация ИО 2301-В-20-PTFE-VA.

Выбираем пневмоклапан Burkert 2300, так как он более удобен в использовании.

Для пневмоклапана Burkert 2300 применяем электропневматический позиционер Burkert 8696.

Цифровой электропневматический позиционер Burkert 8696 (рис. 3.9) разработан специально для регулирующих пневмоклапанов Burkert 23XX/2103 с приводом Ø 50 мм. Позиционер 8696 изготовлен из нержавеющей стали и полисульфона, что позволяет использовать его в СІР-процессах. Позиционер 8696 не имеет индикации. Настройка основных параметров при помощи ДІП-переключателей. Напряжение питания 24В постоянного тока, входной сигнал 4-20мА или 0-10В.



Рисунок 3.9 – Электропневматический позиционер Burkert 8696

Стоимость позиционера – 10916,67 грн.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

### 3.1.3.2 Блок управления зажиганием и контролем пламени газозажигательного устройства

Для управления зажиганием и контролем пламени газозажигательного устройства возможно использование следующих модулей:

#### а) Блок управления и сигнализации КотБУС-1м

Блок управления и сигнализации является основной составной частью комплекта котельной автоматики и предназначен для:

- управления водогрейным котлом, работающим с горелкой газовой блочным, соответствующие ГОСТ 21204-83, ГОСТ 27824-88;
- обеспечение работы горелки с регулирующим органом подачи топливной смеси (механически соединенными регулирующими органами подачи газа и воздуха), руководствуется электродвигателем с механизмом электрическим однооборотным или электроклапана и электромагнитом;
- регулирования температуры воды на выходе котла;
- обеспечение позиционного или ПИД-закону регулирования тепловой мощности горелки.

БУС соответствует ТУ У 33.3-19399186-003-2010 и обеспечивает выполнение следующих функций:

- автоматическое управление и защиту в процессе запуска, работы и остановки котла;
- индикацию текущего состояния БУС, датчиков, сигналов управления на исполнительные устройства;
- защита горелки и котла с одновременным включением сигнализации в случае, если:
  - давление топлива высокое;
  - давление топлива низкое;
  - давление воздуха перед горелкой низкое;
  - давление газов в топке высокий (взрыв газов);
  - давление дымовых газов высокое;

					СУзТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

- отсутствует пламя запальника или горелки;
- превышено пороговое значение температуры воды на выходе котла;
- давление воды высокий;
- давление воды низкий;
- недостаточный проток воды;
- неисправный БУС;
- аварийно отключен вентилятор горелки;
- неплотно прилегает горелка к котлу (горелка не закрыта);
- общекотельные параметры не в норме (загазованность, пожар, затопление и т.д.);
- неисправный РО топлива;
- блокировки запуска горелки при:
- неисправностях БУС, выявленных в процессе тестирования;
- ненадлежащем состоянии датчиков перед пуском;
- негерметичности электромагнитных клапанов газопровода горелки;
- наличии "ненастоящего" пламени;
- автоматическое определение алгоритма работы, признаки которого заданные переключателями на внешних разъемах БУС;
- настройку исполнительных устройств и датчиков;
- сигнализацию рабочую и аварийную (звуковую и световую)
- диалоговый ввод - вывод информации для управления работой БУС и индикации состояния БУС, горелки и котла;
- выходной сигнал – 4-20 мА или 0-10 В.

Стоимость блока – 4950 грн.

#### **б) Блок управления и сигнализации КотБУС-1-01м - G**

БУС предназначен для управления водогрейным котлом, который работает с горелкой газовой блочным со своей автоматикой (типа GIERSCH, RIELLO).

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Особенности блока:

- блок не руководит отдельными исполнительными устройствами горелки, а запуск горелки, регулирования тепловой мощности выполняется подачей соответствующих сигналов с блока (замыканием «сухих» контактов реле автобуса);
- введена дополнительно функция управления дымососов котла;
- из программы автобуса исключена обработка ненужных горелки сигналов датчиков пламени, герметичности, положения регулирующего органа подачи газа.

Стоимость блока – 5313 грн.

Выбираем блок управления и сигнализации КотБУС-1м, так как к нему не нужно применять дополнительный нормирующий преобразователь.

Внешний вид блока изображен на рисунке 3.10.



Рисунок 3.10 – Блок управления и сигнализации КотБУС-1м

### 3.2 Верхний уровень автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП)

Верхний уровень АСУ выполняет функции диалогового взаимодействия с оператором, включающие в себя отображение, накопление и анализ данных.

Основные функции управления, реализуются на основе подбора необходимых технических средств. Главной задачей выбора технических средств является проверка сопряжения каналов управления контроллера с приводами.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

На основании изложенных данных выдвинем требования к портам контроллера (табл. 3.7).

Таблица 3.7 - Требования к портам контроллеру

Сигналы	Количество сигналов
Аналоговые входные	13
Дискретные входные	0
Аналоговые выходные	9
Дискретные выходные	3

### 3.2.1 Выбор контроллера

Для реализации управления данным процессом необходимо применить контроллер с модулями расширения.

В качестве контроллера могут быть использованы:

#### а) Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 160

ПЛК 160 предназначен для создания систем управления малыми и средними объектами.

Построение системы управления и диспетчеризации на базе ОВЕН ПЛК возможно как с помощью проводных средств – используя встроенные интерфейсы Ethernet, RS-232, RS-485, так и с помощью беспроводных средств – используя радио, GSM, ADSL модемы.

#### Конструктивные особенности ОВЕН ПЛК 160

Контроллер выполнен в компактном DIN-реечном корпусе.

Расширение количества точек ввода\ вывода осуществляется путем подключения внешних модулей ввода\ вывода по любому из встроенных интерфейсов.

## Вычислительные ресурсы ОВЕН ПЛК 160

В контроллере заложены мощные вычислительные ресурсы при отсутствии операционной системы:

- высокопроизводительный процессор RISC архитектуры ARM9, с частотой 180МГц компании Atmel;
- большой объем оперативной памяти – 8МБ;
- большой объем постоянной памяти – Flash память, 4МБ;
- объем энергонезависимой памяти, для хранения переменных – до 16КБ.

Внешний вид ПЛК представлен на рисунке 3.11.



Рисунок 3.11 – ОВЕН ПЛК 160

## Электрические параметры

- Два варианта питания для каждого контроллера:
- переменный ток: (90-265)В, (47...63)Гц;
- постоянный ток: (18-29)В.
- Небольшая потребляемая мощность до 10Вт.
- Дискретные входы - 16
- Дискретные выходы - 12
- Аналоговые входы - 8
- Аналоговые выходы - 4
- Все дискретные входы контроллера измеряют сигнал 24В.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- Тип сигнала может быть как n-p-n, так и p-n-p.
- Дискретные выходы типа: Р - реле.

«Быстрые» аналоговые входы, для подключения унифицированных датчиков тока, напряжения. Дискретные выходы контроллеров данной линейки могут быть настроены на выдачу ШИМ, или генератора с высокой точностью.

Стоимость ПЛК – 11105,36 грн.

## **Б) ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР SIMATIC S7-1200**

Программируемый контроллер SIMATIC S7-1200 производства SIEMENS – это базовый контроллер для решения самых разных задач автоматизации малого и среднего уровня. Этот контроллер имеет модульную конструкцию и универсальное назначение. Он способен работать в реальном масштабе времени, может использоваться для построения относительно простых узлов локальной автоматики или узлов комплексных систем автоматического управления, поддерживающих интенсивный коммуникационный обмен данными через сети Industrial Ethernet/PROFINET, а также PtP (Point-to-Point) соединения.

Программируемый контроллер S7-1200 имеет компактные пластиковые корпуса со степенью защиты IP20, может монтироваться на стандартную 35 мм профильную шину DIN или на монтажную плату и работает в диапазоне температур от 0 до +50 °С. Он способен обслуживать 24 дискретных и 12 аналоговых канала ввода-вывода.

### **Центральный процессор**

Центральный процессор обладает высокой производительностью и обеспечивает поддержку широкого набора функций:

- Программирование на языках LAD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram) и SCL (Structured Control Language), исчерпывающий набор команд.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

- Высокое быстродействие, время выполнения логической операции не превышает 0.1 мкс.
- Встроенная загружаемая память объемом до 4 Мбайт, расширяемая картой памяти емкостью до 4 Гбайт.
- Рабочая память емкостью до 150 Кбайт.
- Энергонезависимая память емкостью 10 Кбайт для необслуживаемого сохранения данных при перебоях в питании контроллера.
- Встроенные дискретные входы универсального назначения, позволяющие вводить потенциальные или импульсные сигналы.
- Встроенные аппаратные часы реального времени с запасом хода при перебоях в питании 20 дней.
- Встроенные скоростные счетчики с частотой следования входных сигналов до 1 МГц.
- Встроенные импульсные выходы с частотой следования импульсов до 1 МГц (только в CPU с транзисторными выходами).
- Поддержка функций ПИД регулирования.
- Поддержка функций управления перемещением в соответствии с требованиями стандарта PLCopen.
- Поддержка функций обновления операционной системы.
- Встроенный WEB – сервер, позволяющий выполнять дистанционную диагностику программируемых контроллеров с использованием стандартного Web браузера.
- Парольная защита программы пользователя.
- Коммуникационные модули CM 12xx и CP 12xx для подключения контроллера к сети Industrial Ethernet, PROFIBUS DP, обмена данными через последовательные каналы связи, мобильную сеть GSM, каналы связи систем телеуправления.

Внешний вид ПЛК представлен на рисунке 3.12.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48





Рисунок 3.12 –ПЛК SIMATIC S7-1200

Стоимость ПЛК – 12906,36 грн.

### **в) Программируемый логический контроллер VIPA System 200V**

VIPA System 200V - контроллер для решения задач центральной и распределенной системы автоматизации, где он может выступать в качестве как "ведомых" так и "ведущих" устройств. Он с успехом может использоваться в системах промышленной автоматизации с повышенными требованиями к надежности оборудования и к временным параметрам контуров управления. CPU совместимы по набору инструкций с популярными контроллерами SIMATIC S7-300 и могут программироваться как с помощью ПО WinPLC7 (VIPA), так и с помощью STEP7 (Siemens).

VIPA System 200V построен по модульному принципу. Это значит, что пользователь имеет возможность оптимально подбирать состав модулей для решения своей задачи и гибко модифицировать его при расширении или при изменении требований к системе. Он обладают хорошим временем реакции и подходит для управления производствами периодического, непрерывного и непрерывно-периодического типа.

Основные характеристики программируемого логического контроллера VIPA System 200V представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Основные характеристики VIPA System 200V

Количество входов/выходов	дискретные - 12 I/O аналоговые - 8 I/O
Организация	модульная конструкция (до 32 модулей расширения)
Объем памяти	32...128кБ
Время выполнения операции	с битами — 0,25 мкс со словами — 1,2 мкс
Таймеры/Счетчики	128/256
Программирование	WinPLC7 от VIPA / STEP7 от Siemens
Функциональные блоки/функции/блоки данных	1024/1024/2047
Интерфейс	MP2I (MPI+PPI)
Поддержка сетей	ProfibusDP slave

Стоимость ПЛК – 9696,52 грн.

Внешний вид ПЛК представлен на рисунке 3.13.



Рисунок 3.13 – ПЛК VIPA System 200V

Все вышепредставленные контроллеры одинаково хорошо подходят для поставленных задач и требований, но на нижнем уровне автоматизации преимущественно были выбраны датчики фирмы ОВЕН, поэтому для избегания конфликтов в протоколе RS 485 останавливаем свой выбор на ОВЕН ПЛК 160.

