

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. С. Якубовская, В. А. Павловский

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.
КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности «Автоматизация технологических процессов
и производств (сельское хозяйство)»*

Минск
БГАТУ
2022

УДК 631.171(07)

ББК 40.7я7

Я49

Рецензенты:

кафедра робототехнических систем

Белорусского национального технического университета

(кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *А. Р. Околов*);

кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УО «Белорусский государственный технологический университет»

(кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *Д. С. Карпович*)

Якубовская, Е. С.

Я49 Системы автоматизации сельскохозяйственного производства. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / Е. С. Якубовская, В. А. Павловский. – Минск : БГАТУ, 2022. – 280 с.

ISBN 978-985-25-0191-0.

Освещает вопросы методики и технологии проектирования систем автоматизации сельскохозяйственного производства, содержит требования к документации проекта автоматизации, раскрывает принципы постановки задачи проектирования системы автоматизации, разработки алгоритма, структуры и программы управления, выбора технических средств автоматизации, содержит сквозной пример разработки системы автоматизации.

Для студентов учреждений высшего образования и специалистов в области автоматизации сельскохозяйственного производства.

УДК 631.171(07)

ББК 40.7я7

ISBN 978-985-25-0191-0

© БГАТУ, 2022

Содержание

Список сокращений	5
Введение	6
1 Общие вопросы проектирования	7
1.1 Цели и задачи курсового и дипломного проектирования. Содержание разделов дипломного проекта	7
1.2 Требования к теме курсового проекта по дисциплине «Системы автоматизации сельскохозяйственного производства»	13
1.3 Структура и содержание курсового проекта	14
2 Разработка проекта системы автоматизации технологического процесса (установки) сельскохозяйственного производства	20
2.1 Постановка задачи проектирования системы автоматизации	20
2.2 Разработка системы автоматизации	28
2.2.1 Структура и состав систем автоматизации.....	28
2.2.2 Выбор технических средств автоматизации	41
2.2.3 Разработка алгоритма и структуры управления	52
2.2.4 Разработка системы автоматического регулирования	62
2.2.5 Разработка средств визуализации управления.....	69
2.2.6 Разработка программы управления.....	74
2.2.7 Разработка полной принципиальной электрической схемы.....	91
2.3 Разработка схем питающей и распределительной сети.....	98
2.3.1 Требования к системам питания систем автоматизации	98
2.3.2 Требования к оформлению принципиальных электрических схем питания систем автоматизации.....	104
2.3.3 Пример выполнения принципиальной схемы питающей и распределительной сети	107
3 Расчет надежности системы автоматизации. Средства обеспечения надежности	110
3.1 Показатели надежности	110
3.2 Методы расчета надежности систем управления.....	112
4 Разработка монтажной документации и документации на щиты автоматики...	115
5 Заключительные шаги при работе над курсовым проектом	118
Заключение	119
Список использованных источников.....	120
Приложения.....	126

Приложение А Пример задания на дипломное проектирование	127
Приложение Б Примерные варианты к курсовому проектированию	129
Приложение В Пример выполнения курсового проекта	158
Приложение Г Некоторые требования к оформлению курсового проекта	231
Приложение Д Требования к оформлению схем автоматизации	235
Приложение Е Характеристика некоторых технических средств автоматики	248
Приложение Ж Справочные данные для расчета и выбора проводок	262
Приложение И Исходные данные для компоновки аппаратов в щитах автоматики	264

Список сокращений

- АУУ – автоматическое управляющее устройство.
- ИМ – исполнительный механизм.
- ИУ – исполнительное устройство.
- КАУУ – комбинированное автоматическое управляющее устройство.
- КП – курсовой проект.
- ЛК – левая кнопка (мыши).
- ЛУУ – логическое устройство управления.
- МПУУ – микропроцессорное устройство управления.
- МЭК – международная электротехническая комиссия.
- НП – нормирующий преобразователь.
- ОУ – объект управления.
- ПАЗ – система противоаварийной автоматической защиты.
- ПК – правая кнопка (мыши).
- ПЗ – пояснительная записка.
- ПО – панель оператора.
- ПП – первичный измерительный преобразователь.
- ПТЛ – поточная технологическая линия.
- РКС – релейно-контактная схема.
- СА – система автоматизации.
- САЗ – система автоматической защиты.
- САПР – система автоматизированного проектирования.
- САР – система автоматического регулирования
- САУ – система автоматического управления.
- САУ ПТЛ – система автоматического управления поточной технологической линией.
- САУ ТП – система автоматического управления технологическим процессом.
- ТП – технологический процесс.
- ТСА – технические средства автоматизации.
- УАР – устройство автоматического регулирования.
- УГО – условное графическое обозначение.

Введение

Современное сельскохозяйственное производство характеризуется наличием высокотехнологичного оборудования, управляемого с помощью автоматических систем, обеспечивающих точное соблюдение технологических требований, безопасность работы, снижение трудовых, ресурсных и энергозатрат и в целом обеспечивающих повышение эффективности производства. Эксплуатация таких систем является задачей инженера по автоматизации. Еще более важным вопросом является разработка эффективной системы автоматизации сельскохозяйственного производства. Это весьма сложный процесс, требующий высокого уровня профессиональной компетентности, освоения современных методов проектирования, включая сбор исходных проектных данных, анализ возможных вариантов решения технической задачи, формулирование требований к системе автоматизации, синтез автоматизированной системы управления, отвечающий комплексу требований с учетом результатов моделирования и технико-экономической оценки, реализация технических решений в комплекте проектной документации, разрабатываемой в САПР. На освоение навыков разработки эффективных систем автоматизации направлено курсовое проектирование по учебной дисциплине «Системы автоматизации сельскохозяйственного производства».

В образовательном процессе при подготовке будущих инженеров по автоматизации используется принцип сквозного проектирования, при котором тема последовательно разрабатывается в курсовом проекте дисциплин специальности с постепенным расширением и углублением. Дипломное проектирование является завершающим этапом системы сквозного проектирования. Техническая часть дипломного проекта опирается на принципы и методику разработки эффективных систем автоматизации, изложенную в пособии, а затем дополняется специальной частью, позволяющей более глубоко изучить определенный вопрос разработки системы автоматизации. Дополнительно в дипломном проекте выполняют экономическое обоснование модернизированной системы автоматизации и прорабатывают вопросы охраны труда.

Учебное пособие оформлено в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

1 Общие вопросы проектирования

1.1 Цели и задачи курсового и дипломного проектирования. Содержание разделов дипломного проекта

Для успешной профессиональной деятельности инженеру по автоматизации требуется не только знание принципов построения и функционирования приборов автоматизации, методов построения систем автоматического управления, но и овладение общим техническим языком, посредством которого можно четко и однозначно обмениваться разработками в области автоматизации технологических процессов. Речь идет о том, что логически и технически продуманная система автоматизации должна быть представлена на языке, одинаково понятном для специалистов, занимающихся вопросами монтажа, наладки и эксплуатации систем автоматизации. Такое взаимопонимание обеспечивается посредством специально разрабатываемой технической документации, которая называется проектом автоматизации технологического процесса. Поэтому независимо от места работы инженер по автоматизации технологических процессов должен свободно читать проекты и уметь их разрабатывать и осуществлять. Поэтому важно уже на первой ступени высшего образования овладеть технологией проектирования систем автоматизации. Уровень овладения такой технологией определяет успешность становления инженера, как специалиста, способного воспринимать технические новшества, разрабатывать и внедрять инновации, поскольку проектирование предваряет и обосновывает внедрение в производство технической системы, оптимальной с точки зрения системы определенных критериев.

Поэтому *целью курсового проекта* по учебной дисциплине «Системы автоматизации сельскохозяйственного производства» является овладение методикой разработки систем автоматизации, закрепление навыков разработки рабочей документации систем автоматизации сельскохозяйственного производства.

Для достижения цели должны быть решены следующие задачи:

- закрепление навыков самостоятельного сбора и анализа исходных данных для разработки системы автоматизации, выявления и формулирования технических требований к системе автоматизации;
- систематизация и углубление теоретических знаний, закрепление навыков по разработке алгоритма, структуры и программы управления;
- закрепление навыков моделирования работы системы по одному из контуров регулирования;
- закрепление навыков разработки визуализации контроля и управления установкой или линией;

- закрепление навыков расчета надежности системы автоматизации и реализации мер по обеспечению надежности работы системы;

- углубленное изучение технической и нормативной документации, закрепление навыков использования ИКТ и САПР для разработки рабочей документации систем автоматизации сельскохозяйственного производства.

Дипломный проект является квалификационной работой обучающегося, по уровню выполнения и результатам защиты которой ГЭК делает заключение о возможности присвоения обучающемуся, осваивающему содержание образовательной программы высшего образования I ступени, соответствующей квалификации. Дипломное проектирование имеет целью систематизацию, расширение и закрепление теоретических знаний, овладение навыками самостоятельного решения инженерных задач в конкретной профессиональной области. Основной задачей дипломного проекта студентов направления специальности 1-53 01 01-09 «Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство)» является решение комплекса научно-технических и организационных задач автоматизации сельскохозяйственного производства. Принятые решения должны обеспечить обоснование модернизации системы автоматического управления, решая конкретную проблему повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Студенту предоставляется право выбора темы дипломного проекта. При обсуждении темы с руководителем дипломного проекта следует учесть опыт проектирования, полученный в рамках курсового проектирования и решенных в ходе него вопросов, которые могут быть углубленно решены или расширены в разделах дипломного проекта. При этом тематика дипломного проектирования должна охватывать актуальные научно-технические проблемы агропромышленного комплекса Республики Беларусь, соответствовать современному состоянию и перспективам научно-технического прогресса в области автоматизации сельскохозяйственного производства. Примеры формулировок тем могут быть следующие:

– Автоматизированная система управления технологическим процессом приготовления и раздачи кормов на свиномкомплексе (очистки семян трав, уборки навоза, сортировки картофеля и др.) с разработкой тензометрического дозатора (регулируемого привода триерной машины в зависимости от исходной влажности семян, средств визуализации управления, сканирующего устройства и др.).

– Автоматизация (картофелехранилища, раздачи жидких кормов свиньям, доильной установки, шахтной сушилки, линии сквашивания молока, управления микроклиматом шампиньонницы и др.) с разработкой (системы измерения, визуализации и архивации температурных режимов; системы весового дозирования; системы стабилизации вакуума в молокопроводе; системы зависимого управления

режимами сушки; системы регулирования температуры, с моделированием системы регулирования влажности и др.).

– Модернизация автоматизированной системы управления зерносушилкой (сыроизготовителем, микроклиматом универсального инкубатора, системой вентиляции фермы крупного рогатого скота и др.) с разработкой средств визуализации и архивации температурно-влажностных режимов сушки (схемы регулирования уровня кислотности сырного зерна, с моделированием системы автоматического регулирования температуры в инкубаторе, средств аварийного оповещения и удаленного доступа в сети Интернет и др.).

– Проектирование роботизированного оборудования доения коров (подгребания корма, удаления навоза, откорма свиней и др.) с разработкой алгоритма кормления по «кривым роста» (программно-технических средств контроля поедаемости кормов, средств визуализации управления, системы идентификации животных).

Окончательно темы дипломных проектов формулируются выпускающей кафедрой после прохождения студентами преддипломной практики и утверждаются приказом ректора УВО.

Руководитель дипломного проекта в соответствии с темой выдает студенту задание на проектирование на бланке установленного образца (пример задания приведен в приложении А), в котором указывает тему дипломного проекта, исходные данные и перечень материалов, которые должны быть собраны во время преддипломной практики; перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, и состав графической части.

Содержательно дипломное проектирование охватывает следующие вопросы:

– анализ целесообразного объема автоматизации технологического процесса или установки на базе материалов конкретного хозяйства;

– поиск современных технических решений для реализации комплекса требований по обеспечению энергоэффективности, безопасности, безотходности и т. п. на базе современных устройств автоматического управления; формулирование технического задания на проектирование;

– разработка алгоритма управления и реализация его в структуре управления либо обоснование контуров регулирования определением качества регулирования путем моделирования (либо совмещая два этих направления разработки в комплексной системе автоматического управления);

– конфигурирование микропроцессорной (компьютерной) системы управления и выбор технических средств автоматизации;

– разработка программы управления, средств визуализации управления;

– разработка полной принципиальной схемы управления, регулирования, контроля и сигнализации, монтажной документации, документации на щиты автоматики;

- определение надежности предлагаемой автоматизированной системы и разработка мер по повышению надежности;
- разработка программы работ по монтажу и наладке автоматизированной системы;
- углубленная разработка специального вопроса;
- разработка мер по вопросам охраны труда персонала, обслуживающего средства автоматизации;
- экономическое обоснование эффективности предлагаемой автоматизированной системы.

Объем графической части дипломного проекта должен составлять не менее 8 листов формата А1 [1, с. 17]. Состав графической части определяется темой проекта и заданием на проектирование и может быть выбран в соответствии с таблицей 1.1.