Так как встроенных аналоговых входов не достаточно, то существует необходимость использования дополнительного модуля ввода аналоговых сигналов. Также необходимыми компонентами являются панель оператора и блок питания.

### 3.2.2 Модуль ввода аналогового сигнала

Прибор предназначен для преобразования измеряемых аналоговых сигналов в цифровой код и передачи результатов измерения в сеть RS-485. Предназначается для построения автоматизированных систем сбора данных в различных областях промышленности, сельского и коммунального хозяйства, на транспорте.

Аналоговые входы прибора могут работать в следующих режимах:

- измерение тока в диапазоне от 4 до 20 мА;
- измерение тока в диапазоне от 0 до 20 мА;
- измерение тока в диапазоне от 0 до 5 мА;
- измерение напряжения в диапазоне от 0 до 10 В.

Прибор работает в сети RS-485 по протоколам ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON. Прибор имеет следующие группы гальванически изолированных цепей:

- цепи питания прибора;
- цепи интерфейса RS-485;
- цепи выхода встроенного источника постоянного напряжения 24 В.

Электрическая прочность изоляции всех групп цепей, исключая группу цепей питания, относительно друг друга – 750 В, относительно группы цепей питания – 3000 В.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Прибор не является Мастером сети, поэтому сеть RS-485 должна иметь Мастер сети, например, ПК с запущенной на нем SCADA-системой, контроллер или регулятор.

К прибору предоставляется бесплатный OPC-драйвер и библиотека стандарта WIN DLL, которые рекомендуется использовать при подключении прибора к SCADA-системам и контроллерам других производителей.

Конфигурирование прибора осуществляется на ПК через адаптер интерфейса RS-485/RS-232 или RS-485/USB (например, ОВЕН АС3-М или АС4) с помощью программы «Конфигуратор М110», входящей в комплект поставки.

Прибор отвечает требованиям по устойчивости к воздействию помех в соответствии с ГОСТ Р 51522 для оборудования класса А.

Изображение прибора представлено на рисунке 3.14.



Рисунок 3.14 – ОВЕН МВ110-220.8АС

Основные технические характеристики прибора ОВЕН МВ110 приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 - Основные технические характеристики ОВЕН МВ110-24.8АС

Наименование	Значение
Напряжение питания	24 В постоянного тока
Потребляемая мощность, ВА, не более	8

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Наименование	Значение
Предел основной приведенной погрешности, %	0,25
Предел дополнительной приведенной погрешности, вызванной изменением температуры на 10 °С в пределах рабочего диапазона температур, %	0,12
Разрешающая способность: – для диапазонов токов от 4 до 20 мА и от 0 до 20 мА, мкА не более – для диапазона тока от 0 до 5 мА, мкА не более – для диапазона напряжения от 1 до 10 В, мВ, не более	4 1 2 2
Количество аналоговых каналов измерения	8
Входное сопротивление в режиме измерения тока от 0 до 20 мА и от 4 до 20 мА, Ом	от 130 до 250
Входное сопротивление в режиме измерения напряжения от 0 до 10 В, кОм, не менее	200
Период обновления результатов измерения по каждому каналу, мс	$5 \pm 2 \%$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Наименование	Значение
Выходное напряжение встроенного источника питания, В	24 ± 3
Максимальный ток нагрузки встроенного источника питания, А	0,18
Интерфейс связи с мастером сети	RS-485
Максимальное количество приборов, одновременно подключаемых к сети RS-485, не более	32
Максимальная скорость обмена по интерфейсу RS-485, бит/с	115200
Степень защиты корпуса	IP20
Габаритные размеры прибора, мм	(63x110x73)±1
Масса прибора, кг, не более	0,5
Средний срок службы, лет	8
Цена, грн	2708,07

### 3.2.3 Модуль вывода аналогового сигнала

Модуль аналогового вывода ОВЕН МУ110-8 предназначен для преобразования цифровых сигналов, передаваемых по сети RS-485, в аналоговые сигналы диапазоном от 4 до 20 мА и в аналоговые сигналы диапазоном от 0 до 10 В для управления исполнительными механизмами или для передачи сигналов приборам регистрации и самописцам. МУ110 работает в сети RS-485 по протоколам ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON.

МУ110 не является Мастером сети, поэтому сеть RS-485 должна иметь Мастер сети, например, ПК с запущенной на нем SCADA-системой, контроллер или регулятор. В качестве мастера сети могут использоваться приборы ОВЕН ТРМ151, ТРМ133, контроллеры ОВЕН ПЛК и т.п. К МУ110 предоставляется бесплатный OPC-драйвер и библиотека стандарта WIN DLL, которые рекомендуется использовать при подключении прибора к SCADA-системам и контроллерам других производителей.

Конфигурирование МУ110 осуществляется с помощью ПК через адаптер интерфейса RS-485/RS-232 или RS-485/USB (например, ОВЕН АС3-М или АС4, соответственно) с помощью программы «Конфигуратор М110», входящей в комплект поставки.

Прибор отвечает требованиям по устойчивости к воздействию помех в соответствии с ГОСТ Р 51522 для оборудования класса А.

Основные технические характеристики прибора ОВЕН МВ110-24.8И приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 - Основные технические характеристики ОВЕН МУ110-24.8И

Наименование	Значение
Напряжение питания	24 В постоянного тока
Потребляемая мощность, ВА, не более	6
Количество аналоговых выходных элементов	8
Тип аналоговых выходных элементов	ЦАП «параметр – ток 4...20 мА»
Основная приведенная погрешность ЦАП, %, не более	± 0,5
Соппротивление нагрузки, подключаемое к выходу, Ом	0...1300

Наименование	Значение
Интерфейс связи с мастером сети	RS-485
Максимальное количество приборов, одновременно подключаемых к сети RS-485, не более	32
Максимальная скорость обмена по интерфейсу RS-485, бит/с	115200
Степень защиты корпуса	IP20
Габаритные размеры прибора, мм	(63x110x73) $\pm$ 1
Масса прибора, кг, не более	0,5
Средний срок службы, лет	8
Цена с доставкой	4020 грн

### 3.2.4 Графическая панель оператора с сенсорным управлением

Для визуализации прохождения ТП, отображения текущих параметров, задания входных величин и индикации канала аварии применим сенсорную графическую панель оператора ОВЕН СП270 (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – ОВЕН СП270



Основные технические характеристики ОВЕН СП270 приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 - Основные технические характеристики ОВЕН СП270

Напряжение питания постоянного тока	22...26 В
Потребляемый ток	не более 0,150 А
Потребляемая мощность	не более 30 Вт (номинальное потребление 5 Вт)
Используемые интерфейсы связи	RS-232 (2 шт.), RS-485 (1 шт.)
Тип интерфейса для связи с ПЛК	RS-232, RS-485
Тип интерфейса для загрузки проекта из ПК	RS-232
Скорость передачи данных по интерфейсам	4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 115200 бит/с
Память программ (Flash-RAM)	4 Мбайт
Память данных (SD RAM)	4 кбайт
Конструктивное исполнение	корпус щитового крепления
Габаритные размеры	(200x148x44,4) ±1 мм
Степень защиты корпуса со стороны лицевой панели	IP65
Масса (с элементами крепления)	не более 0,78 кг
Тип дисплея, диагональ	цветной (TFT), 178 мм (7")
Количество отображаемых цветов	256

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Разрешение дисплея	480x234 пикселя
Рабочая зона дисплея (ширина x высота)	156x88 мм
Цена, грн	8192,48

### 3.2.5 Блок питания

Для питания модулей ввода, вывода, ПЛК и панели оператора выберем блок питания (табл. 3.12).

Таблица 3.12 – Перечень потребителей

Наименование потребителя	Потребляемая мощность, Вт
МВ110-8А	6
ПЛК 160	25
МУ110-6У	6
МУ110-8Р	6
СП270	5
Итого:	48

Применим одноканальный блок питания ОВЕН БП60Б-Д4 (рис. 3.16) мощностью 60 Ватт.



Рисунок 3.16 – Одноканальный блок питания ОВЕН БП60Б-Д4

Основные технические характеристики ОВЕН БП60Б-Д4 приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Основные технические характеристики ОВЕН БП60Б-Д4

Частота входного переменного напряжения:	47...63 Гц
Порог срабатывания защиты по току:	не более 1,5 I <sub>max</sub>
Максимальная выходная мощность:	60 Вт
Рабочий диапазон температур:	-20...+50 °С
Уровень радиопомех по ГОСТ Р 51527 :	группа С
Выходное напряжение:	24 ± 1 % В
Амплитуда пульсации выходного напряжения:	120Мв
Макс. ток нагрузки I <sub>max</sub> :	2,5 А
Ток потребления:	1,03...0,41 А
Цена, грн	1115,09

### 3.3 Разработка системы сигнализации блокировки

Для осуществления технологической сигнализации воспользуемся блоком технологической сигнализации ПТС-64.

Блок технологической сигнализации предназначен для обобщенной и поканальной сигнализации параметров технологических процессов, значения которых в процессе работы превышают те или иные технологические уставки. Используется в локальных и комплексных системах промышленной автоматизации производственных процессов в схемах технологической и аварийной сигнализации.

Прибор технологической сигнализации ПТС-64 состоит из одного блока ПТС-2 (ведущее устройство или прибор обобщенной сигнализации) и одного или нескольких блоков ПТС-8 (ведомое устройство или прибор поканальной сигнализации).

### **Функциональные возможности**

Выполняемые функции:

Светодиодная индикация срабатывания поканальной (ПТС-8) и обобщенной сигнализации (ПТС-2);

Подключение внешних светодиодных индикаторов (через клеммный соединитель или разъем ГТС-Б);

Выбор типа сигнала сигнализации - статический сигнал (постоянное свечение) или динамический с частотой F1 или F2. Использование F1 и F2 направлено на два различных (по тону, силе звучания) звуковых устройства;

Квитирование (снятие) сигнализации производится с помощью кнопки, подключаемой к клеммам ПТС-2;

Проверка (тестирование) сигнализации производится с помощью кнопки, подключаемой к клеммам ПТС-2.

Устройство ПТС-2 (ведущее) содержит:

Два независимых канала сигнализации переключающими контактами частоты F1 и F2;

Задатчик частоты сигналов сигнализации F1 и F2;

Узел квитирования (снятия) сигнализации;

Узел проверки сигнализации;

Устройство ПТС-8 (ведомое) содержит:

Устройство ПТС-8 (ведомое) содержит:

Восемь независимых каналов сигнализации с возможностью поканального выбора сигнала сигнализации и номера канала срабатывания сигнализации ПТС-2;

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Подключения прибора технологической сигнализации ПТС-64 осуществляется следующим образом. К ведущему устройству ПТС-2 подключаются от одного до восьми ведомых устройств ПТС-8. Схема подключения прибора представлена на рис. 3.17.

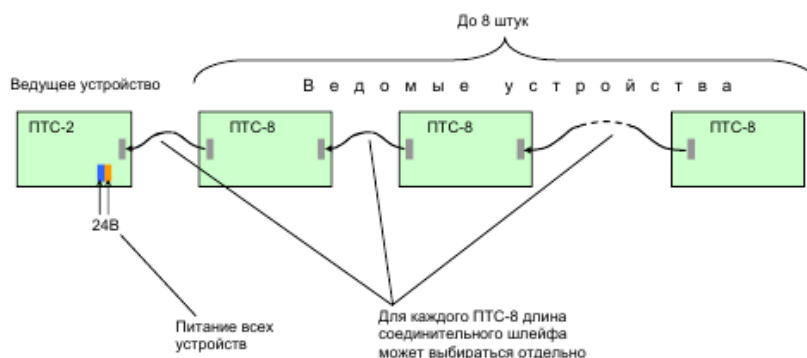


Рисунок 3.17 – Схема подключения прибора ПТС 64

Внешний вид прибора технологической сигнализации ПТС-64 представлен на рисунке 3.18.