Таблица 1.1 – Примерный состав графической части дипломного проекта

Наименование чертежа	Ориентировочный объем, лист формата А1
Генплан с сетями инженерного обеспечения (электрическими, тепловыми и др.)	1 (В*)
Схема электрическая принципиальная питающей и распределительной сети	0,5 (1)
План расположения средств автоматизации	1 (2)
Схема принципиальная электрическая управления (сигнализации, регулирования и др.)	1 (2)
Схема автоматизации	1
Блок-схема алгоритма управления, программа управления	1 (2)
Графики, модели, результаты исследования по спецвопросу	0,5 (В)
Молниезащита. Заземляющее устройство, устройство выравнивания электрических потенциалов	В
Щит (пульт) управления (автоматики), общий вид, схема соединений и подключений	1(2)
Таблица технико-экономических показателей (или сравнения вариантов)	1

* Знак «В» означает возможность выполнения чертежа.

Состав и содержание пояснительной записки дипломного проекта зависят от специфики и особенностей темы дипломного проекта. При структурном построении записки исходят из следующих основных критериев [1, с. 17]:

- полное раскрытие темы дипломного проекта;
- логическая последовательность изложения вопросов темы;
- аргументация принимаемых решений;
- конкретность изложения результатов разработок.

Обычно пояснительная записка содержит следующие разделы (с ориентировочным объемом в %):

Введение (1 %–2 %);

1 Исходные данные (6 %–8 %);

2 Общая часть автоматизации объекта (35 %–45 %);

3 Специальная часть (25 %–35 %);

4 Охрана труда (10 %);

5 Техничко-экономическое обоснование проекта (10 %);

Заключение (1 %–2 %).

Введение (нумерованный раздел) характеризует современное содержание тех вопросов и проблем, которым посвящен дипломный проект. Во введении обосновывается необходимость проведения именно этой работы, показывается ее место среди аналогичных работ, определяется актуальность и новизна разрабатываемой темы, цель проекта и планируемые результаты.

В исходных данных необходимо предусмотреть следующие подразделы:

- производственная характеристика хозяйства;
- характеристика объекта проектирования;
- технология производства;
- характеристика мест размещения технических средств, климатологические параметры.

В подразделе «Производственная характеристика хозяйства» приводят наименование, месторасположение объекта проектирования, удаленность от ближайшей железнодорожной станции, виды и количество производственных участков; называют центральную усадьбу; перечисляют основные направления и технико-экономические показатели производственной деятельности хозяйства; дают краткое описание уровня электрификации и автоматизации и характеристику службы главного энергетика хозяйства. Здесь же могут быть приведены сведения о существующих источниках тепло- и водоснабжения и наружных сетях инженерного обеспечения.

В подразделе «Характеристика объекта проектирования» описывают состояние автоматизации объекта, существующий объем средств управления и автоматизации, надежность оборудования и средств управления, управляемые величины, требуемый закон и диапазон их изменения, способы управления, связь между входными и выходными величинами, анализируют причины выхода из строя оборудования, организацию эксплуатации и наладки технических средств автоматики, требования к автоматизации объекта.

В подразделе «Технология производства» дают описание технологических процессов объекта проектирования (включая режимы работы, продолжительность

работы, число смен в сутки и т. п.), при этом обращается внимание на наличие технологических линий и связей между механизмами этих линий; приводят характеристики технологических параметров процессов объекта проектирования; раскрывают характеристики электрооборудования; дают рекомендации по улучшению технологического процесса (раскрывая, за счет автоматизации каких операций или процесса в целом этого можно достичь), по внедрению способов и устройств, заменяющих ручной труд, улучшающих качество продукции, увеличивающих производительность труда, формулируют цель и задачи автоматизации конкретного технологического процесса или установки.

В подразделе «Характеристика мест размещения» приводят данные:

- об условиях эксплуатации технических средств автоматизации, электрооборудования и электропроводок – характеристику внешних воздействий, климатические факторы (температура, влажность и др.) в основных помещениях;
- характеристики помещений по условиям окружающей среды, по условиям опасности поражения электрическим током людей и животных;
- характеристики помещений по взрывной, пожаровзрывной и пожарной опасности;
- основные климатические параметры, необходимые для выполнения проекта.

Содержание разделов **«Общая техническая часть»** и **«Специальная часть»** зависит от поставленных в теме дипломного проекта задач и направленности темы.

Примерное содержание раздела **«Общая техническая часть»**:

- технологические (зоотехнические, безопасности, экологические и др.) требования к процессу (установке, линии) и анализ вариантов реализации системы автоматизации технологического процесса (установки, линии);
- определение объема автоматизации и структуры системы автоматизации;
- выбор технических средств автоматизации;
- разработка алгоритма и структуры управления;
- разработка программы и средств визуализации управления;
- разработка полной принципиальной электрической схемы автоматического управления, регулирования, контроля и сигнализации;
- разработка схемы питающей и распределительной сети (характеристики электрооборудования и исполнительных устройств объекта автоматизации, категорию надежности электроснабжения объекта автоматизации, определение места расположения электрического ввода в здание объекта, расчет электрических нагрузок, параметров сетей и выбор вводно-распределительного устройства, аппаратуры защиты и управления, расчет и выбор электропроводок);

- разработка щита автоматики;
- расчет надежности системы автоматизации;
- разработка монтажной документации, программы работ по монтажу и наладке автоматизированной системы.

Научно-исследовательская работа студента-дипломника по теме проектирования излагается обычно в специальной части проекта. Содержание раздела **«Специальная часть»** определяется заданием на дипломное проектирование. Например, разработка системы измерения, визуализации и архивации температурных режимов или моделирование системы регулирования температуры или разработка средств аварийного оповещения и удаленного доступа в сети Интернет и т. п. Примеры проработки вопросов такой части приведены в подразделах 2.2.4 и 2.2.6. Другие примеры можно найти в учебных пособиях по специальным дисциплинам «Теория автоматического управления», «Микропроцессорная техника систем автоматизации», «Компьютерные сети» и др.

В разделе «Охрана труда» рекомендуется привести:

- анализ состояния охраны труда на объекте проектирования;
- меры безопасности при монтаже (эксплуатации) проектируемых электроустановок и оборудования;
- меры пожарной безопасности на объекте;
- расчет эффективности предлагаемых мер защиты от поражения электрическим током (заземления, зануления и т. п.).

В разделе «Технико-экономическое обоснование проекта» выполняют расчет технико-экономических показателей разработанных систем (установок) и (или) технико-экономическое обоснование принятых решений путем сравнения с базовым вариантом.

В заключении приводят основные выводы по результатам дипломного проекта.

Таким образом, основной раздел дипломного проекта («Общая техническая часть») выполняется в соответствии с принципами и методикой разработки систем автоматизации сельскохозяйственного производства, раскрытыми в пособии. Для углубленной проработки вопросов специальной части необходимо обращаться к учебным пособиям специальных дисциплин. Для выполнения раздела 4 «Охрана труда» можно рекомендовать пособие [2], раздела 5 «Технико-экономическое обоснование проекта» – пособие [3]. Оформление пояснительной записки и графической части дипломного проекта должно отвечать требованиям [1].

1.2 Требования к теме курсового проекта по дисциплине «Системы автоматизации сельскохозяйственного производства»

В качестве темы курсового проекта принимается разработка системы автоматизации конкретной технологической установки или линии (зерносушилка, линия

приготовления и раздачи корма, система вентиляции помещения и т. д.), то есть комплексного объекта автоматизации, для которого должны быть предусмотрены контуры управления, регулирования, контроля.

В задании приводятся технологические требования, требования к системе управления, описание возможных технологических линий или установок. Примерные варианты заданий приведены в приложении Б. Студент может предложить тему самостоятельно на основании изучения литературы [4–6] либо другой, содержащей подробное описание технологического процесса, или на основании результатов пройденной производственной практики. При этом руководитель может согласиться с предложенной темой, либо скорректировать ее, либо предложить тему по собственному усмотрению. Предварительно сформулированные темы курсового проекта обсуждаются на заседании кафедры и утверждаются заведующим кафедрой.

Однако и в первом, и во втором случае студенту требуется изучить научно-техническую литературу, патенты, технологические и другие требования. На этом основании определяются возможности той или иной технологической линии (процесса) с конкретным технологическим оборудованием, анализируются режимы работы, составляется подробное описание алгоритма функционирования технологического процесса, выявляются пути его автоматизации, возможный объем автоматизации, то есть подробно формулируются требования к системе автоматизации. На основании подробного описания и требований к системе руководитель и студент совместно формулируют задание на проектирование, пример которого приведен в приложении В.

1.3 Структура и содержание курсового проекта

В курсовом проекте должны быть проанализированы возможные технологические схемы, их преимущества для реализации технологических требований, выполнен выбор приемлемой технологической линии или установки, сформулированы технические требования к системе автоматизации, разработан алгоритм управления, при наличии контуров регулирования проведено моделирование системы автоматического регулирования, разработан вариант визуализации контроля и управления установкой или линией, предложен целесообразный вариант реализации системы питания СА, разработана полная принципиальная схема управления, щит автоматики и монтажная документация, рассчитана надежность СА и предложены меры по обеспечению высокой надежности работы системы.

Решения по этим вопросам раскрывают в тексте пояснительной записки и иллюстрируют в документации графической части проекта. Таким образом, структурно курсовой проект состоит из двух частей:

- пояснительной записки (ПЗ), содержащей исходные данные для проектирования, расчеты, пояснения, описания, таблицы, иллюстрации;
- графической части, наглядно представляющей выполненную работу и полученные результаты.

На листах графического материала в соответствии требованиями к СА должны быть представлены:

- 1) схема автоматизации установки или линии;
- 2) принципиальная схема питающей и распределительной сети;
- 3) полная принципиальная электрическая схема управления;
- 4) общий вид щита автоматики (перечень элементов щита, вид спереди, вид на внутренние плоскости, таблица надписей на табло и в рамках);
- 5) монтажная документация (таблицы соединений, таблицы подключений, схема соединений внешних проводок).

Формат листов графической части выбирают самостоятельно в зависимости от объема графического материала.

Оформление пояснительной записки и графического материала должно отвечать требованиям [1].

Структурно ПЗ КП состоит из следующих элементов (материалы приведены в порядке их расположения):

- титульного листа;
- задания на проектирование;
- ведомости комплекта проектной документации;
- реферата;
- текста ПЗ с иллюстративным материалом, таблицами и т. п.;
- списка использованных источников;
- приложений.

ПЗ должна быть сброшюрованной в папке со скоросшивателем и прозрачной первой страницей.

Титульный лист является первой страницей ПЗ. Выполняется на бланке установленной формы. На титульном листе рамки не выполняются, штамп основной надписи не приводят. Пример выполнения титульного листа приведен в приложении В.

Задание на проектирование является главным руководством, на основании которого разрабатывается проект. Задание выполняется на бланке установленного

образца, который выдается руководителем курсового проекта. При получении задания студент ставит свою подпись на нем. Пример задания приведен в приложении В.

Ведомость комплекта проектной документации является сводным перечнем всех материалов, разработанных при проектировании. Пример заполнения ведомости комплекта проектной документации приведен в приложении В.

Реферат – это 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 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, отражающее цель работы, методы разработки, принятые решения, приводят итоговые результаты и основные показатели, указывают возможности внедрения основных результатов проекта.

Образец реферата приведен в приложении В.

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 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.). Не рекомендуется проводить подробное деление материала. На первой странице содержания приводят основную надпись по форме, соответствующей основной надписи первого листа текстового материала (см. приложение Г).

Список использованных источников. Составление списка использованных источников является завершением курсового проекта, основой для которого служат записи всех просмотренных и изученных книг, статей из сборников и журналов и других материалов. Библиографическое описание источников для списка составляют непосредственно по произведению печати или выписывают из каталогов полностью, без пропусков каких-либо элементов, сокращения заглавий и т. д. Все библиографические записи в списке литературы составляют по определенным правилам в соответствии с [1, с. 138].

Текстовая часть ПЗ должна содержать следующие разделы:

Введение.

1 Технологические требования к процессу и анализ вариантов реализации системы автоматизации технологической линии или установки.

2 Определение структуры системы автоматизации. Выбор технических средств автоматизации.

3 Разработка алгоритма, структуры и программы управления.

4 Моделирование САР.

5 Разработка средств визуализации управления.

6 Разработка полной принципиальной схемы управления.

7 Разработка схемы питающей и распределительной сети.

8 Расчет надежности системы автоматизации. Средства обеспечения надежности.

9 Разработка щита автоматики.

10 Разработка монтажной документации.

Заключение.

Краткое содержание разделов ПЗ КП

Введение. Во введении к КП должно быть отражено значение автоматизации для конкретного технологического процесса, или установки, или линии, актуальность разработки системы автоматизации. Также приводится цель и задачи, решаемые в ходе курсового проектирования.