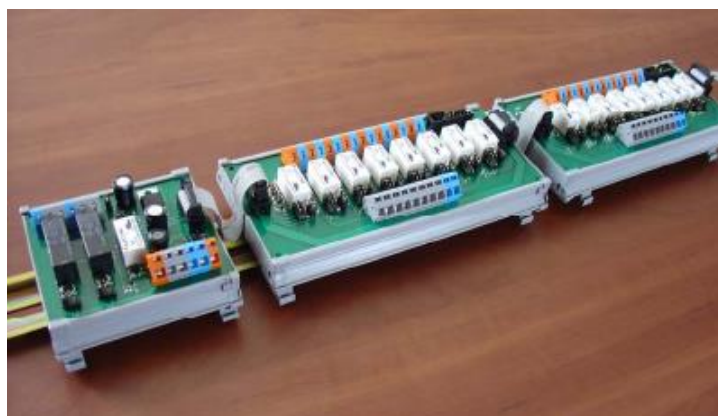


Рисунок 3.18 - Внешний вид прибора технологической сигнализации ПТС-64

Стоимость ПТС-64 – 744 грн.

### 3.4 Разработка алгоритмов управления

В общем виде система работает по алгоритму, представленному на рисунке 3.19.

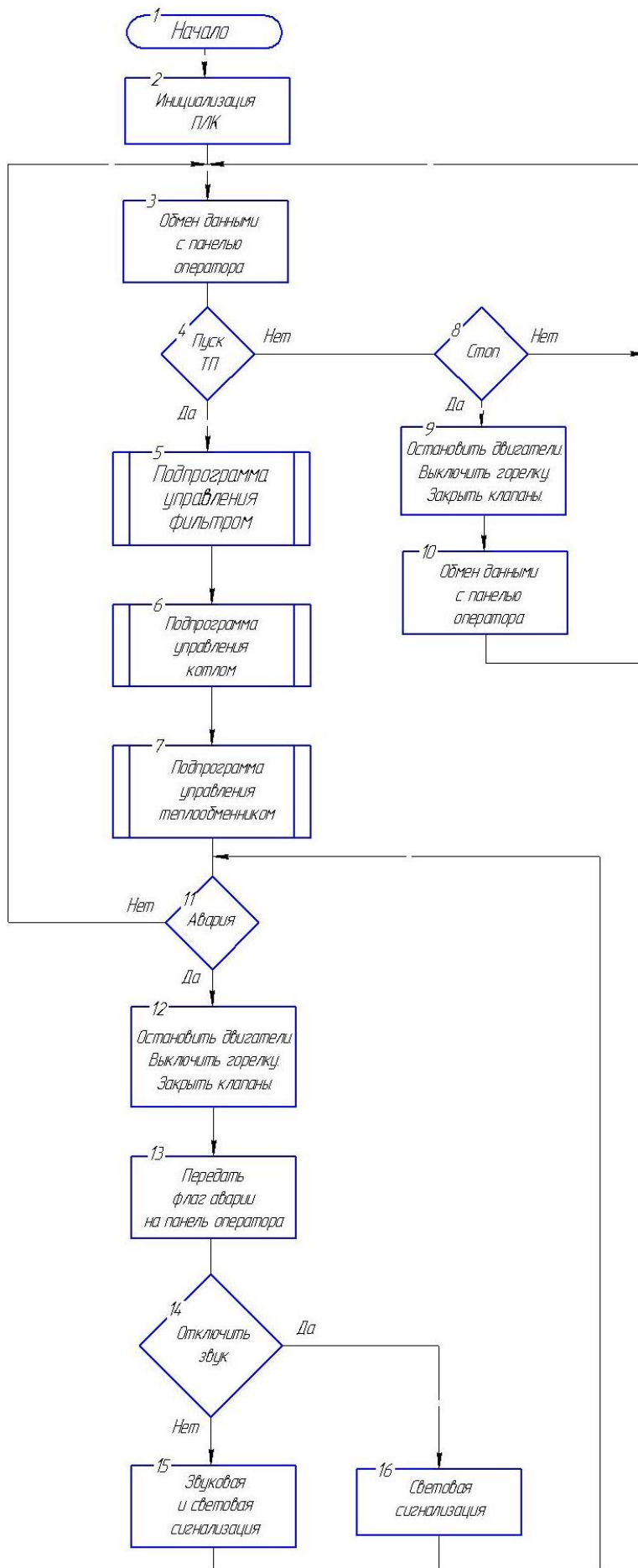


Рисунок 3.19 – Общий алгоритм работы системы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Алгоритмы отдельных подпрограмм управления приведены на рисунках 3.20-3.22.

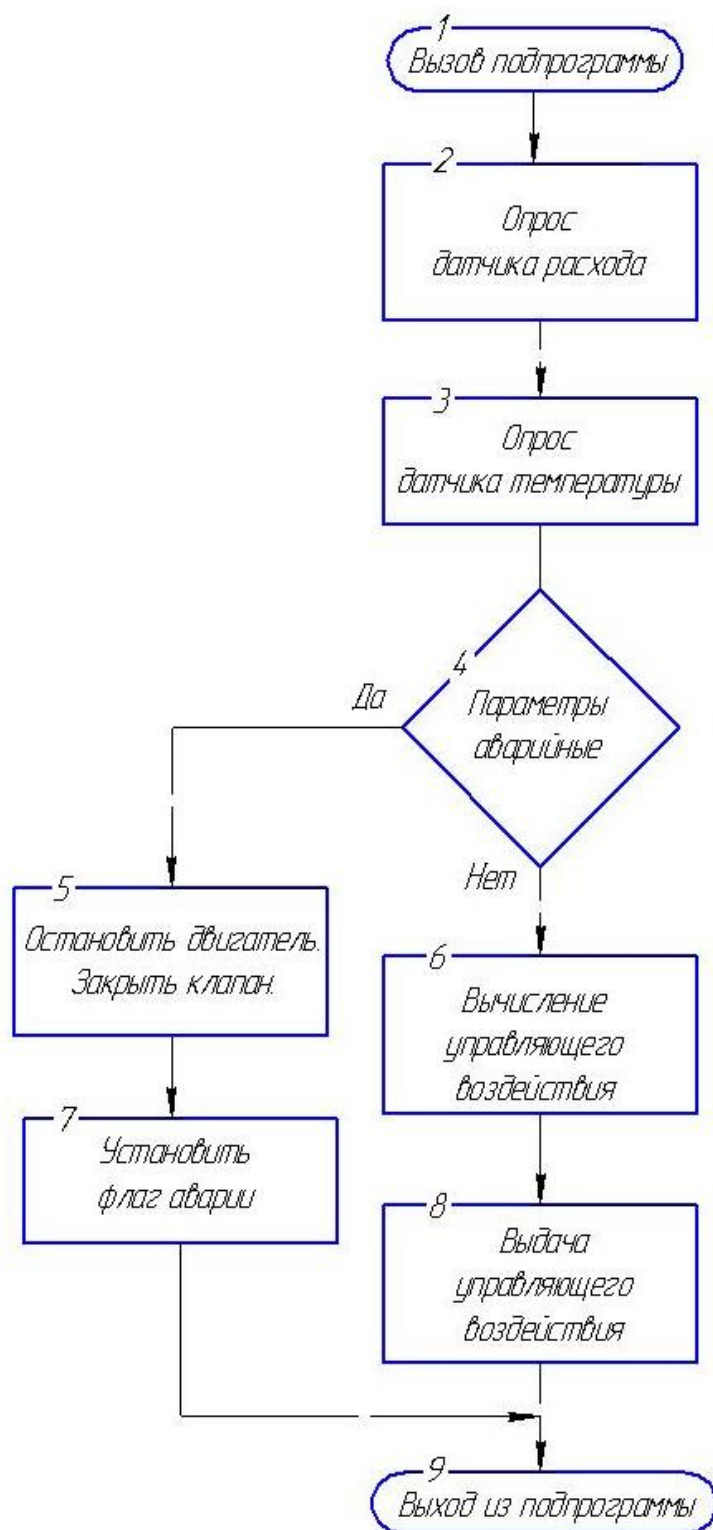


Рисунок 3.20 – Подпрограмма управления фильтром

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

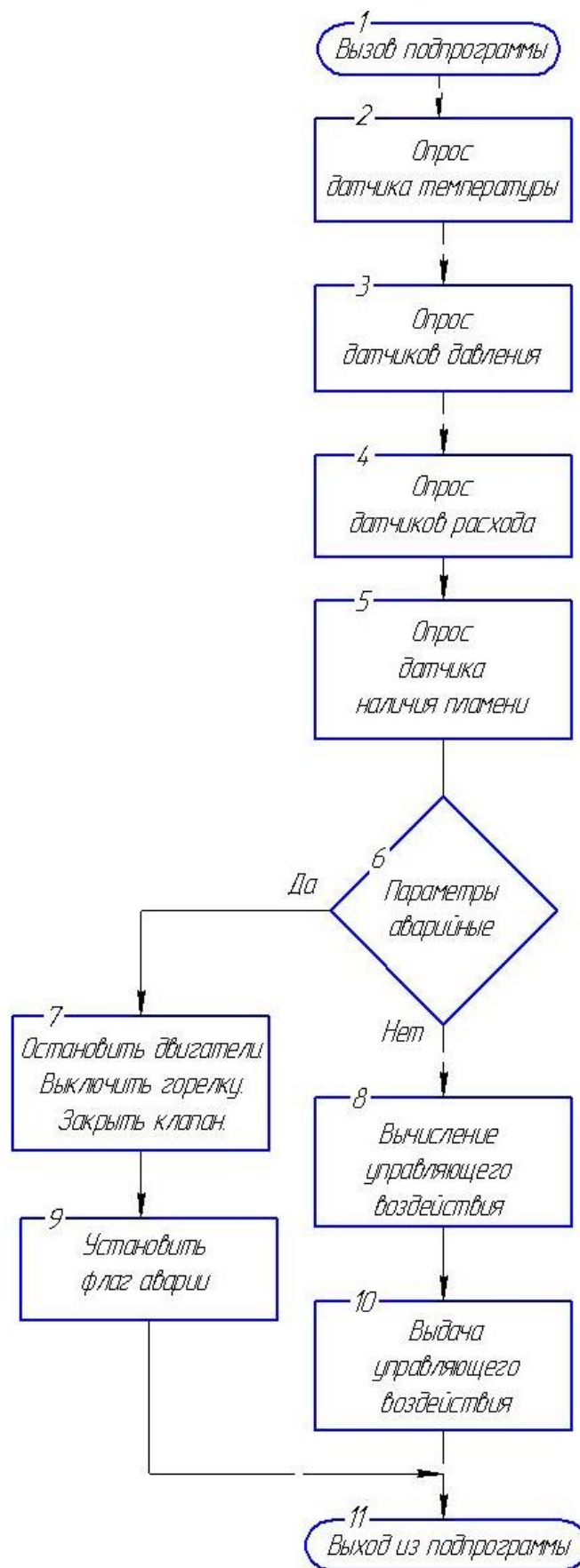


Рисунок 3.21 – Подпрограмма управления котлом

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



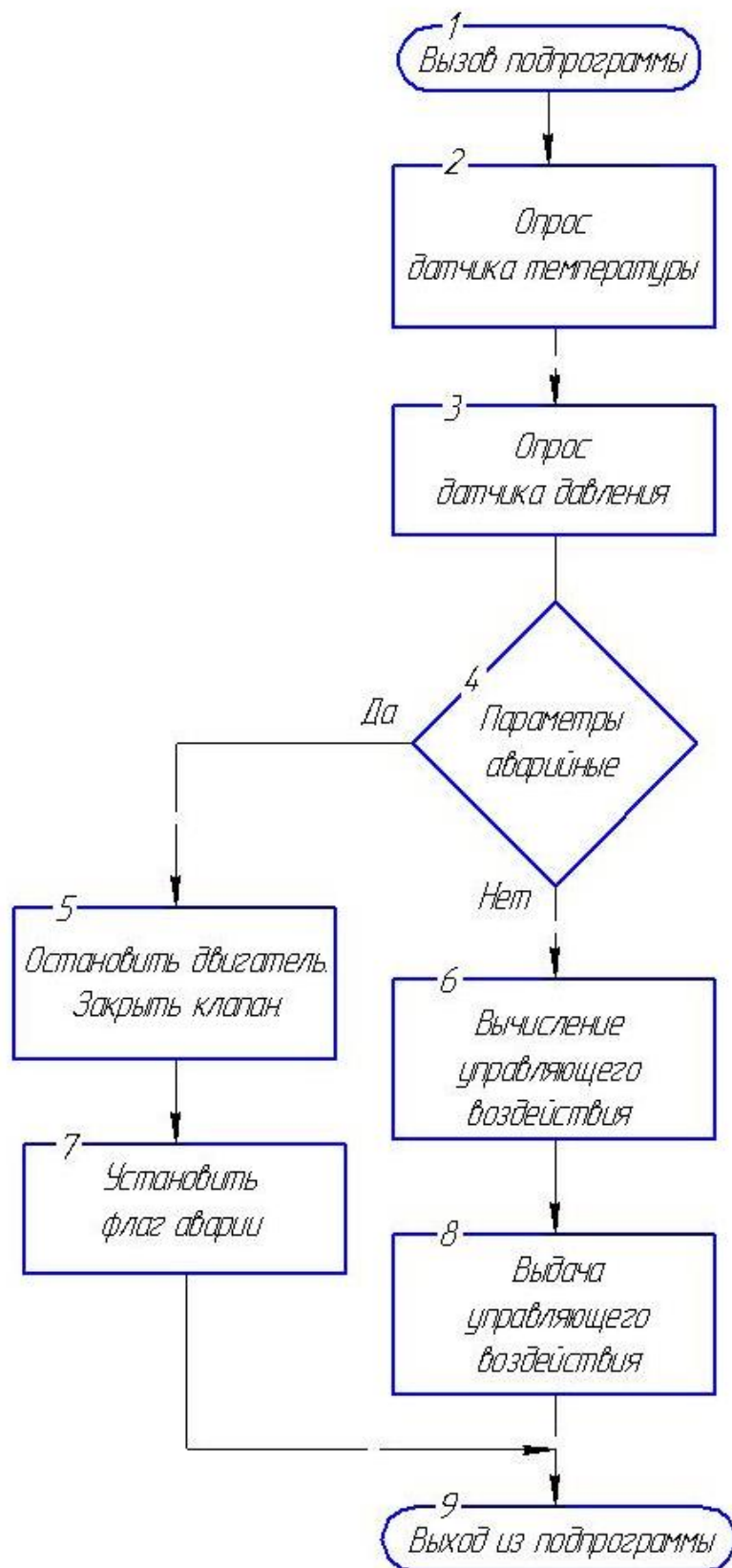


Рисунок 3.22 – Подпрограмма управления теплообменником

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 4 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 4.1 Описание объекта моделирования

Технологический процесс подогрева питьевой воды, который осуществляется с помощью водогрейного котла КВГ-6,5-150, достаточно сложен и включает в себя ряд определенных операций.

Одной из основных задач является поддержание пламени в горелке, так как от этого напрямую зависит качество работы котла. Этот процесс пожаро- и взрывоопасен, а потому требует жесткого контроля и управления.

Объект моделирования представляет (рис. 4.1) собой контур регулирования расхода в трубопроводе подачи атмосферного воздуха в котел. Воздух из атмосферы с помощью вентилятора поступает в трубопровод подачи, которым поставляется в горелку котла. Трубопровод подачи оснащен регулировочным клапаном, который в данном случае выступает непосредственным объектом управления. Параметр управления - расход воздуха атмосферного в трубопроводе подачи его в котел, которая должен равняться  $5,18 \text{ м}^3/\text{час}$ .

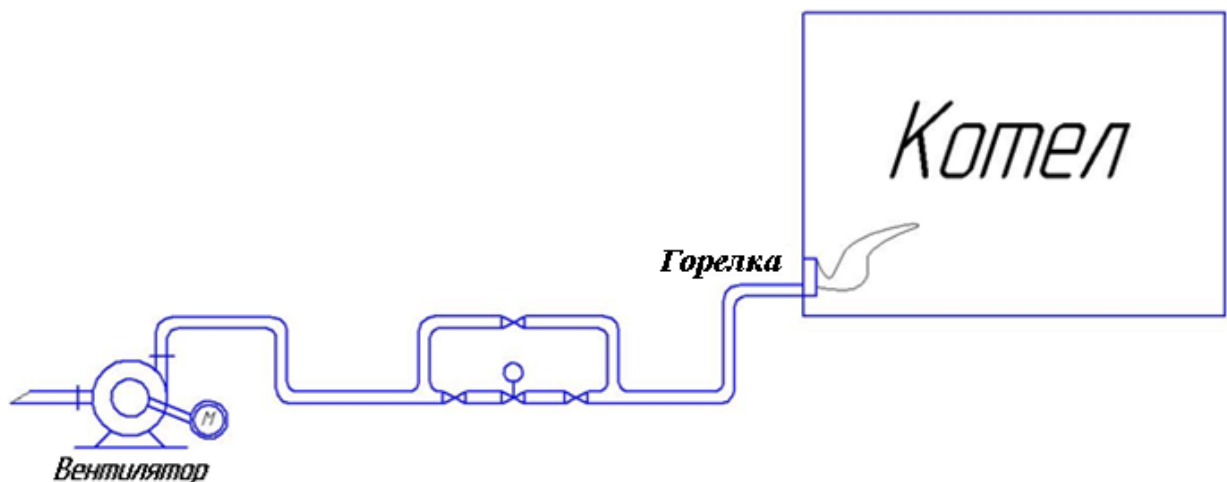


Рисунок 4.1 – Функциональная схема объекта моделирования

Требования к качеству регулирования объекта управления:

- время переходного процесса  $\leq 0,3 \text{ с}$ ;
- перерегулирование  $\leq 30 \%$ ;
- статическая точность  $2\%$ .

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

## 4.2 Получение математического описания объекта управления на основе экспериментальных данных

Определим передаточную функцию объекта управления на основе аппроксимации кривой разгона (рис. 4.2), полученной экспериментальным путем на данном объекте управления, путём подачи на вход системы единичного входного ступенчатого воздействия.

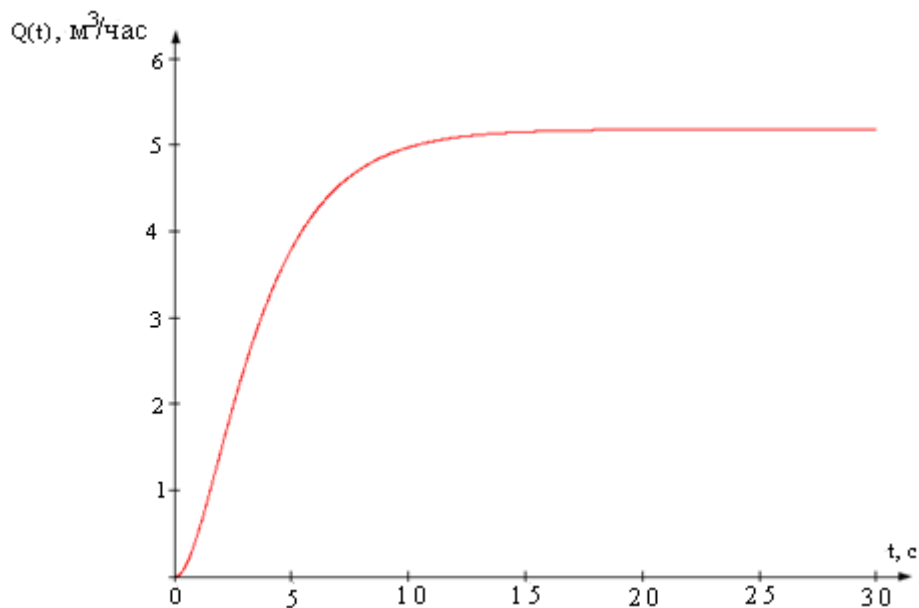


Рисунок 4.2 - Кривая разгона объекта управления

Выполняем нормирование данной кривой разгона. Для этого каждое значение выходной величины и делим на 5,18 (рис. 4.3).

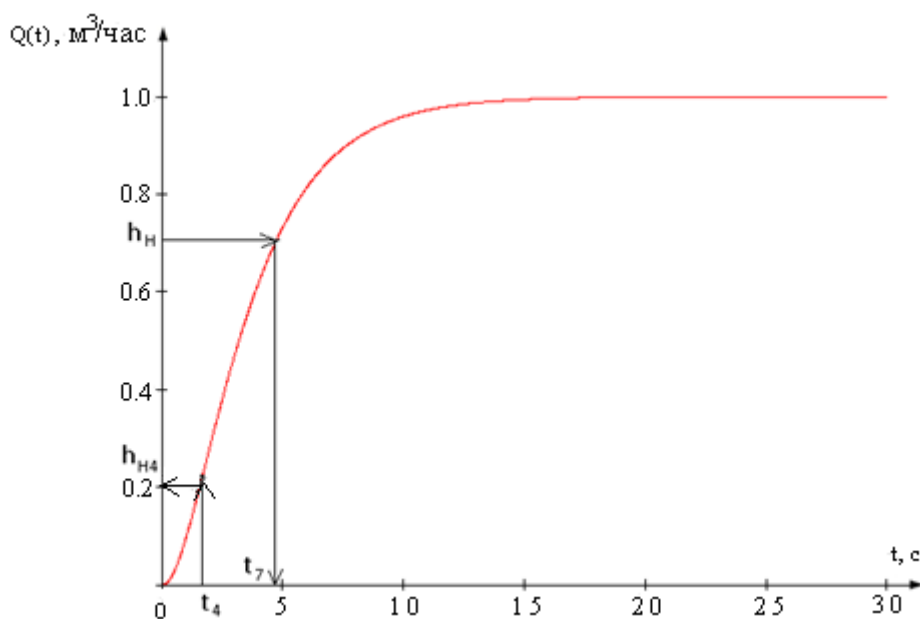


Рисунок 4.3 - Нормированная кривая разгона объекта управления

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Для определения передаточной функции воспользуемся методом Орманса [8].

Этот метод позволяет по нормированной кривой разгона определить две доминирующие постоянные объекта управления для модели вида

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (4-1)$$

где  $\tau$  - транспортное запаздывание (определяется по кривой разгона).

Второй порядок передаточной функции (4-1) объясняется видом кривой разгона объекта управления (рис. 4.3).

Получение передаточной функции объекта управления выполняется в такой последовательности:

- 1) с нормированной кривой разгона определяем время, соответствующее значению  $h_n = 0,7$  и обозначаем его  $t_7$ . Из графика (рис. 4.2) это время составляет 4,6 секунды;
- 2) полученный интервал делим на три части. Поднимаем перпендикуляр кривой разгона и определяем величину  $h_{n4}$ . По нашему графику (рис. 4.2)  $h_{n4} = 0,2$ ;
- 3) постоянные времени объекта управления  $T_1$  и  $T_2$  определяются с помощью вспомогательной величины  $Z^2$ , для нахождения которой используется номограмма Орманса (рис. 4.4).