Технологические требования к процессу и анализ вариантов реализации системы автоматизации технологической линии или установки. В разделе в рамках задачи, определенной заданием на проектирование, приводят технологические требования, на основании литературного анализа (рассмотреть от трех до пяти литературных источников) раскрывают возможные варианты реализаций технологических процессов (линий, установок), выявляют их достоинства и недостатки, делают вывод о наиболее целесообразном для решения задачи, поставленной в задании на проектировании, технологическом процессе (установке). При необходимости выбирают дополнительное технологическое оборудование. Далее

дают подробное описание принципа действия и функционирования технологического процесса (установки). Если использован вариант задания без указания мощности электроприводов, то следует остановиться на выборе и расчете электропривода либо привести их по литературным или каталожным данным. Согласно данным литературных источников также приводят возможные варианты реализации системы автоматизации, раскрывают их недостатки и достоинства и подробно останавливаются на системе, которую будут реализовывать в рамках курсового проекта. Определяют приемлемый объем автоматизации, то есть состав необходимых датчиков, первичных преобразователей, устройств управления, исполнительных устройств и т. п. Обоснованный объем автоматизации раскрывают на схеме автоматизации.

Определение структуры системы автоматизации. Выбор технических средств автоматизации. Формулируют требования к системе управления, где должны быть раскрыты функции САУ, сформулированы алгоритм функционирования и алгоритм управления, определены параметры, подлежащие управлению, регулированию, контролю, сигнализации, отражены требования к качеству управления, надежности САУ, предложения по размещению щитов и т. п. Представляют систему автоматизации в виде структурной схемы, где условно показывают связь устройства управления с командными и другими аппаратами и исполнительными механизмами. Определяют также вид автоматического устройства управления (АУУ) (автомат, регулятор, управляющая машина), от которого зависит выбор методики проектирования системы автоматизации. Выбирают технические средства автоматизации (устройство управления, датчики, нормирующие преобразователи, исполнительные устройства).

Разработка алгоритма, структуры и программы управления. В разделе разрабатывают структуру управления, реализуемую системой автоматизации. На основании словесного описания алгоритма составляют символическую запись алгоритма управления и проверяют его на правильность и реализуемость. В соответствии с теорией синтеза релейно-контактных схем по символической записи алгоритма управления разрабатывают частные структурные формулы исполнительных элементов, сводят в общую структуру управления, минимизируют цепи управления и проверяют, чтобы исключить ложное срабатывание исполнительных элементов. На основании структуры управления, контуров регулирования и выбранных средств визуализации, а также типа устройства управления разрабатывают программу управления на поддерживаемом языке и описывают ее работу.

Моделирование САУ. Если устройство управления должно выполнять функцию регулирования, то в данном разделе разрабатывают контуры регулирования, подбирают параметры регулятора и анализируют качество регулирования. При этом подбирают аппаратуру контура регулирования, составляют функциональную

и структурную алгоритмическую схему САР (математическое описание звеньев может быть взято из литературных источников или каталожных данных устройств либо может быть проведена идентификация объекта регулирования по литературным или экспериментальным данным). Далее структурную схему адаптируют для анализа, например, в пакете MatLAB, подбирают параметры контура регулирования и сравнивают качество регулирования, обеспечиваемое оптимизированной и неоптимизированной САР.

Разработка средств визуализации управления. В разделе решают вопрос отслеживания управляемых, регулируемых и контролируемых параметров, выбирают средства визуализации (экран компьютера, панель оператора или аппаратура сигнализации), разрабатывают необходимый состав окон для панели оператора, либо экраны отображения параметров, выводимые на компьютер, либо вариант компоновки сигнальной аппаратуры, останавливаются также на средствах обеспечения связи между техническими и программными средствами.

Разработка полной принципиальной схемы управления. Осуществляют перевод структуры управления в принципиальную электрическую схему, учитывая особенности выбранных технических средств автоматизации (ТСА) и возможности реализации контуров регулирования, дополняя защитными аппаратами, цепями ручного управления, сигнализации, контроля. Приводится также подробное описание работы принципиальной схемы.

Разработка схемы питающей и распределительной сети. Определяют категорию электроснабжения объекта и на этом основании разрабатывают схемы питающей и распределительной сети, выбирают аппаратуру защиты и управления, подбирают вводно-распределительное устройство.

Расчет надежности САУ. Средства обеспечения надежности. Определяют аппаратный состав системы автоматизации и характеристики надежности для ее элементов, проводят прикидочный расчет надежности. Если результаты прикидочного расчета удовлетворяют требованиям обеспечения надежности, то на этом расчет заканчивают, иначе проводят окончательный расчет надежности с учетом структурных схем надежности и поправочных коэффициентов, определяют средства обеспечения надежности.

Разработка щита автоматики. Определяют исходные данные для компоновки щита автоматики, подсчитывают монтажную зону, занимаемую аппаратами (результаты расчета сводят в таблицу). Выбирают типоразмер щита. Описывают, как будут размещать аппаратуру. Ссылаются на графическую часть.

Разработка монтажной документации. Рассчитывают сечения и подбирают электропроводки. Раскрывают принципы разработки таблиц соединений и подключений, схемы соединения внешних проводок. Ссылаются на графическую часть.

Заключение. Раскрывают суть примененного технического решения и показывают, в чем будет выражаться эффект системы автоматизации.

2 Разработка проекта системы автоматизации технологического процесса (установки) сельскохозяйственного производства

2.1 Постановка задачи проектирования системы автоматизации

Формулирование требований к системе автоматизации технологического процесса (установки), определенного темой проекта, требует досконального изучения технологических требований, анализа научно-технической литературы, патентов, типовых решений в отрасли сельскохозяйственного производства, заданного темой проекта. На основании анализа делают вывод о целесообразности использования той или иной технологической линии (или установки) в определенных заданием условиях. При этом детально описывают работу технологической линии (или установки). Рассматривают возможные варианты объема автоматизации технологического процесса и выбирают наиболее рациональный. Затем требования к системе автоматизации оформляют по установленной форме (приложение В).

Рассмотрим методику формулирования требований к СА на конкретном примере. В задании на проектирование определена тема – разработка системы автоматизации паровой котельной установки (вариант 3 приложения Б). Таким образом, цель курсового проекта – обоснование оптимального варианта системы автоматизации паровой котельной установки с учетом требований функциональности, безопасности и экономичности. Для этого следует решить следующие задачи: проанализировать технологические требования к процессу производства пара, возможные варианты установок, их преимущества и недостатки, возможные варианты автоматического управления котельной установкой, на основании анализа определить приемлемый объем автоматизации котельной установки, сформулировать технические требования к системе автоматизации котельной установки, разработать наиболее экономически целесообразный вариант автоматического управления, регулирования и контроля с учетом новейших разработок в области технических средств автоматики и устройств управления, схемно реализовать этот вариант управления, провести моделирование системы автоматического регулирования (по одному из контуров регулирования) и определить параметры качества регулирования, предложить целесообразный вариант реализации системы питания СА, рассчитать надежность СА и в случае необходимости предложить меры по обеспечению высокой надежности работы системы, а также разработать проектную документацию.

Технологические требования к процессу и анализ вариантов реализации системы автоматизации котельной установки

Тепловая энергия в общем потреблении энергии сельским хозяйством составляет 60 %–80 % [4, с. 501]. Она расходуется на отопление жилых, производственных

и животноводческих помещений, приготовление пищи и корма, подогрев воды и получение пара, подогрев почвы и воздуха в сооружениях защищенного грунта и т. д.

В сельском хозяйстве используется ряд огневых паровых котлов паропроизводительностью от 200 до 4000 кг/ч, давлением от 0,1 до 1,3 МПа, температурой от 110 °С до 190 °С.

В котельных тепличных комбинатов устанавливают пароводяные котлы. Эти котлы в водогрейном режиме подогревают воду до температуры от 70 °С до 95 °С для обогрева теплиц, а в паровом режиме вырабатывают пар давлением 0,2 МПа температурой ≈ 130 °С для пропаривания почвы и собственных нужд.

В данном случае предполагается использование котельной для теплоснабжения тепличного хозяйства кооператива и его собственных нужд, обеспечения теплоснабжения ферм. Поэтому следует остановиться на использовании паровой котельной.

Паровым котлом называется устройство, имеющее топку, обогреваемую продуктами сжигаемого в ней топлива [7]. Предназначено для получения пара с давлением выше атмосферного, используемого вне самого устройства. Установка состоит из ряда теплообменных устройств, связанных между собой и служащих для передачи тепла от продуктов сгорания топлива к воде и пару. Исходным носителем энергии, наличие которого необходимо для образования пара из воды, служит топливо. Основными элементами рабочего процесса, осуществляемого в котельной установке, являются: процесс горения топлива, процесс теплообмена между продуктами сгорания или самим горящим топливом с водой, процесс парообразования, состоящий из нагрева воды, ее испарения и нагрева полученного пара [8, с. 11].

В настоящее время промышленность предлагает к использованию множество паровых котлов: котлы марки КП различной производительности на газовом и жидком топливе [9], Ferrolі [10] и др. Однако высокой надежностью отличаются котлы ДКВр [11].

Котлы паровые серии ДКВр – это двухбарабанные, вертикально-водотрубные котлы с естественной циркуляцией. Естественная циркуляция образуется в замкнутом контуре за счет разности плотностей смеси в опускных и подъемных трубах. Котлы данной серии имеют возможность перевода в водогрейный режим. Производятся мощностью от 2,5 до 20 тонн пара/в час (т/ч), давлением 1,3 МПа и температурой перегретого пара 194 °С. Но технические характеристики котла могут достигать значений давления пара 3,9 МПа и температуры до 440 °С. Отличительной особенностью ДКВр, работающих на газе и жидком топливе, является наличие двух или трех топливных трактов, то есть к фронту котла подводятся две топливные магистрали, а к котлу ДКВр 20-13 ГМ – три. Это дает существенную экономию топлива и позволяет работать на более низком давлении по сравнению с аналогами.

Схема паровой котельной установки показана на рисунке 2.1. Топливо, как правило мазут, поступает в смеси с воздухом через горелочное устройство в топку и горит в виде факела. Воздух нагнетается с помощью дутьевого вентилятора. Продукты горения – раскаленные дымовые газы, проходя через дымоходы, отдают тепло различным поверхностям теплопередачи и выбрасываются дымососом в дымовую трубу. Питательная вода, нагретая в водяном экономайзере, предварительно очищенная от накипеобразующих примесей и растворенного в ней воздуха, подается в барабан, вмурованный в топку котла. Вода испаряется в трубах, экранирующих топку изнутри. Насыщенный пар собирается в барабане над поверхностью воды и поступает в пароперегреватель, предназначенный для испарения брызг воды, содержащихся в насыщенном паре, и доведения его температуры до заданного значения.

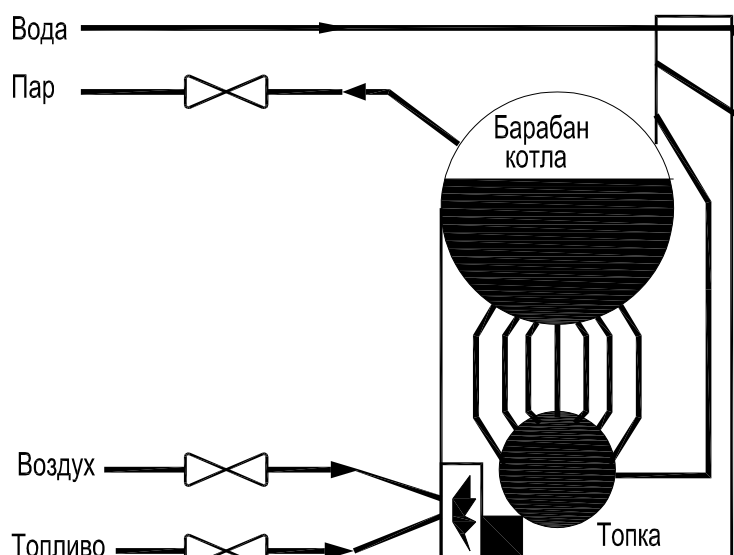


Рисунок 2.1 – Схема котельной установки

Во время работы в котлоагрегатах образуются два взаимодействующих друг с другом потока: поток рабочего тела и поток образующегося в топке теплоносителя. В результате этого взаимодействия на выходе объекта получается пар заданного давления и температуры. Одной из основных задач, возникающей при эксплуатации котельного агрегата, является обеспечение равенства между производимой и потребляемой энергией. В свою очередь процессы парообразования и передачи энергии в котлоагрегате однозначно связаны с количеством вещества в потоках рабочего тела и теплоносителя.

Горение топлива является сплошным физико-химическим процессом. Химическая сторона горения представляет собой процесс окисления его горючих элементов кислородом, проходящий при определенной температуре и сопровождающийся выделением тепла. Интенсивность горения, а также экономичность

и устойчивость процесса горения топлива зависят от способа подвода и распределения воздуха между частицами топлива. Условно принято процесс сжигания топлива делить на три стадии: зажигание, горение и дожигание. Эти стадии в основном протекают последовательно во времени, частично накладываются одна на другую.

Регулирование питания котельных агрегатов и регулирование давления в барабане котла главным образом сводится к поддержанию материального баланса между отводом пара и подачей воды. Параметром, характеризующим баланс, является уровень воды в барабане котла. Надежность работы котельного агрегата во многом определяется качеством регулирования уровня. При повышении давления, снижение уровня воды ниже допустимых пределов может привести к нарушению циркуляции в экранных трубах, в результате чего произойдет повышение температуры стенок обогреваемых труб и их пережег. Повышение уровня также ведет к аварийным последствиям, так как возможен заброс воды в пароперегреватель, что вызовет выход его из строя. В связи с этим, к точности поддержания заданного уровня предъявляются очень высокие требования.