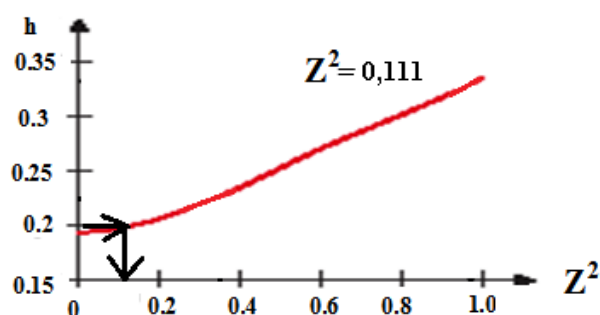


Рисунок 4.4 - Номограмма Орманса

- 5) постоянные времени объекта управления  $T_1$  и  $T_2$  определяются по следующим формулам:

$$T_1 = \frac{t_7}{2.4}(1+z) \quad (4-2a)$$

$$T_2 = \frac{t_7}{2.4}(1-z) \quad (4-2б)$$

$$Z = \sqrt{Z^2} = \sqrt{0,111} = 0,333 ;$$

$$T_1 = 4,6(1 + 0,333) / 2,4 = 2,555 \text{ с};$$

$$T_2 = 4,6(1 - 0,333) / 2,4 = 1,278 \text{ с}.$$

Коэффициент усиления  $K$  определяем по формуле

$$K = \frac{Y_{уст}}{X}, \quad (4-3)$$

где  $Y_{уст}$  - установившееся значение выходного параметра;

$X$  - значение входной величины (управляющего сигнала).

В нашем случае  $Y_{уст} = 5,18 \text{ м}^3 / \text{ч}$  (см. Рис. 1.1),  $X = 1 \text{ м}^3 / \text{ч}$  (единичное ступенчатое входное воздействие).

$$K = \frac{5,18 \text{ м}^3 / \text{ч}}{1 \text{ м}^3 / \text{ч}} = 5,18.$$

Чистое транспортное запаздывание  $\tau = 0 \text{ с}$  (присутствует только динамическое  $\tau_d$ ).

Таким образом, передаточная функция может быть представлена в виде

$$W(s) = \frac{5,18}{(1,278 \cdot s + 1) \cdot (2,555 \cdot s + 1)} = \frac{5,18}{3,265 \cdot s^2 + 3,833 \cdot s + 1} \quad (4-4)$$

### 4.3 Проверка адекватности модели методом Фишера

Смоделируем объект управления по его передаточной функции (4-4) в MatLab (Simulink). Схема модели изображена на рисунке 4.5.

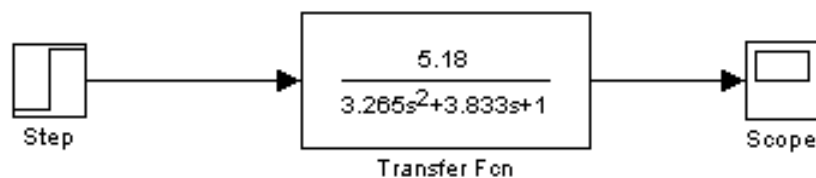


Рисунок 4.5 - Схема модели изучаемого объекта

Запускаем процесс моделирования и получаем кривую разгона (рис. 4.6).

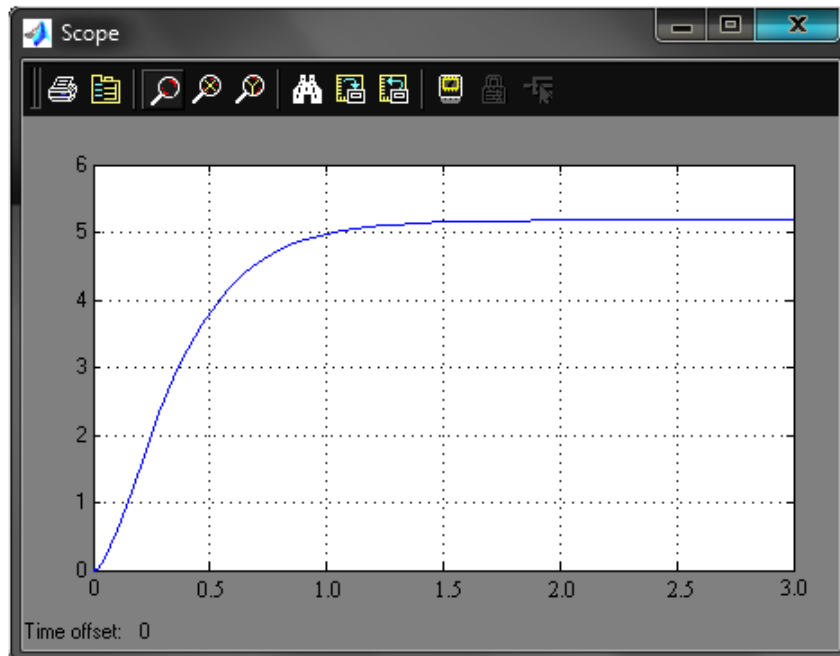


Рисунок 4.6 - Кривая разгона объекта управления, полученная в MatLab (Simulink)

Аналогично п.2 выполняем нормирование данной кривой разгона (рис. 4.7).

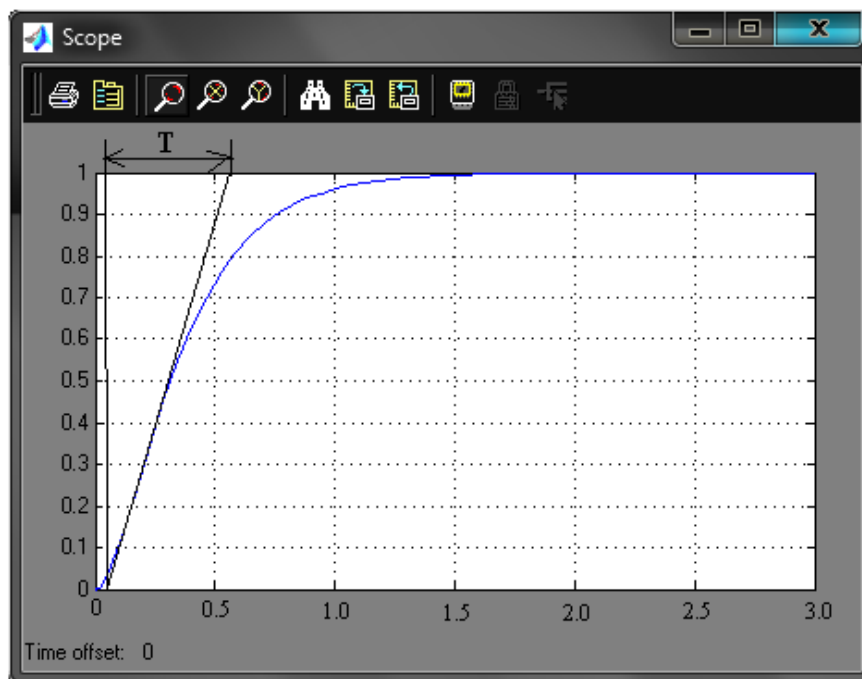


Рисунок 4.7 - Нормированная кривая разгона объекта управления, полученная в MatLab (Simulink)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Анализируя переходный процесс, получаем следующие показатели качества:

а) время переходного процесса

$$t_p = 3T = 3 \cdot 0,48 = 1,44 \text{ с;}$$

б) перерегулирование

$$\sigma = \frac{k_{\max}(t) - k_{уст}(t)}{k_{уст}(t)} = \frac{1-1}{1} \cdot 100\% = 0\% \quad (4-5)$$

Область изменения  $t$  делим на 10 интервалов. Определяем среднее значение для 10-ти точек на экспериментальной кривой разгона (рис. 4.3), равномерно распределенных по кривой и 10-ти точек при тех же моментах времени на кривой разгона, полученной в MatLab (рис.4.7).

Для этих точек определяем мат. ожидание (среднее значение  $\bar{Y}$ ) по формуле

$$\bar{Y}_{Y1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{1i} \quad (4-6a)$$

$$\bar{Y}_{Y2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{2i} \quad (4-6b)$$

где  $\bar{Y}_{Y1}$  - мат. ожидание, полученное для экспериментальной кривой разгона (рис. 4.2),

$\bar{Y}_{Y2}$  - мат. ожидание, полученное для теоретической кривой разгона (рис. 4.3).

$$\bar{Y}_{Y1} = \frac{0,08 + 0,2 + 0,36 + 0,56 + 0,68 + 0,8 + 0,86 + 0,9 + 0,964 + 0,996}{10} = 0,64$$

$$\bar{Y}_{Y2} = \frac{0,06 + 0,18 + 0,34 + 0,53 + 0,65 + 0,78 + 0,84 + 0,89 + 0,96 + 0,97}{10} = 0,62$$

Определяем оценку дисперсии среднего для каждой выборки

$$S_{Y1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_{Y1} - y_i)^2 \quad (4-7a)$$

$$S_{Y2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_{Y2} - y_i)^2 \quad (4-7b)$$

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

$$S_{y1} = \frac{(0,64-0,08)^2 + (0,64-0,2)^2 + (0,64-0,36)^2 + (0,64-0,56)^2 + (0,64-0,68)^2 + (0,64-0,8)^2 + (0,64-0,86)^2 + (0,64-0,9)^2 + (0,64-0,964)^2 + (0,64-0,996)^2}{10} = 0,107$$

$$S_{y2} = \frac{(0,62-0,06)^2 + (0,62-0,18)^2 + (0,62-0,34)^2 + (0,62-0,53)^2 + (0,62-0,65)^2 + (0,62-0,78)^2 + (0,62-0,84)^2 + (0,62-0,89)^2 + (0,62-0,96)^2 + (0,62-0,97)^2}{10} = 0,109$$

Определяем отношение оценок дисперсий, причем большая из полученных оценок дисперсий делится на меньшую

$$\frac{S_{Y_{больша}}}{S_{Y_{маленька}}} \quad (4-8)$$

$$\frac{S_{Y_{больша}}}{S_{Y_{маленька}}} = \frac{0,109}{0,107} = 1,02$$

Сравнивая полученное значение со значением критерия Фишера  $F_{0,95,10,10} = 2,98$ , делаем вывод, что полученная модель адекватна объекту управления, так как  $1,02 < 2,98$ .

#### 4.4 Синтез системы управления методом логарифмических частотных характеристик (методом Солодовникова)

##### 4.4.1 Построение асимптотической ЛАЧХ неизменяемой части системы $L_n(\omega)$

Предварительно проводим анализ передаточной функции объекта управления (4-4) в следующем порядке:

1) из выражения (4-4) находим и записываем постоянные времени элементарных звеньев  $T_1 = 1,278$  с,  $T_2 = 2,555$  с, по которым определяем частоты сопряжения и располагаем их в порядке возрастания

$$\omega_1 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{2,555} = 0,391 \text{ с}^{-1}, \quad (4-9a)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{1,278} = 0,783 \text{ с}^{-1}. \quad (4-9б)$$

2) поскольку в составе передаточной функции объекта управления (4-4) отсутствуют интегрирующие звенья, низкочастотная асимптота ЛАЧХ будет иметь начальный наклон 0 дБ / дек;

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72



3) фиксация низкочастотной асимптоты ЛАЧХ находится на частоте  $\omega = 1$  на уровне, который определяется из следующего выражения

$$L_n(1) = 20 \cdot \lg(k) = 20 \cdot \lg(5,18) = 14 \text{ дБ} \quad (4-10)$$

где  $k$  - коэффициент усиления неизменной части САУ.

Применяя правила построения асимптот, строим ЛАЧХ в следующем порядке:

1) от частоты сопряжения  $\omega_1$  до частоты  $\omega_2$  строим асимптоту с наклоном, увеличенным по сравнению с предыдущим на 20 дБ / дек, то есть с наклоном  $0-20 = -20$  дБ / дек, так как частота  $\omega_1$  связана с сомножителем вида  $(Ts+1)^\alpha$  ( $\alpha = 1$ ) в знаменателе передаточной функции;

2) от частоты сопряжения  $\omega_2$  строим асимптоту с наклоном, увеличенным по сравнению с предыдущим на 20 дБ / дек, то есть с наклоном  $-20-20 = -40$  дБ / дек, так как частота  $\omega_2$  связана с сомножителем вида  $(Ts + 1)^\alpha$  ( $\alpha = 1$ ) в знаменателе передаточной функции.

Строим асимптотическую ЛАЧХ неизменяемой части системы (рис. 4.10, кривая  $L_n(\omega)$ ).

#### 4.4.2 Построение желаемой асимптотической ЛАЧХ по Солодовникову

##### 4.4.2.1 Построение низкочастотной части желаемой асимптотической ЛАЧХ

Наклон и положение низкочастотной асимптоты ЛАЧХ  $L_{ж}(\omega)$  зависит от требований, предъявляемых к статической точности.

Желаемая система не изменяет порядок астатизма. Из условия заданной статической точности  $S_0$  может быть рассчитан коэффициент усиления (добротность по скорости) разомкнутой цепи системы (объекта управления и корректирующего устройства)

$$k_v = \frac{1 - S_0}{S_0} \quad (4-11)$$

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Не меняя наклона низкочастотной асимптоты (0 дБ / дек), фиксируем ее новое положение относительно оси абсцисс на уровне

$$L_{\kappa}(1) = 20 \lg(k_v) = 20 \lg\left(\frac{1 - 0,02}{0,02}\right) = 33,804 \text{ дБ} \quad (4-12)$$

#### 4.4.2.2 Построение среднечастотной части желаемой асимптотической ЛАЧХ

##### а) Определение частоты среза $\omega_c$ и построение среднечастотной асимптоты желаемой ЛАЧХ

Для определения минимально допустимого значения частоты среза  $\omega_c$  ЛАЧХ желаемой системы используем одну из номограмм Солодовникова для статических систем, которая устанавливает соответствие между величиной максимального значения частотной характеристики  $P_{\max}$  и величинами перерегулирования  $\sigma$  и времени переходного процесса  $t_p$ .

По заданному значению перерегулирования  $\sigma = 30\%$  с помощью кривой  $\sigma$  ( $P_{\max}$ ) номограммы (рис. 4.7) находим соответствующее ему значение  $P_{\max} = 1,6$ , по которому с помощью второй кривой  $t_p$  ( $P_{\max}$ ) (рис. 4.8) определяем значение времени переходного процесса  $t_p$ , выраженное через частоту среза  $\omega_c$  соотношением  $4,9\pi / \omega_c$ .

Частоту среза  $\omega_c$  определяем из следующего уравнения

$$\omega_c = \frac{4,9 \cdot \pi}{t_p} = \frac{4,9 \cdot \pi}{0,3} = 12,8 \text{ с}^{-1} \quad (4-13)$$

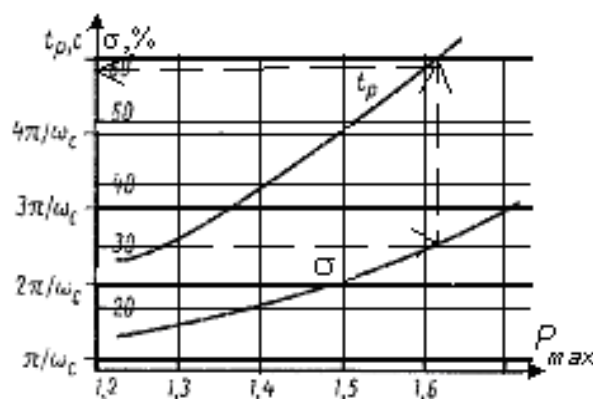


Рисунок 4.8 - Номограмма качества Солодовникова для статических систем

Проводим через точку  $\omega_c = 12,8 \text{ с}^{-1}$  на оси частот среднечастотную асимптоту с наклоном  $-20 \text{ дБ / дек}$  (рис. 4.10).

### б) Определение диапазона частот среднечастотной части ЛАЧХ

По номограмме (рис. 4.9) и найденным ранее значением  $P_{\max} = 1,6$  находим необходимый запас по фазе  $\gamma_{\min} = 28^\circ$  и соответствующие ему ординаты среднечастотной части ЛАЧХ  $L_m = \pm 9 \text{ дБ}$ .

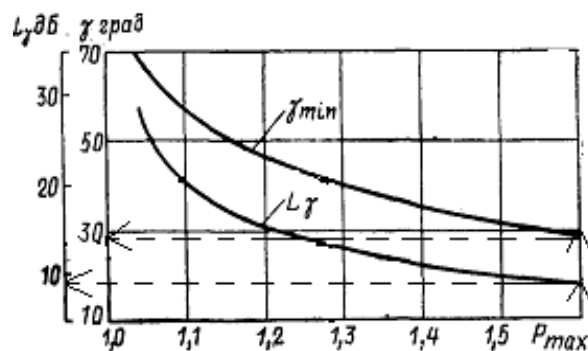


Рисунок 4.9 - График для определения ширины среднечастотной асимптоты и необходимого избытка фазы

Линии, проведенные параллельно оси частот на уровне  $L_m = \pm 9 \text{ дБ}$ , дают в точках пересечения со среднечастотной асимптотой частоты сообщения  $\omega_{c1} = 0,04 \text{ с}^{-1}$  в низкочастотной части желаемой ЛАЧХ и  $\omega_{c2} = 0,4 \text{ с}^{-1}$  в высокочастотной (рис.4.10).

### в) Сопряжение низкочастотной и среднечастотной частей желаемой ЛАЧХ

Так как точка пересечения низкочастотной и среднечастотной асимптот существует и находится левее среднечастотной участка, то она и определяет сопряжение. По графику (рис.4.10) определяем частоту сопряжения равной  $\omega_a = 2,4 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ .

### г) Построение высокочастотной части желаемой ЛАЧХ и сопряжения ее со среднечастотной асимптотой

Построение высокочастотной части желаемой ЛАЧХ выполняется таким образом, чтобы вид желаемой ЛАЧХ в этой области как можно меньше отличался от вида неизменной ЛАЧХ.

Среднечастотная асимптота пересекает неизменную ЛАЧХ правее среднечастотного участка, поэтому эту точку выбираем в качестве точки сопряжения с высокочастотной частью желаемой ЛАЧХ. По графику (рис. 4.10) определяем частоту сопряжения равной  $\omega_b = 10,2 \text{ с}^{-1}$ . При этом участок неизменной ЛАЧХ, расположенный правее этой точки, считается высокочастотной частью желаемой ЛАЧХ.

Построенная таким образом желаемая ЛАЧХ разомкнутой системы управления  $L_{\text{ж}}(\omega)$  представлена на рисунке 4.10.

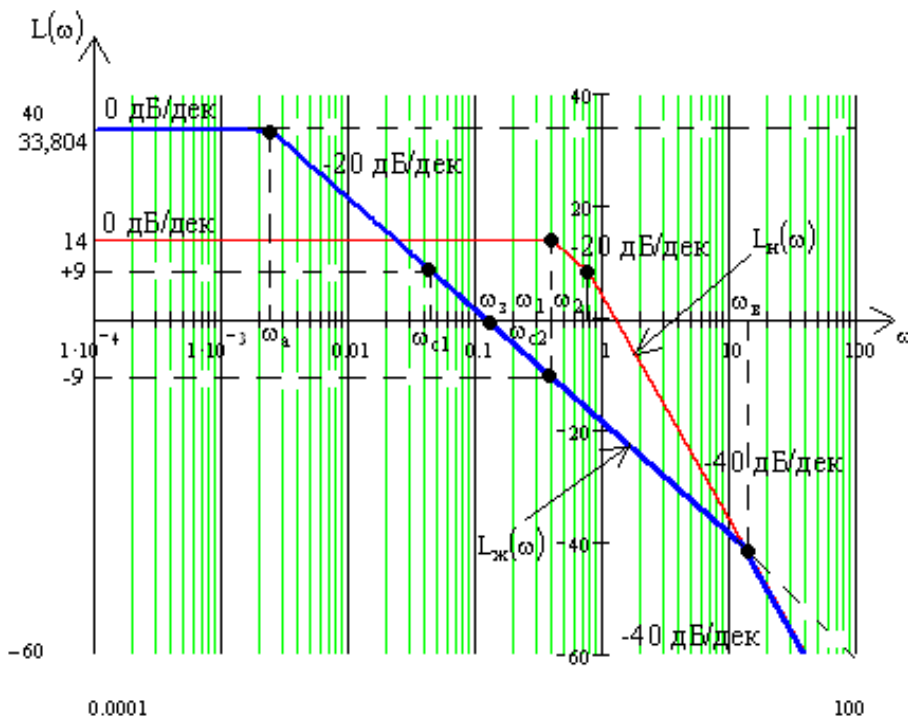


Рисунок 4.10 - Желаемая и неизменяемая асимптотические ЛАЧХ аналоговой системы

#### 4.4.3 Получение передаточной функции разомкнутой цепи желаемой системы

Для получения передаточной функции разомкнутой цепи желаемой системы  $W_{\text{ж}}(\omega)$  по виду полученной желаемой асимптотической ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  применим методику, которая следует из методики построения асимптотической ЛАЧХ по виду ее передаточной функции:

- 1) определяем частоты сопряжения  $\omega_i$  построенной желаемой ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  и располагаем их в порядке возрастания:  $\omega_a = 2,4 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ;  $\omega_b = 10,2 \text{ с}^{-1}$ ;

2) определяем порядок астатизма желаемой системы по первому наклону низкочастотной асимптоты желаемой ЛАЧХ. Так как первый наклон составляет 0дБ / дек, данная система статическая;

3) определяем коэффициент усиления разомкнутой системы, измерив ординату низкочастотной асимптоты  $L_{ж}(\omega)$  на частоте  $1с^{-1}$  с последующим использованием формулы

$$k = 10^{\frac{L_{ж}(1)}{20}} = 10^{\frac{33,804}{20}} = 49 \quad (4-14)$$

4) находим выражения для сомножителей числителя и знаменателя передаточной функции разомкнутой системы, последовательно анализируя поведение асимптотической ЛАЧХ:

а) после частоты сообщения  $\omega_a = 2,4 \times 10^{-3} с^{-1}$  наклон асимптоты увеличивается на 20 дБ / дек, что соответствует наличию в знаменателе сомножителя

$$\frac{1}{\omega_a} \cdot s + 1 = \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-3}} \cdot s + 1 = 416,667 \cdot s + 1; \quad (4-15)$$

б) после частоты сопряжения  $\omega_b = 10,2 с^{-1}$  наклон асимптоты увеличивается на 20 дБ / дек, что соответствует наличию в знаменателе сомножителя

$$\frac{1}{\omega_b} \cdot s + 1 = \frac{1}{10,2} \cdot s + 1 = 0,098 \cdot s + 1. \quad (4-16)$$

Таким образом, передаточная функция желаемой разомкнутой системы будет иметь вид

$$W_{ж}(s) = \frac{49}{(416,667 \cdot s + 1) \cdot (0,098 \cdot s + 1)} \quad (4-17)$$