Регулирование соотношения «газ–воздух» необходимо как чисто физически, так и экономически. Известно, что одним из важнейших процессов, происходящих в котельной установке, является процесс горения топлива. Химическая сторона горения топлива представляет собой реакцию окисления горючих элементов молекулами кислорода. Для горения используется кислород, находящийся в атмосфере. Воздух в топку подается в определенном соотношении с газом посредством дутьевого вентилятора. Соотношение «газ–воздух» примерно составляет 1:10. При недостатке воздуха в топочной камере происходит неполное сгорание топлива. Несгоревший газ будет выбрасываться в атмосферу, что экономически и экологически недопустимо. При избытке воздуха в топочной камере будет происходить охлаждение топки, хотя газ будет сгорать полностью, но в этом случае остатки воздуха будут образовывать двуокись азота, что экологически недопустимо, так как это соединение вредно для человека и окружающей среды.

Система автоматического регулирования разрежения в топке котла требуется для поддержания топки под наддувом, то есть чтобы поддерживать постоянство разрежения (примерно 4 мм. вод. ст.). При отсутствии разрежения пламя факела будет прижиматься, что приведет к обгоранию горелок и нижней части топки. Дымовые газы при этом пойдут в помещение, что делает невозможным работу обслуживающего персонала.

Таким образом, для паровой котельной установки СА должна обеспечить: безопасность запуска и эксплуатации котла, регулирование основных процессов (нагрузки, питания, соотношения «топливо–воздух», разрежения в топке),

дистанционное (и/или удаленное) управление, контроль технологических параметров и сигнализацию.

Построение основных контуров регулирования подчиняется типовым принципам (рисунок 2.2) в соответствии с [5, с. 341].

Регулятор нагрузки котла (рисунок 2.2, а) состоит из датчика давления 1а, регулирующего прибора 1б и исполнительного механизма, регулирующего подачу топлива в топку (обычно реализуется П-закон).

Регулятор соотношения «топливо–воздух» (рисунок 2.2, б) при работе на газовом топливе строит на базе регулирующего прибора 2в по двухимпульсной схеме. Один импульс поступает от дифманометра 2а, контролирующего давление газа, а второй – от дифманометра 2б, измеряющего разность давлений в воздухопроводе и атмосферного воздуха. При работе котла на мазуте с помощью переключателя регулирующей прибор 2в переводят на трехимпульсную схему. При этом импульс от расходомера газа отключается и в схему подаются импульсы от расходомера пара.

Автоматизированная система регулирования (АСР) питания котла (рисунок 2.2, в) аналогична регулятору нагрузки котла и состоит из датчика уровня воды в котлоагрегате 3а, регулирующего прибора 3б, реализующего П-закон регулирования и исполнительного механизма, обеспечивающего непрерывную подачу воды в котел.

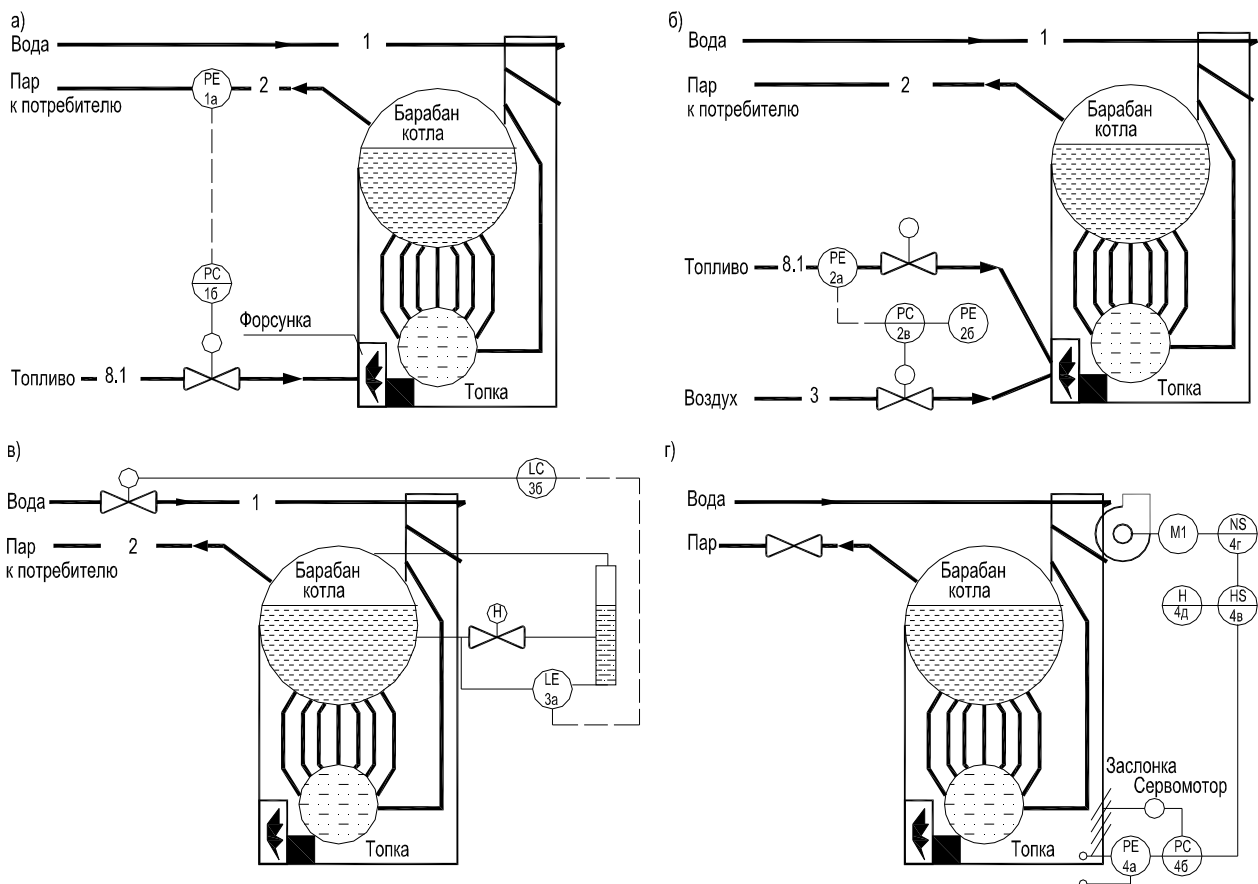


Рисунок 2.2 – Схемы АСР парового котла:

а – регулятор нагрузки котла; б – регулятор соотношения «топливо–воздух»;
в – АСР питания котла; г – АСР разрежения

АСР разрежения в топке (рисунок 2.2, з). Импульс к регулирующему прибору 4б поступает от дифманометра 4а, измеряющего разрежение в топке. Регулирующий прибор подает сигнал на заслонку управляющую сервомотором. При полностью закрытой заслонке и недостаточном разрежении в топке включается дополнительно вытяжной вентилятор. Регулирующий прибор реализует ПИ-закон регулирования.

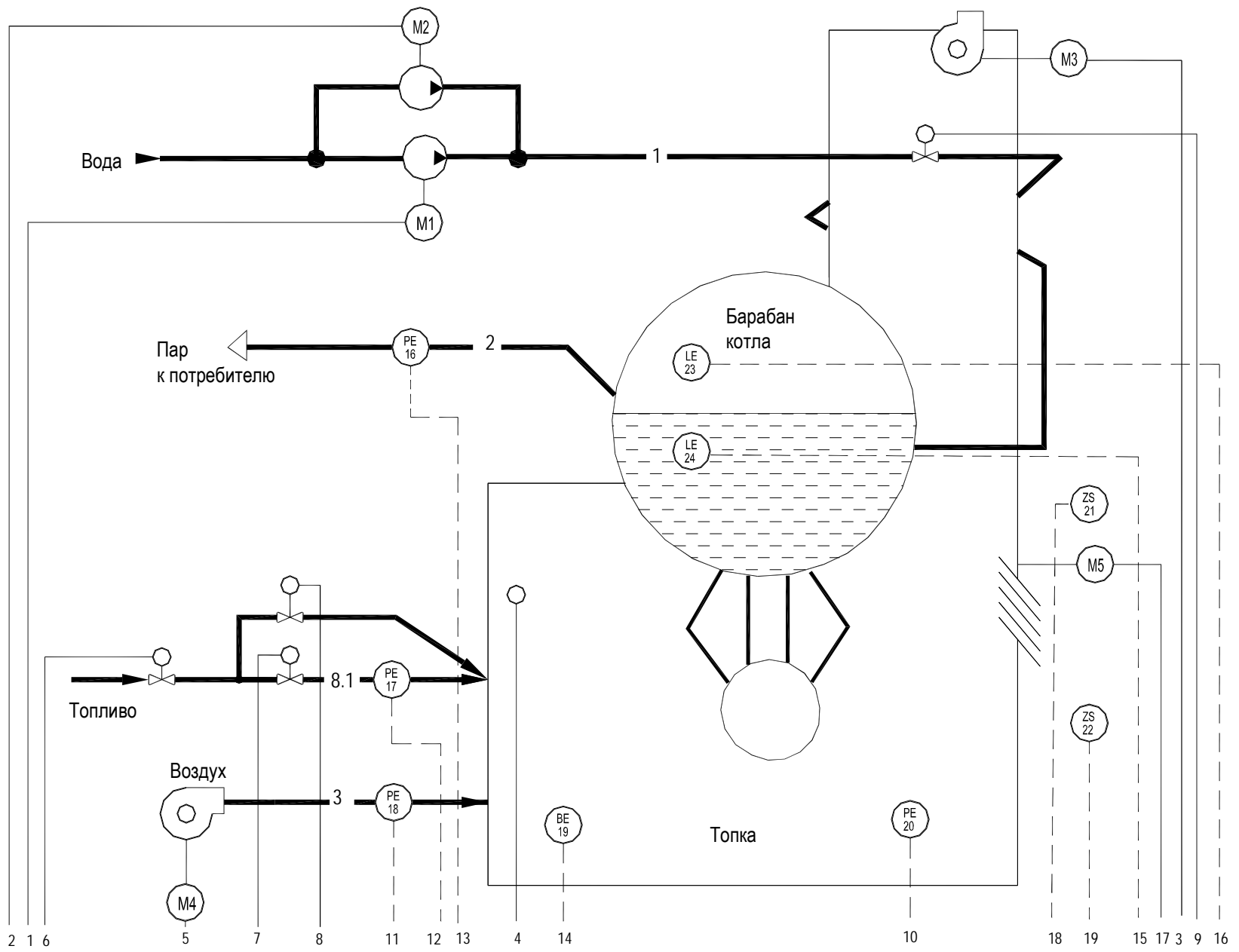
Однако следует заметить, что по сравнению с традиционными схемами в настоящее время реализовать контур соотношения «топливо–воздух» можно, используя частотный преобразователь. Это обеспечит некоторое энергосбережение и упростит построение контура регулирования за счет исключения некоторого технологического оборудования – заслонки с регулируемым приводом.

Таким образом, обеспечить безопасную и эффективную работу парового котла можно с помощью автоматизированной системы управления на базе контроллера в качестве устройства управления.

С целью обеспечения безопасной работы котельной установки необходимо контролировать следующие параметры: давление пара, топлива, воздуха, разрежение в топке котла, уровень воды в барабане котла, наличие пламени. Следовательно, необходимо установить датчики, которые будут подавать сигнал на устройство управления. В качестве устройства управления предусматривается контроллер. Для подачи воды в котел используется два насоса (основной и резервный). Для регулирования подачи воды и топлива используются клапаны. Для подачи воздуха при зависимом регулировании в контуре «топливо–воздух» используется воздуходувка с электродвигателем, частота вращения которого будет меняться с помощью преобразователя частоты и обеспечивать изменение необходимой подачи воздуха. Для обеспечения разрежения в топке котла используются заслонки при их открытии и закрытии с помощью сервомотора или, если не справляются заслонки, то тогда подключается в работу вентилятор.

В соответствии с требованиями [12, с. 120] приведем данный объем датчиков и исполнительных устройств на схеме автоматизации (рисунок 2.3). Также требования по оформлению схем автоматизации раскрыты в приложении Д. Обозначения приборов и средств автоматизации для рассматриваемого примера раскрыты в таблице 2.1.

В нижней части чертежа показываем щит автоматики с установленным в нем контроллером (отображаем в виде прямоугольника) и раскрытыми подключениями датчиков и исполнительных элементов. Здесь же предусматриваем установку панели оператора (ПО) в прямоугольнике щита (НМІ) для возможности визуализации управления. ПО позволит оперативно отслеживать ход процесса, кроме того, с ее помощью можно предусмотреть задание оператором количества пара, в соответствии с которым должны быть обеспечены оптимальные режимы нагрева воды.