#### 4.4.4 Моделирование синтезированной системы и определения показателей качества переходного процесса

Используя выражение передаточной функции желаемой (скорректированной) разомкнутой системы, получаем переходную характеристику замкнутой системы, которая представлена на рис. 4.11. Для этого используем математический пакет MathCad

$$W_r(s) := \frac{49}{(416.667 \cdot s + 1) \cdot (0.098 \cdot s + 1)}$$

$$W_z(s) := \frac{W_r(s)}{1 + W_r(s)}$$

$$h(t) := \frac{W_z(s)}{s} \Big|_{\text{float}, 1}^{\text{invlaplace}, s} \rightarrow 1. - 1. \cdot \exp(-5.10 \cdot t) \cdot \cosh(4.98 \cdot t) - 1. \cdot \exp(-5.10 \cdot t) \cdot \sinh(4.98 \cdot t)$$

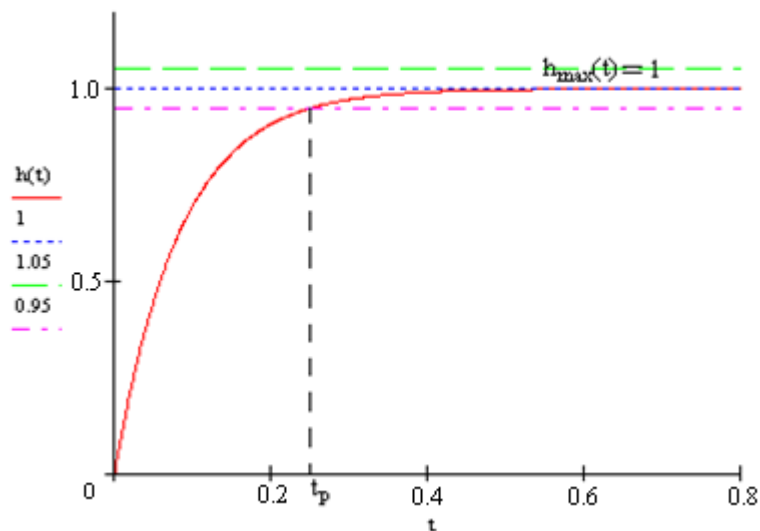


Рисунок 4.11 - Переходный процесс в скорректированной системе

Анализируя переходный процесс, получаем следующие показатели качества:

а) время переходного процесса

$$t_p = 0,25 \text{ с;}$$

б) перерегулирование

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{уст}}{h_{уст}} 100\% = \frac{1 - 1}{1} 100\% = 0 \%$$

Полученные показатели качества переходного процесса удовлетворяют заданным показателям, а значит, синтез выполнен успешно.

#### 4.4.5 Получение математического описания корректирующего устройства

Передаточную функцию корректирующего устройства  $W_k(s)$  получаем делением передаточной функции желаемой разомкнутой системы  $W_{ж}(s)$  на передаточную функцию неизменяемой системы  $W_n(s)$

$$W_k(s) = \frac{W_{ж}(s)}{W_n(s)} = \frac{9,46(1,278s+1)(2,555s+1)}{(416,667s+1)(0,098s+1)} = \frac{9,46(3,265s^2+3,833s+1)}{40,833s^2+416,765s+1}. \quad (4-18)$$

## 4.5 Моделирование системы управления в математическом пакете MatLab (Simulink)

Схема моделирования системы управления в математическом пакете MatLab (Simulink) представлена на рисунке 4.12.

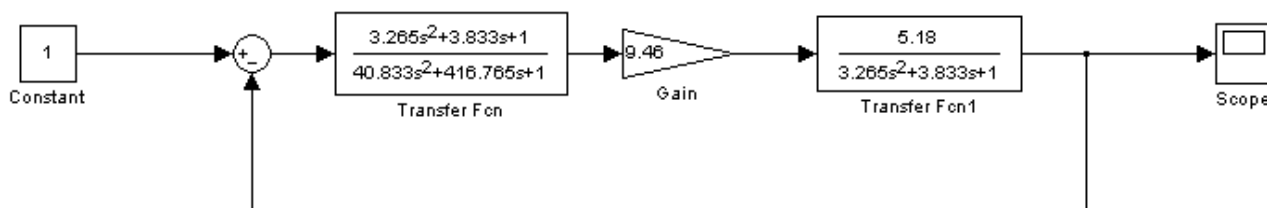


Рисунок 4.12 - Схема моделирования системы управления

Переходный процесс в данной системе имеет вид, изображенный на рисунке 4.13.

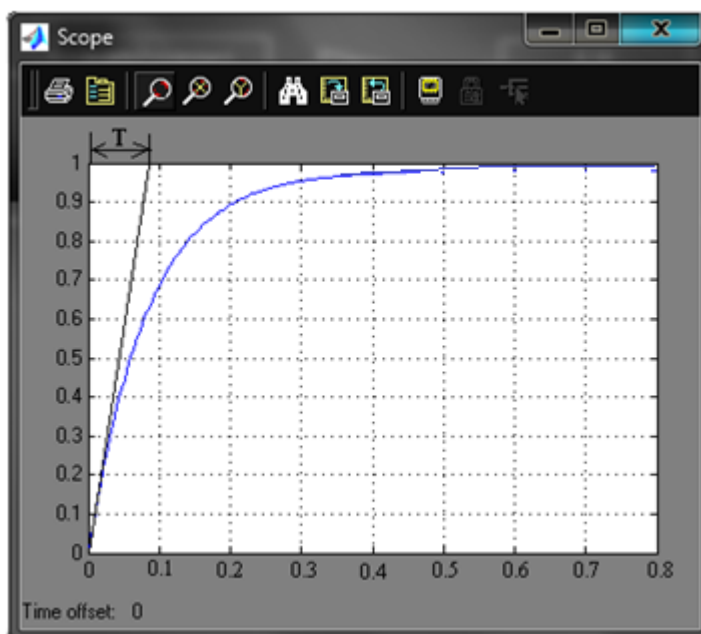


Рисунок 4.13 - Переходный процесс в системе

Анализируя переходный процесс, получаем следующие показатели качества:

а) перерегулирование

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{уст}}{h_{уст}} 100\% = \frac{1 - 1}{1} 100\% = 0\% ;$$

б) время переходного процесса

$$t_p = 3T = 3 \cdot 0,09 = 0,27 \text{ с.}$$

Полученные показатели совпадают с аналогичными из предыдущего пункта, а следовательно, моделирование выполнено правильно.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

## ВЫВОДЫ

На основании технического задания разработано информационное и техническое обеспечение системы автоматизации.

Система представляет собой 2-х уровневую АСУ ТП, в состав которой входят:

- датчики, установленные непосредственно на технологическом оборудовании;
- исполнительные органы, которые обрабатывают полученное от контроллера воздействие;
- контроллер, который выполняет первичную обработку данных полученных от датчиков, выдает управляющее воздействие для регулирующих органов.

Использование современных методов управления технологическим процессом, а также новейших технических средств автоматизации в дальнейшем даст возможность реализовать качественно новую технологию управления и повысить эффективность производства, что приведёт к:

- повышению качества выпускаемой продукции;
- снижению затрат сырьевых и энергетических ресурсов по некоторым статьям расходов на ТП;
- повышения объема выпускаемой продукции;
- сокращения простоев из-за неполадок;
- увеличение межремонтных сроков работы оборудования;
- использовать минимальное количество работников, необходимых для поддержания ТП в рабочем состоянии и ликвидации аварийных ситуаций.

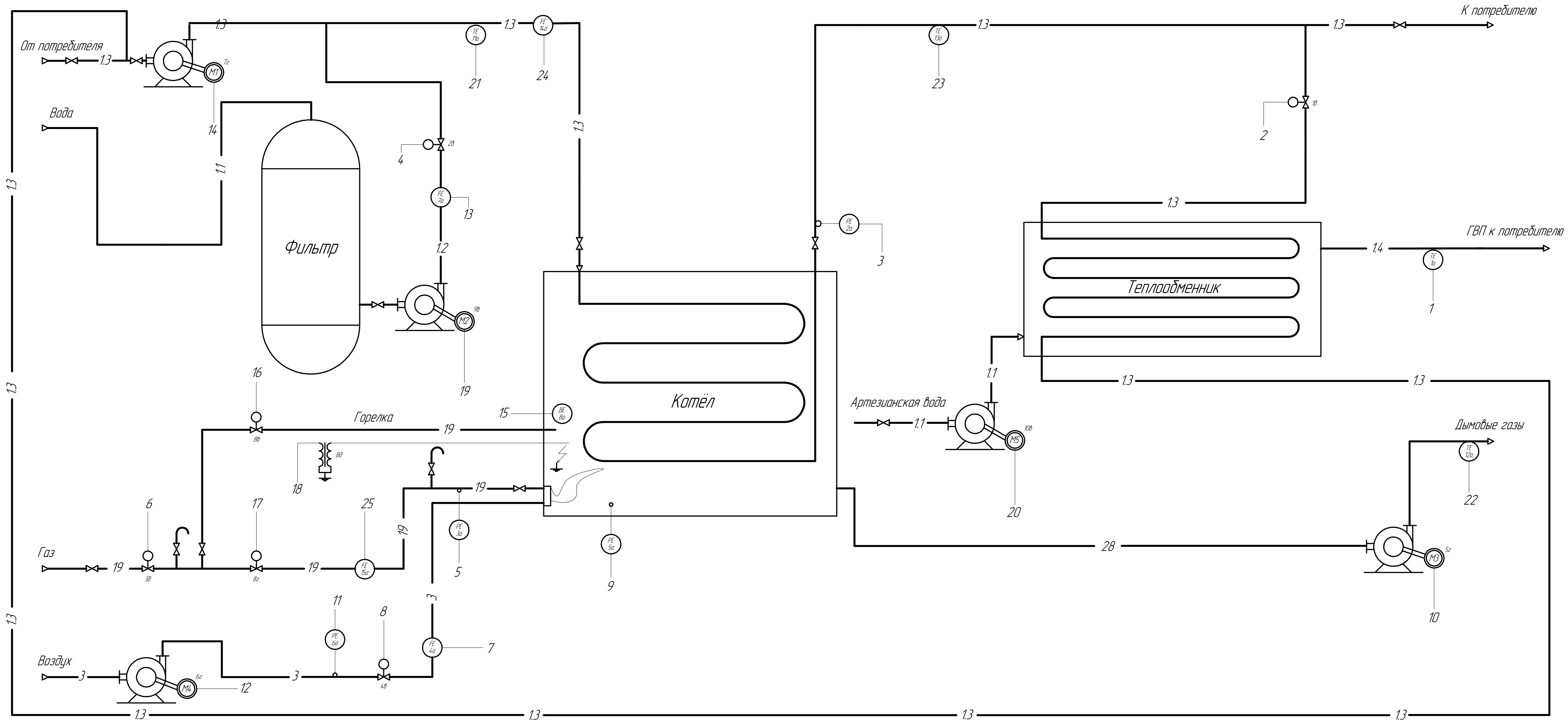
					СУзТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматика и управление в технических системах. В 11 кн. / Отв. ред. С.В. Емельянов, В.С. Михалевич. - Кн.1. Электрические элементы систем управления промышленными роботами / А.А. Краснопрошина и др. - К.: Вища шк., 1990. - 479 с.
2. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов. Инструктивные материалы. Для студентов специальности 7.091401 "Компьютеризованные системы управления и автоматики". - Сумы.: СумГУ, 1998. - 77 с.
3. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справ пос. / А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, С.А. Клюев. - М.: Энергоатомиздат, 1990.- 464 с.
4. Сайт компании «Овен»: [www.owen.ru](http://www.owen.ru).
5. Волощенко А.В., Горбунов Д.Б., Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования.-Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 109 с.
6. Сольнищев Р.И., Автоматизация проектирования систем автоматического управления —М: Высш. шк., 1991. — 335 с.