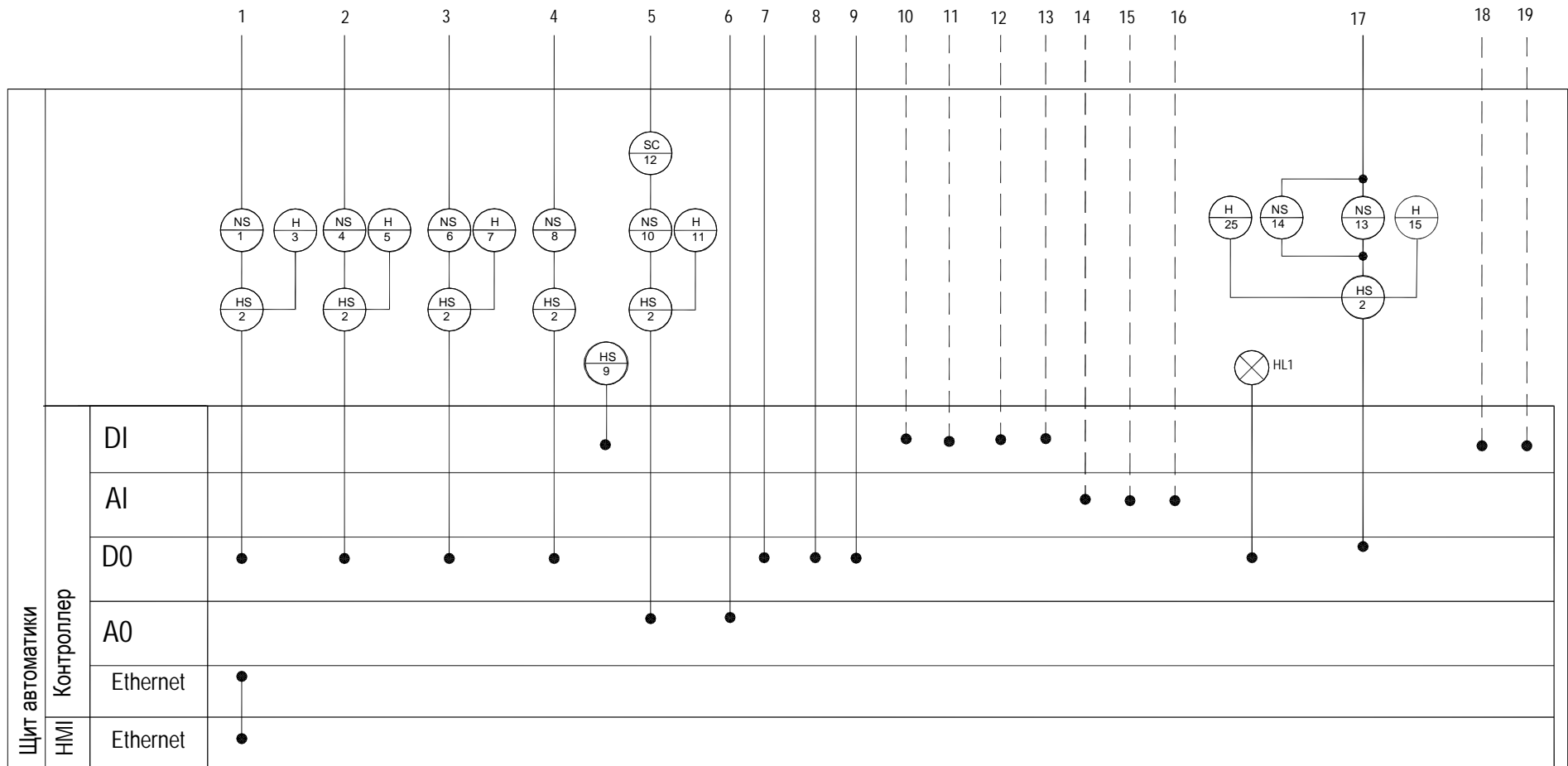


Рисунок 2.3 – Схема автоматизации паровой котельной установки

Таблица 2.1 – Обозначения приборов и средств автоматизации на схеме рисунка 2.3

Обозначение (позиция)	Наименование
<i>NS</i> (1, 4, 6, 8, 10)	Магнитные пускатели
<i>NS</i> (13, 14)	Промежуточные реле
<i>HS</i> (2)	Переключатель режимов работы (ручной, автоматический)
<i>H</i> (3, 5, 7, 9, 11, 15, 25)	Кнопки ручного управления
<i>SC</i> (12)	Преобразователь частоты
<i>PE</i> (16, 17, 18)	Датчик давления
<i>PE</i> (20)	Датчик разрежения
<i>BE</i> (19)	Датчик наличия пламени
<i>ZS</i> (21, 22)	Датчики крайних положений заслонки

Контроллер, получая сигналы от датчиков, по заданной программе управляет клапанами и двигателями через выходные сигналы.

2.2 Разработка системы автоматизации

2.2.1 Структура и состав систем автоматизации

Методика разработки системы автоматизации определяется видом автоматического управляющего устройства (АУУ).

Система автоматизации – это комплект контуров контроля, автоматического регулирования и управления, имеющих различную степень интеграции, создающих на объекте управления либо отдельные локальные системы управления, либо системы централизованного контроля и управления с различной степенью взаимных связей [13]. Фактически совокупность объекта управления (ОУ) и автоматического управляющего устройства (АУУ), взаимодействующих между собой.

В зависимости от структуры ОУ можно выделить три вида АУУ:

- автомат или логическое автоматическое управляющее устройство (ЛУУ), где все входные, выходные величины и параметры состояний могут принимать только дискретные значения и используются для управления поточными технологическими линиями, состоящими из отдельных операций и механизмов, сложные машины, состоящие из совокупности элементов; при этом цель управления – связать эти элементы, обеспечить определенную последовательность работы, переход с режима на режим при определенных условиях;

- регулятор или устройство автоматического регулирования (УАР), которое обеспечивает обратную замкнутую цепь в технологическом агрегате (установке, аппарате) для стабилизации выходного параметра (параметров) установки;

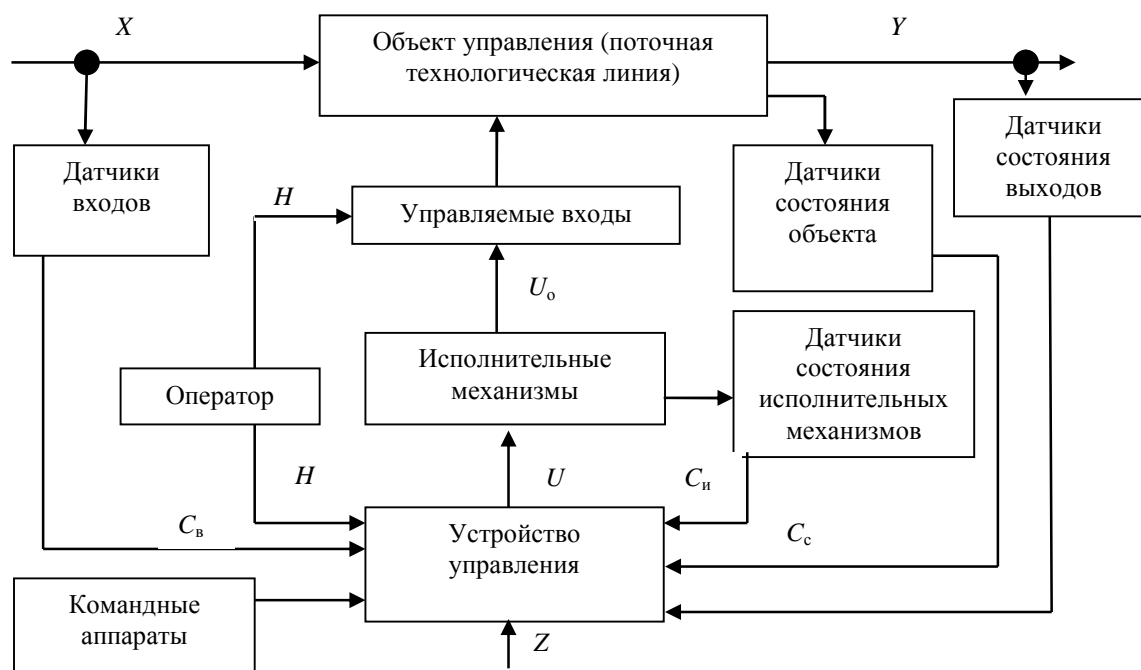
– комбинированное автоматическое управляющее устройство (КАУУ), включающее оба устройства, перечисленные выше.

Упрощенная структурная схема СА с первым видом АУУ – система автоматического управления (САУ) представлена на рисунке 2.4.

САУ помимо объекта управления составляют устройство управления, совокупность датчиков, командных аппаратов, исполнительные механизмы. Устройство управления, отслеживая состояние объекта управления по сигналам датчиков входов и выходов формирует управляющее воздействие, которое исполнительный механизм преобразует в форму, воспринимаемую управляемым входом объекта. Воздействовать на управляемые входы объекта может и оператор (вручную).

Также оператор либо командные аппараты могут взаимодействовать с устройством управления, изменяя настройки либо настраивая на иной режим работы.

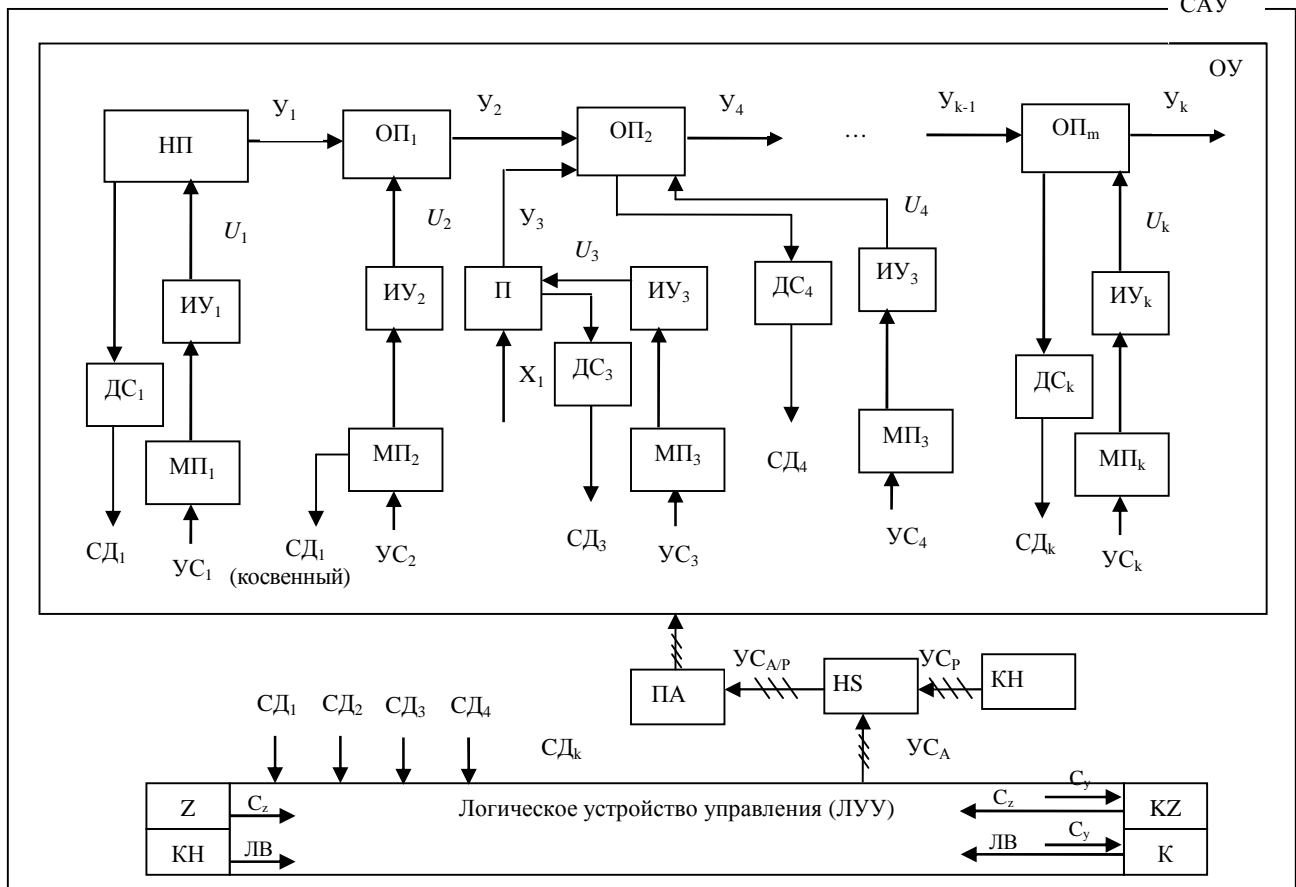
Структура объекта управления может быть представлена в виде совокупности производственных звеньев, связанных между собой материальными потоками.



X – входы объекта; Y – состояние объекта; U_o , U – управляющие воздействия;
 H – ручное воздействие; C_v , C_i , C_c , C_y – множество сигналов от датчиков, контролирующих входные и выходные параметры объекта, а также состояние агрегатов и устройств технологической линии и перерабатываемого материала;
 C_k – сигналы, формируемые командными аппаратами; Z – цель управления

Рисунок 2.4 – Обобщенная схема САУ

Объект управления может являться распределенным, в этом случае развернутая структура управления этим объектом может быть представлена рисунком 2.5.



НП – накопитель-питатель; П – питатель; ОП – технологическая операция;
 ИУ – исполнительное устройство; ДС – датчик состояния; ПА – пусковые аппараты;
 HS – переключатель режима работы (автоматический–ручной); КН – командные аппараты
 ручного воздействия; Z – программное реле времени; KZ – реле времени; К – реле;
 МП – магнитный пускатель; X – входные воздействия; Y – выходные координаты;
 U – управляющие воздействия; ЛВ – логические воздействия датчиков и командных аппаратов;
 CD – сигналы с датчиков; UC – управляющий сигнал;
 UC_A – множество управляющих сигналов автоматического управления;
 UC_P – множество сигналов ручного управления

Рисунок 2.5 – Обобщенная схема САУ (распределенный объект управления)

Как правило, звенья обработки чередуются со звеньями хранения, связанными звеньями транспортировки. Производственное звено (технологическая операция) представляет собой любое механическое или физико-химическое воздействие на продукт или преобразование одних продуктов в другие. Функционирование технологического объекта управления состоит в изменении состояния звеньев обработки и транспортировки (переход с одной операции на другую) и изменении состояния звеньев хранения (изменение количества продуктов, хранящихся в них) и обеспечивается исполнительными устройствами (ИУ).

ИУ – это устройство системы автоматического управления или регулирования, воздействующее на процесс в соответствии с полученной информацией [14].

ИУ САУ состоит из двух функциональных блоков: рабочего органа и исполнительного механизма. Часто ИУ САУ позиционного действия – «включено–выключено». В качестве ИУ САУ используются транспортеры, компрессоры, насосы и другие устройства с электроприводами, задвижки, шиберы, клапаны с приводными электромагнитами, гидро- и пневмоцилиндрами, а также устройства с электроприводами.

Функцию автоматического включения и отключения электроприводов ИМ выполняют магнитные пускатели. Они также как и контакторы, и реле преобразуют электрический сигнал в операцию – переключение контактов. Эти устройства имеют различное конструктивное решение, но в их основу положен один принцип действия [6, с. 9].

Релейные приборы используются как усилители сигнала – для включения исполнительных устройств; как размножители контактов – для исполнительных устройств, не имеющих собственных контактов (например, электромагнитных клапанов); в качестве логических элементов в схемах управления; как командные элементы в схемах контроля, защиты и сигнализации.

В качестве датчиков состояния ОУ в САУ используются датчики типа «датчик-реле». В качестве косвенного определения состояния ОУ могут применяться также контакты магнитных пускателей ИУ.

Датчиком называется преобразователь контролируемой регулируемой величины в выходной сигнал для дистанционной передачи и дальнейшего использования. Он характеризуется входными и выходными величинами, чувствительностью.

Датчик-реле применяется для определения точечного значения физических величин, таких как: температура, давление, вакуум, разность давления (для определения порогового значения уровня, расхода, протока), расход, скорость движения (по разности давления, отклонения подвижного элемента и др.), уровень (разность давления, положение поплавка, наполнение резервуара (емкости) сыпучими или жидкими материалами, размер, скорость, вращение, частота, качество (рН-потенциал, Родох-потенциал и др.). Датчик-реле используется для определения конечного или промежуточного положения подвижных элементов, расстояния между элементами, для распознавания различных материалов и т. д.

В датчиках-реле измерительный сигнал сравнивается с мерой, соответствующей установленной величине измерения. На выходе такого датчика формируется дискретный сигнал («да» или «нет»), который функционирует в цепи контроля или управления. В электрической цепи контроля или управления *контактную коммутацию* дискретного сигнала может осуществлять механический контакт, контакт реле или геркон (рисунок 2.6).

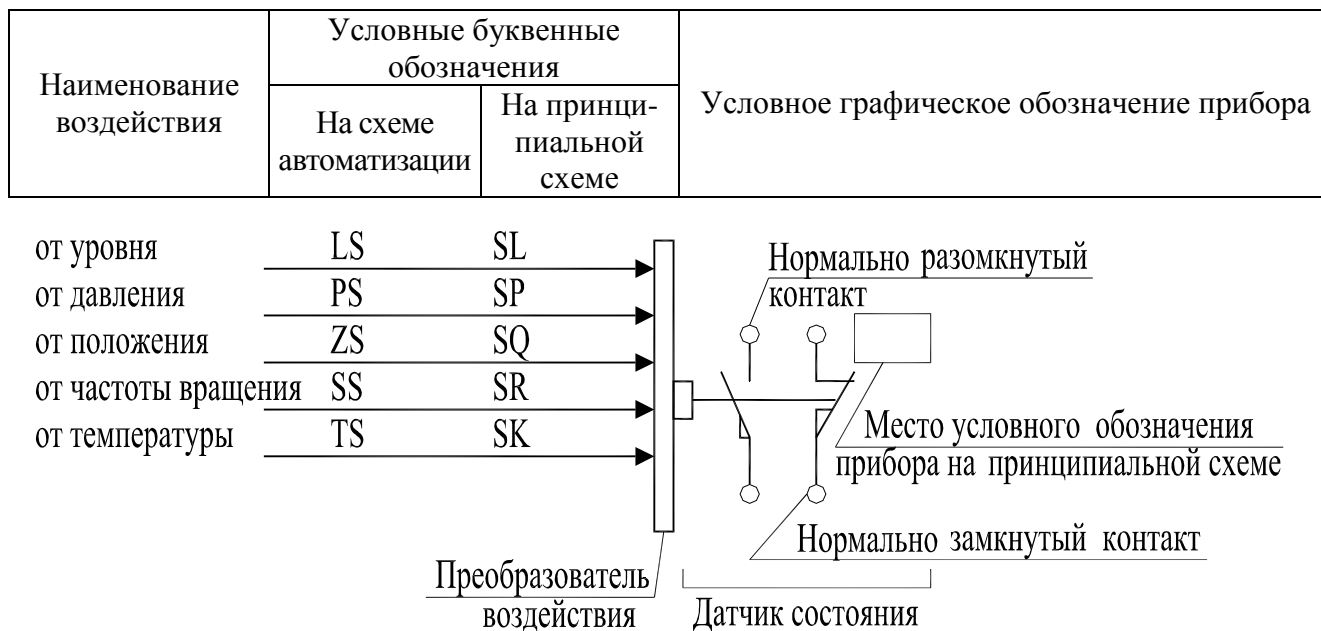


Рисунок 2.6 – Структура датчика состояния

Действует преобразователь воздействия в соответствии с пороговым значением, то есть переключение контактов происходит при определенном (установленном) значении воздействия. При снижении уровня воздействия состояние контактов восстанавливается. Порог срабатывания контактов обеспечивается настройкой прибора. Обратное срабатывание контактов может происходить при несколько меньшем значении, чем при прямом срабатывании, что объясняется инерционностью отдельных звеньев прибора, наличием люфтов механических элементов.

Преобразователи одних и тех же воздействий могут иметь различные конструктивные решения – механические, электронные и др. Примером реализации механического преобразователя уровня жидкости в сосуде может быть схема устройства, изображенного на рисунке 2.7. Здесь повышение уровня воды в сосуде воздействует на поплавок и вызывает поворот коромысла, на другом конце которого закреплена переключатель. При достижении водой определенного уровня переключатель замыкает контакты. При снижении уровня воды в емкости контакты размыкаются. Установку порогового значения уровня воды в емкости можно обеспечить раствором коромысла.

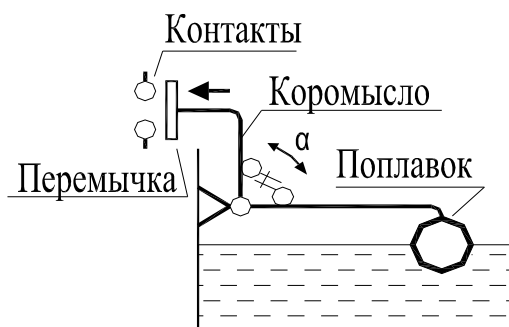
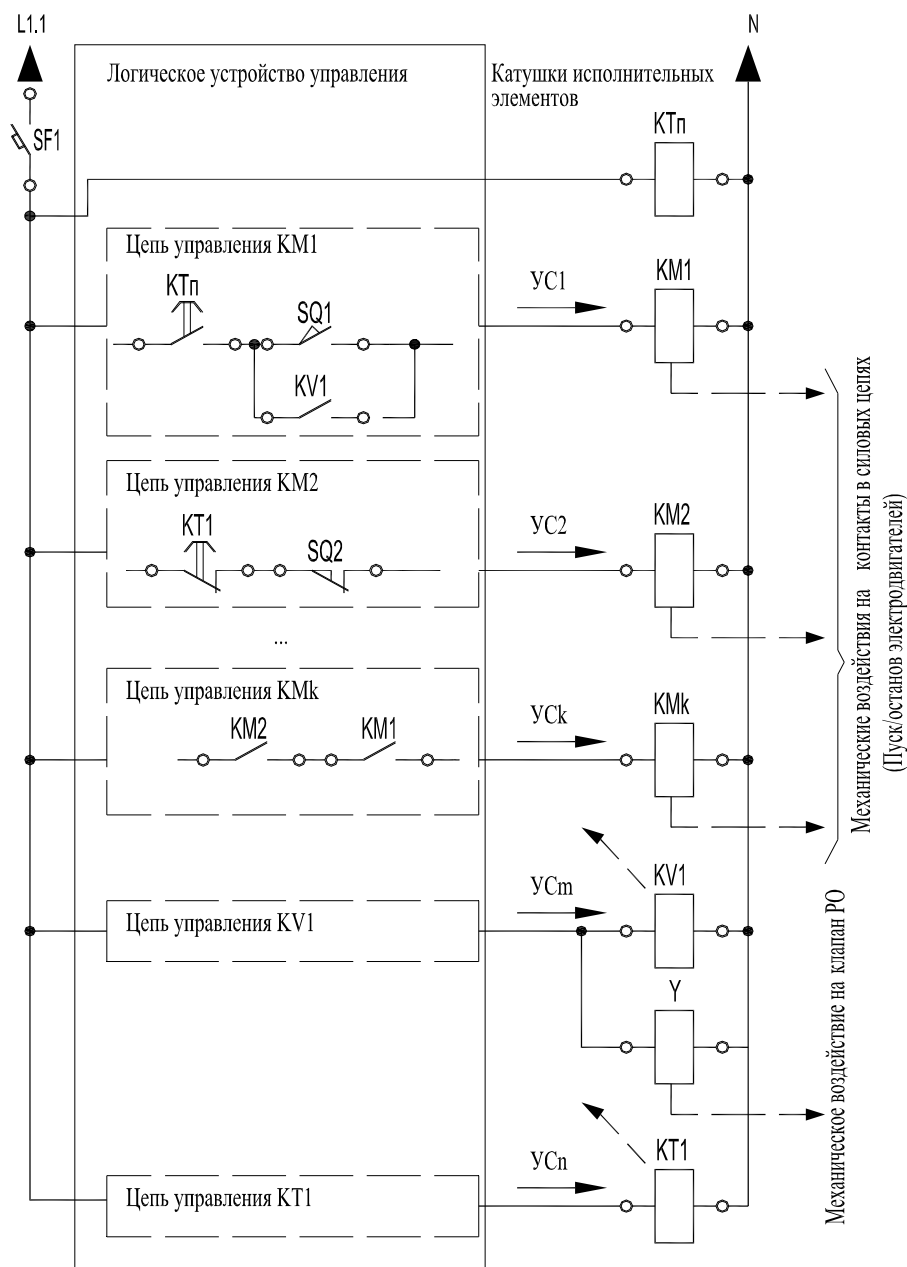