					СУЗТ-61Ш 6.050201.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81



**Условные обозначения потоков**

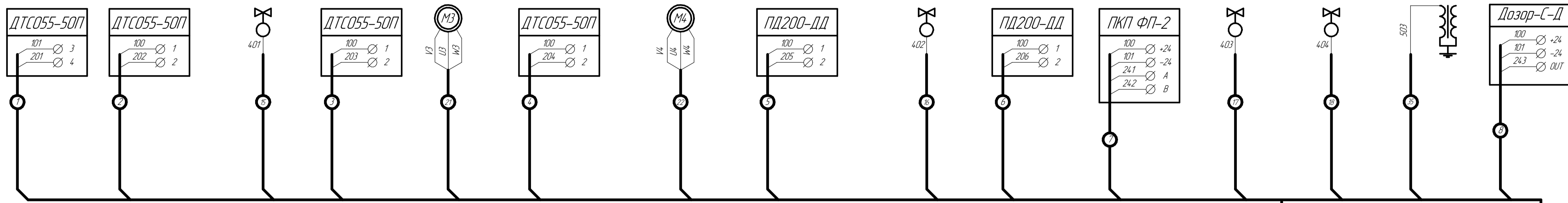
- 11 — Питьевая вода
- 12 — Вода хим. очищенная
- 13 — Теплоноситель
- 14 — Вода питьевая (горячая)
- 28 — Дым (выхлопные газы)
- 3 — Воздух атмосферный
- 19 — Газ природный

Имя, № прибора	Полож. и дата	Взам. инф. №	Имя, № прибора	Полож. и дата	Приборы по месту																								
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
УСО	AI																												
	DI																												
	DO																												
МК	Вып.																												
	Фир.																												
	Р																												
Сенсоризация	И																												
	Р																												

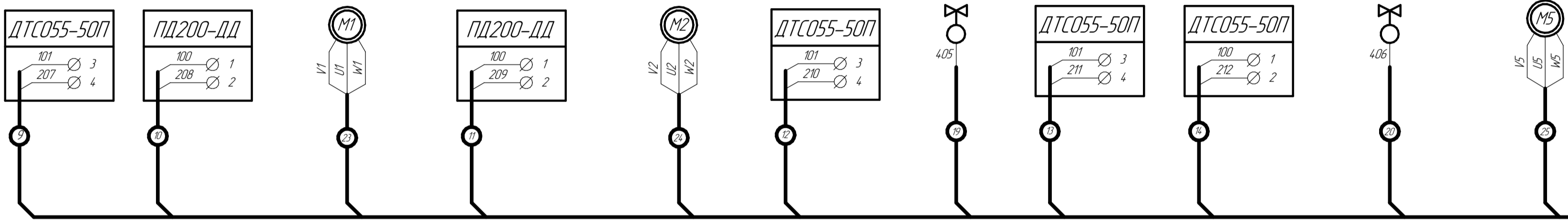
Имя, Лист				№ док. №				Подп. Дата				СЧУт-6Ш 6.050201.07.А2				Лит.		Масса		Масштаб	
Разраб.				Харченко Е.Н.				Автоматизация водогрейного котла КВГ-6,5-150								1:1					
Проб.				Худолеев Г.М.				Функциональная схема автоматизации				Лист		Листов		1					
Т.контр.																					
Исполн.				Худолеев Г.М.																	
Этб.																					

Копировал  
Формат А1

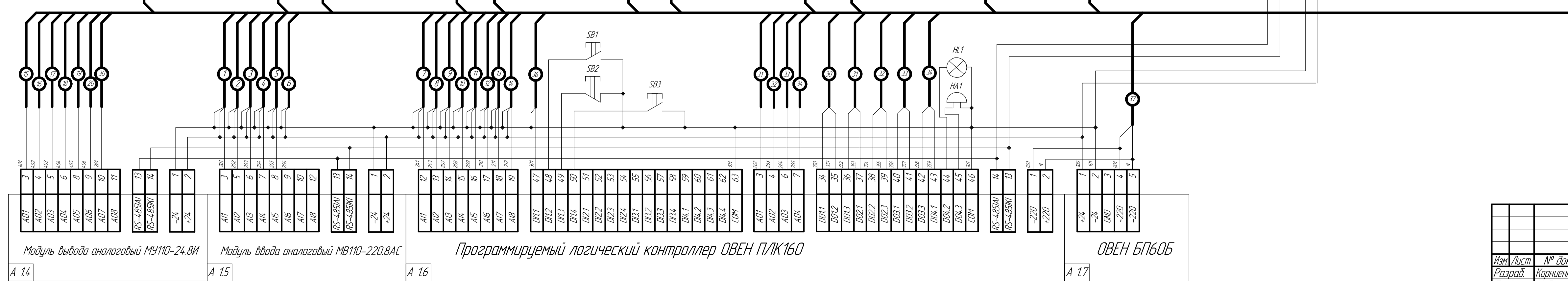
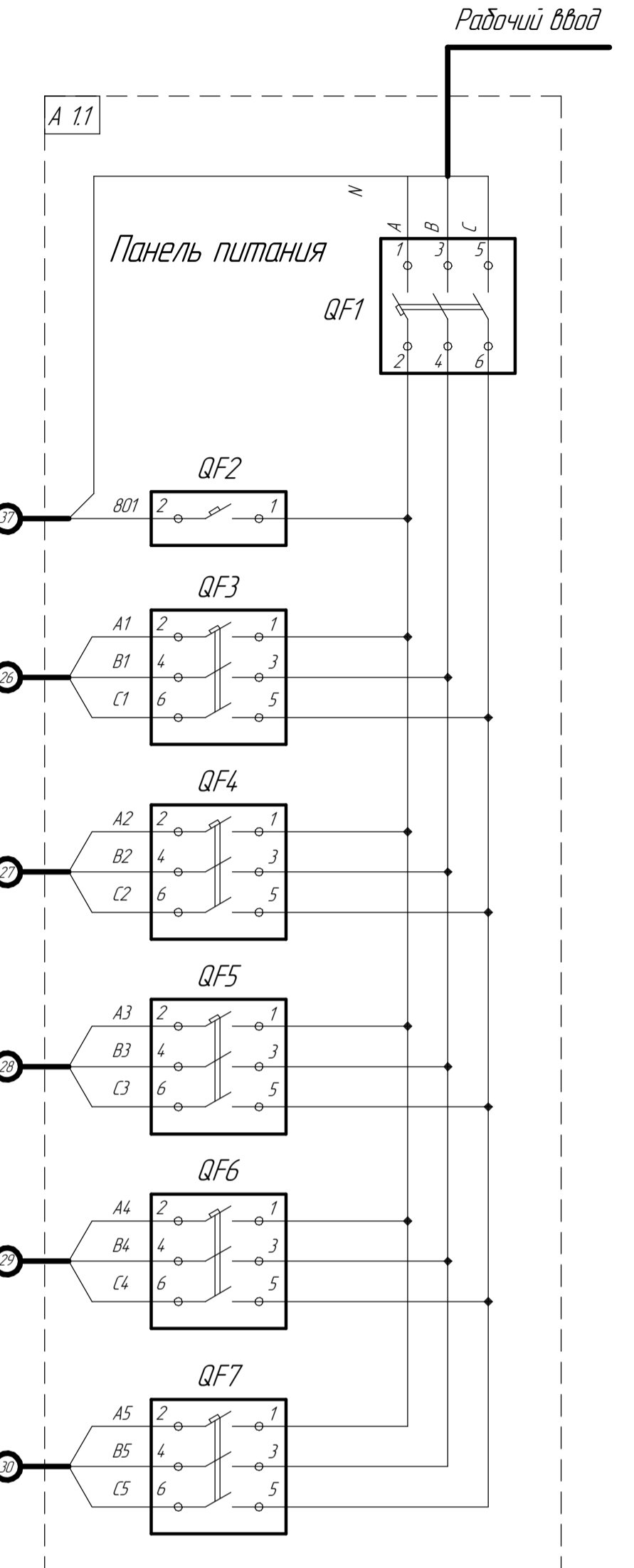
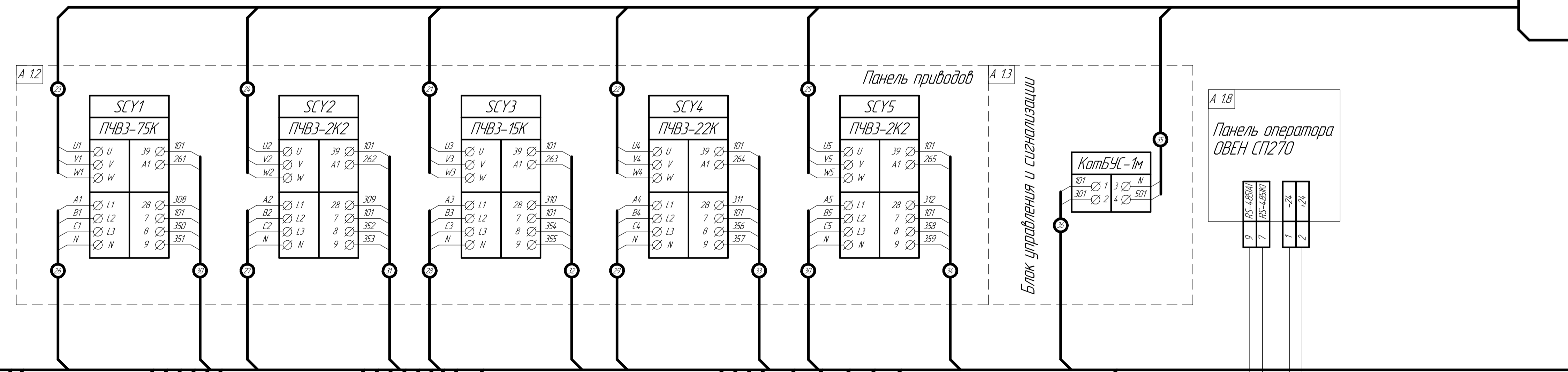
Место установки	Котёл														
Наименование параметра	Температура выходящих газов	Давление газа природного	Клапан регулирующий	Разряжение в топке	Привод дымососа	Давление воздуха атмосферного	Привод вентилятора	Расход воздуха атмосферного	Клапан регулирующий	Расход газа природного	Наличие пламени	Клапан регулирующий	Клапан регулирующий	Зажигатель	Наличие вредных веществ
Позиция	12а	3а	3б	5а	5з	6а	6з	4а	4б	15а	8а	8б	8з	8д	16а



Место установки	Фильтр					Теплообменник					
Наименование параметра	Температура теплоносителя	Расход теплоносителя	Привод насоса циркуляции	Расход хим. очищенной воды	Привод насоса подпитки	Температура воды питьевой	Клапан регулирующий	Температура теплоносителя	Давление теплоносителя	Клапан регулирующий	Привод насоса подачи воды
Позиция	11а	7а	7з	14а	9б	1а	1б	13а	2а	2б	10б



Место установки	Электрощитовая											
Наименование параметра	Щкаф управления											
Позиция	А11, А12, А13, А14, А15, А16, А17, А18											



СЭТ-6Ш 6.050201.07.33				Лист	Масштаб
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	1:1
Разраб.	Хоруженко Е.Н.				
Пров.	Худолеев Г.М.				
Т.контр.					
Исполн.					
Утв.	Худолеев Г.М.				
Автоматизация водогрейного котла КВГ-6,5-150				Лист	Листов 1
Схема электрическая принципиальная				ШИ СЭТ-6Ш	
				г.р. СЭТ-6Ш	
				Формат А1	

Лист 1 из 1