Рисунок 2.7 – Схема датчика уровня жидкости в сосуде

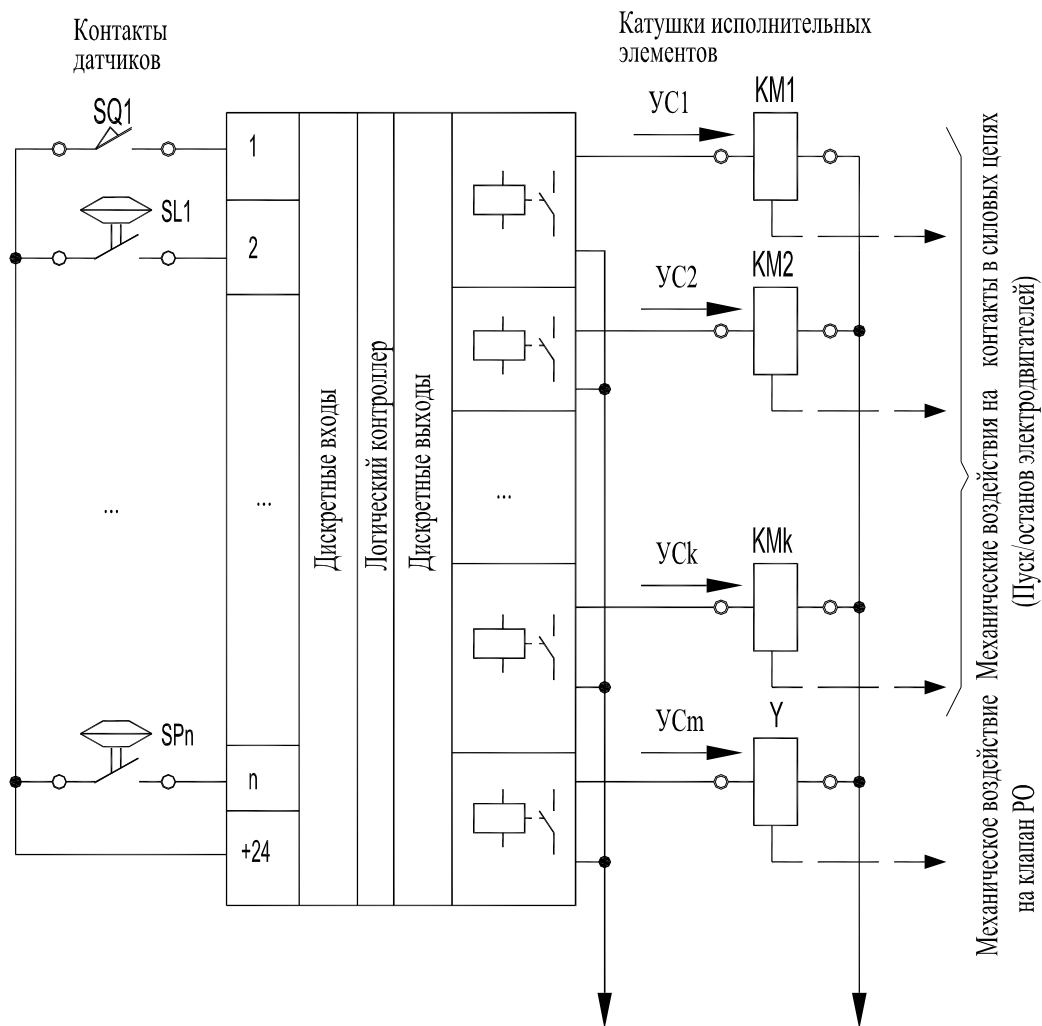
К *командным аппаратам* относятся: кнопки, переключатели, тумблеры, а также реле времени. При помощи первых в автоматические системы ручным воздействием оператора подаются дискретные сигналы, вторые – обеспечивают циклическую работу оборудования в соответствии с временным алгоритмом. Принцип действия данных аппаратов раскрыт в [6, с. 12–15].

Устройство управления логического типа (ЛУУ) (рисунки 2.8, 2.9) реализует алгоритм функционирования ОУ, то есть устанавливает последовательность включения-отключения ИУ объекта в зависимости от сигналов командных аппаратов и датчиков состояния.



КТп – программное реле времени, КМ1-КМк – катушки магнитных пускателей, КV1 – промежуточное реле, Y – электромагнитный клапан, КТ1 – реле времени, УС – управляющий сигнал

Рисунок 2.8 – Блок-схема ЛУУ, реализованного на релейно-контактной элементной базе



КМ1-КМк – катушки магнитных пускателей, Y – электромагнитный клапан,
УС – управляющий сигнал

Рисунок 2.9 – Блок-схема ЛУУ, реализованного на логическом контроллере

При реализации ЛУУ на релейно-контактной (РКС) элементной базе (рисунок 2.8) сигнал управления на ИУ формируется цепью управления, в которую могут входить контакты командных аппаратов, релейных датчиков, промежуточных реле, реле времени, магнитных пускателей ИУ и др. Элементный состав и конфигурация каждой цепи управления формируется в соответствии с алгоритмом управления ТОУ. При разработке РКС и описании алгоритма управления ТОУ используют Булеву алгебру, теорию автоматов, таблицы автоматов, граф состояний, логические таблицы. Один из методов разработки РКС изложен в [4, с. 48–85].

Большим недостатком реализации ЛУУ на релейных элементах является большая металлоемкость, так как ряд логических, временных и других функций приходится выполнять с помощью отдельных аппаратов. В связи с этим увеличивается объем монтажных работ и снижается надежность работы САУ ТП.

Заменой ЛУУ на релейных элементах явились микропроцессорные устройства управления, обладающие на порядок большей надежностью [15]. В 1996 году

фирма Siemens, являясь пионером в области разработки контроллеров, освоила их массовое производство. Затем и другие фирмы, такие как Schneider Electric, Mitsubishi, довольно быстро выпустили свои аналоги. Основной особенностью реализации управления на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) является то, что структура управления реализуется в программе ПЛК, а датчики и исполнительные элементы соединяются по типовой схеме подключения (рисунок 2.9).

Программа может быть реализована на разных языках. Для программирования контроллеров в соответствии со стандартами МЭК предусмотрены несколько языков программирования [16], которые можно разделить на две группы: графические и текстовые. К графическим языкам относят: язык последовательных функциональных схем – Sequential Function Chart – SFC; язык функциональных блок-диаграмм – Function Block Diagram – FBD; язык релейно-контактной логики – Ladder Diagram – LD. К текстовым языкам относятся: список инструкций – Instruction List – IL; структурированный текст – Structured Text – ST. Нередко оболочка для программирования ПЛК поддерживает несколько языков программирования.

Система автоматического регулирования (САР). Под системой автоматического регулирования понимают совокупность управляемого объекта (ОУ) и устройства автоматического регулирования – регулятора (Р) (рисунок 2.10). Объектом регулирования является технологическая установка, функционирование которой характеризуется качественными показателями: технологическим параметром Y , а также искусственно создаваемым входным воздействием X , прямо или косвенно влияющим на состояние параметра. Простейшие ОУ имеют одну выходную величину и, соответственно, одно входное воздействие.

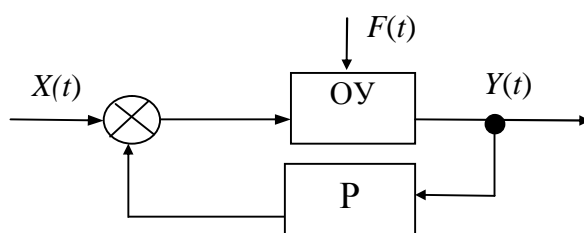


Рисунок 2.10 – Структурная схема САР

Функционирование технологических установок характеризуется наличием возмущающих и задающих воздействий. *Возмущающее воздействие* или помеха (F) – воздействие, возникающее в результате взаимодействия автоматической системы с внешней средой и вызывающее непланируемые изменения выходной переменной. Такие воздействия приводят к нарушению равновесия материальных и энергетических потоков и возникновению неустойчивого режима работы ОУ. Основным источником возмущения является изменение нагрузки ОУ. Возможны также возмущающие воздействия, связанные с изменением состава или качества сырья или энергии, поступающих на объект, или с изменением интенсивности протекающих там процессов.

Задающее воздействие (Z) – планируемое воздействие на одном из входов автоматической системы.

Таким образом, регулирование (от лат. *Regulare* – приводить в порядок) – совокупность операций по применению технических средств (хранящих заданную физическую величину) для нахождения соответствия измеряемой величины с заданной величиной и выдачу регулирующей величины для управления регулирующим устройством.

Структурные схемы регуляторов приведены на рисунке 2.11. Конструктивно контур регулирования составляют датчик, регулирующий прибор и исполнительный орган.

Воспринимают изменения параметров ОУ *датчики* (рисунок 2.12). Датчик САР состоит из первичного измерительного преобразователя и нормирующего преобразователя.

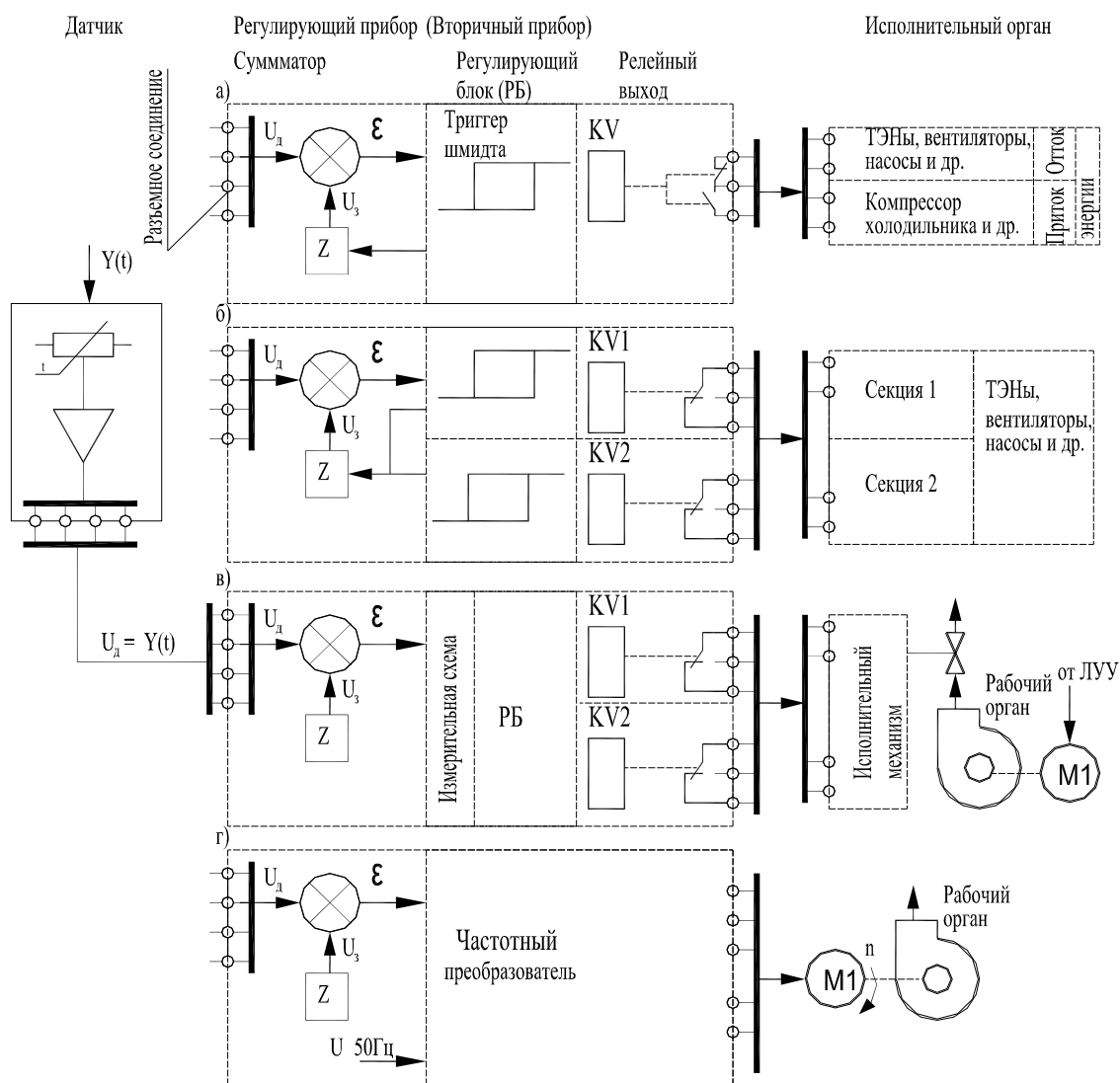


Рисунок 2.11 – Блок-схема устройств автоматического регулирования:
 а – двухпозиционный регулирующий прибор; б – трехпозиционный регулирующий прибор;
 в – прибор непрерывного регулирования; г – преобразователь частоты;
 ЛУУ – логическое устройство управления

Первичный измерительный преобразователь (ПП) – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. По характеру преобразования различают аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые преобразователи.

Нормализатор или нормирующий преобразователь (НП) преобразует в унифицированный токовый сигнал или сигнал напряжения сигнал от преобразователя термоэлектрического; сигнал постоянного тока; сигнал постоянного напряжения; сигнал взаимной индукции. НП может быть объединен в единое изделие с блоком питания.

Для измерения внешнего воздействия $Y(t)$ используется первичный измерительный преобразователь $R_{и}$ (рисунок 2.12) потенциометрического типа, который является одним из плеч измерительного моста. К точкам а и б моста прикладывается напряжение $U_{оп}$. Условием равновесия измерительного моста, когда $U_{в-г} = 0$, является соотношение $R_{и} \cdot R = R_{зд} \cdot R$. При изменении внешнего воздействия $Y(t)$ изменяется значение параметра $R_{и} \pm \Delta R$ и нарушается равновесие измерительного моста. На диагонали в–г появляется напряжение $\pm \Delta U$, которое преобразуется в сигнал $U_{д} = Y(t)$.

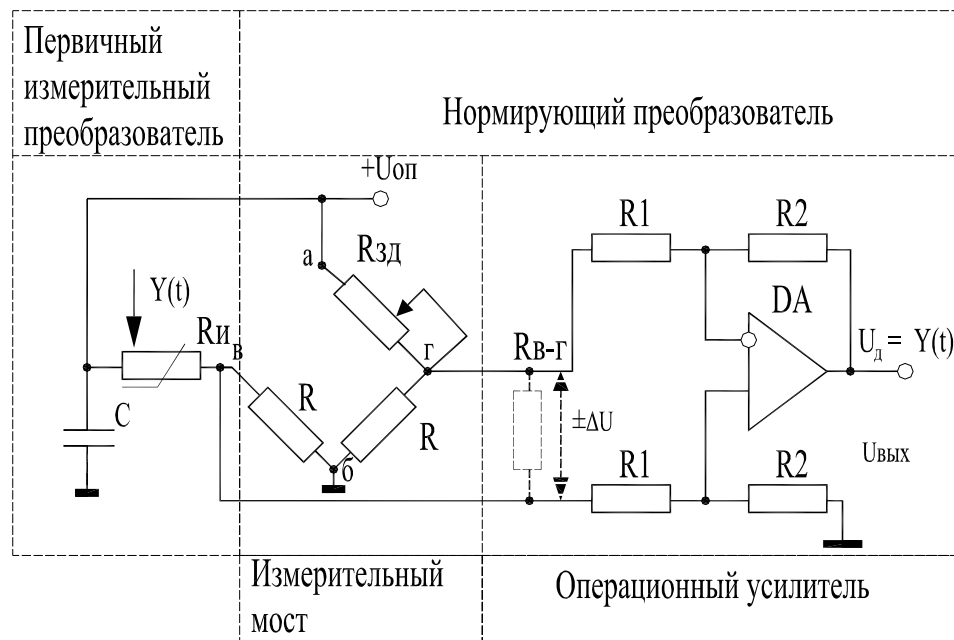


Рисунок 2.12 – Датчик регулятора с первичным измерительным преобразователем параметрического типа

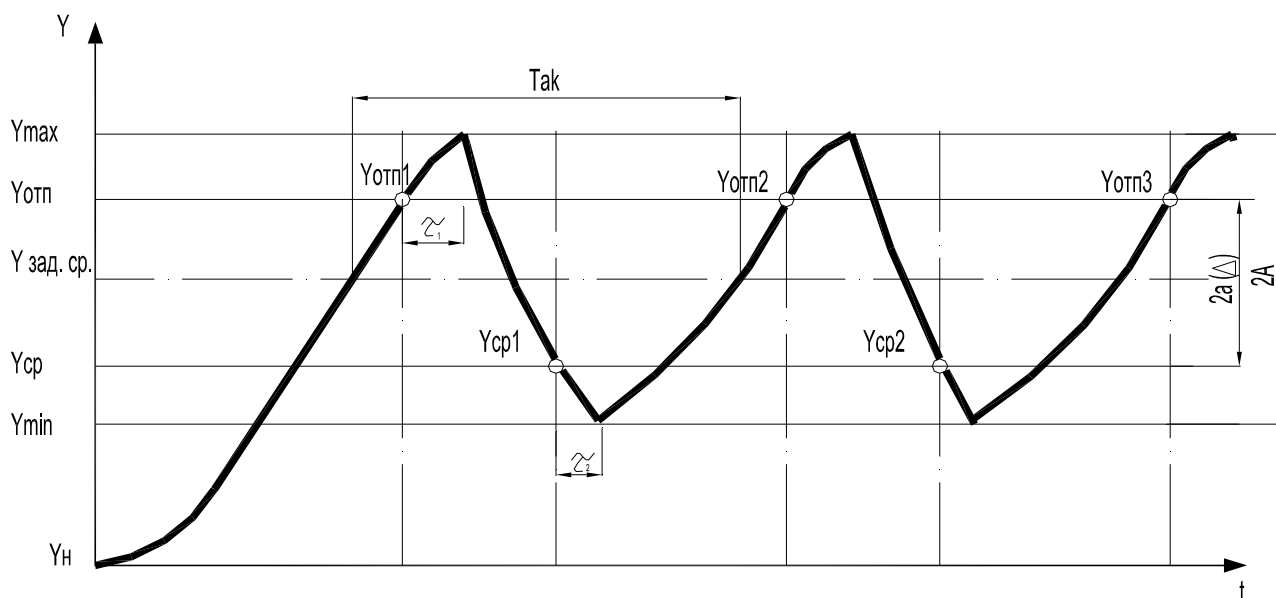
При использовании ПП генераторного (термопара) или индукционного типа (дифтрансформатор) меняется элементная база измерительного моста, но принцип работы остается прежним.

Конструктивно датчик может быть выполнен как единое изделие, в котором ПП совмещен с электронным модулем. Такое полевое средство автоматизации называется интеллектуальным измерительным преобразователем с унифицированным выходным сигналом и используется совместно с регулятором микропроцессорного типа.

В регуляторах аппаратного типа нормализатор конструктивно совмещен с вторичным прибором.

Регулирующие приборы в контуре регулирования реализуют определенные законы регулирования.

Позиционное регулирование применяется, если по технологическим требованиям допускается значительное отклонение регулируемого параметра от нормы. При позиционном регулировании переходные процессы в объекте регулирования носят колебательный характер (рисунок 2.13).



$Y_{н}$, Y_{\min} и Y_{\max} – начальное, минимальное и максимальное значения регулируемого параметра; $Y_{\text{ср}}$ и $Y_{\text{отп}}$ – значения регулируемого параметра, при которых срабатывает и отпускается реле регулятора; $Y_{\text{зад.ср}}$ – заданное значение регулируемого параметра; τ_1 и τ_2 – время запаздывания для условий притока и оттока; $T_{\text{ак}}$ – период автоколебаний; Δ – зона неоднозначности; a – амплитуда автоколебаний; A – амплитуда автоколебаний с учетом запаздывания

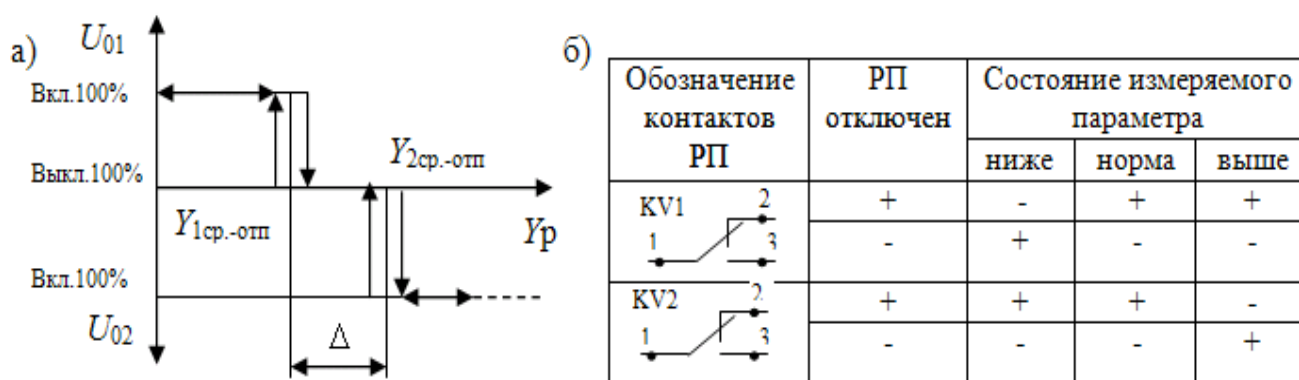
Рисунок 2.13 – Динамика двухпозиционного регулирования

При включении регулятора в суммирующем устройстве вторичного прибора происходит сравнение заданного значения контролируемого параметра $Y_3 = U_3$ с текущим $Y(t) = U_d$ значением параметра $\varepsilon = U_3 - U_d$. Сигнал рассогласования ε поступает на вход регулирующего блока.

У *двухпозиционного регулятора* регулирующей блок настраивается на два параметра: $Y_{\text{ср}}$ и $\Delta = Y_{\text{ср}} - Y_{\text{отп}}$. В точках $Y_{\text{ср}1}$, $Y_{\text{ср}2}$, $Y_{\text{ср}3}$, ... происходит срабатывание

реле регулятора, а в точках $Y_{\text{отп1}}$, $Y_{\text{отп2}}$, ... – отпускание реле, что учитывается при управлении регулирующими органами. В цепях управления исполнительными органами, подающих в ОУ энергию или материальные потоки (ТЭНы, насосы и т. п.), используют нормально-разомкнутые контакты, а в цепях управления, например, компрессора холодильника – нормально-замкнутые.

Трехпозиционные регуляторы (рисунок 2.11, б) в отличие от двухпозиционных (рисунок 2.11, а) имеют на выходе регулирующего блока два исполнительных элемента (реле), что позволяет разделить исполнительное устройство на две секции и путем коммутации улучшить качество регулирования. Моменты срабатывания реле показаны на рисунке 2.14, а. Состояние контактов трехпозиционного регулирующего прибора для трех диапазонов измеряемого параметра отражено на диаграмме (рисунок 2.14, б), где знак «+» для обозначения замыкания контакта и знак «-» – для размыкания контакта.



U_0 – управляющее воздействие; Y_p – рабочая зона регулирующего прибора, в единицах параметра регулируемой величины

Рисунок 2.14 – Статическая характеристика трехпозиционного регулируемого прибора РП (а) и диаграмма срабатывания контактов реле регулирующего прибора (б)

Регуляторы непрерывного действия (рисунок 2.11, в) используются при повышенных технологических требованиях к качеству регулирования, при этом допускаются небольшие отклонения параметра $Y(t)$ от его номинального значения Y_n , $Y_{\text{min}} < Y_n = Y_{\text{зад}} < Y_{\text{max}}$. При настройке такого регулятора на входе регулирующего блока устанавливается зона нечувствительности, соответствующая допустимому отклонению параметра $Y(t)$. Если значение параметра находится в пределах заданной зоны, регулирования не происходит (рисунок 2.15). При появлении в приборе команд «больше» или «меньше» в регулирующем блоке формируется закон регулирования (П, ПИ или ПИД). Сформированный сигнал поступает на одно из реле – KV1 или KV2 – в зависимости от знака рассогласования.

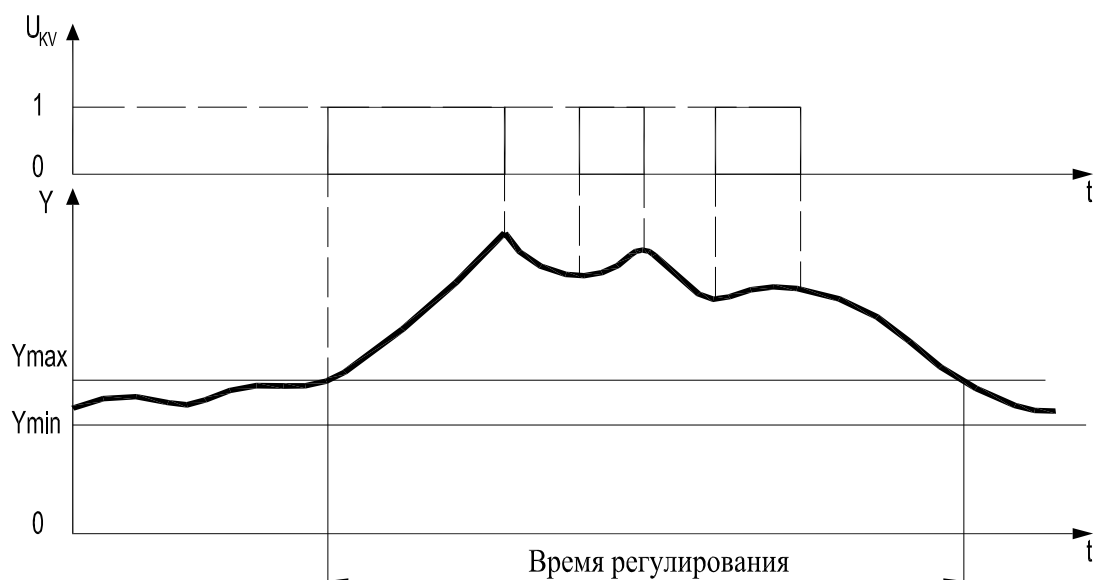


Рисунок 2.15 – Динамика непрерывного регулирования

Реализация закона регулирования в регуляторах непрерывного действия обеспечивается импульсным включением реле с переменной длительностью и частотой импульсов, которые формируются настройкой регулятора. Принципы выбора закона регулирования и настройки регуляторов непрерывного действия изложены в многочисленной справочной литературе [5, 17, 18].

Исполнительное устройство регулятора непрерывного действия состоит из двух функциональных блоков: исполнительного механизма с сервоприводом и регулирующего органа, обеспечивающего плавное изменение потока материала. Изменение направления перемещения регулирующего органа обеспечивается срабатыванием одного из реле регулирующего блока регулятора.

Регуляторы непрерывного действия с частотно-регулируемым приводом (рисунок 2.11, з) обеспечивают регулирование производительности агрегата путем изменения частоты вращения асинхронного электродвигателя в функции ПИД-регулирования, что позволяет отказаться от использования в регуляторе непрерывного действия исполнительных механизмов и регулирующих органов и позволяет избежать потерь энергии в регулирующем органе. Такие регуляторы находят широкое применение в системах, требующих поддержания уровня, давления, воздушного потока и т. п. на заданном уровне. Кроме указанной выше функции регулирования, частотно-регулируемый привод обладает широкими функциональными возможностями управления, контроля и защиты электропривода.

Итак, в случае наличия системы с ЛУУ методика разработки САУ предполагает разработку алгоритма управления ОУ с использованием Булевой алгебры или теории автоматов, таблиц автоматов, графов состояний или логических таблиц

и его перевода в структурные формулы управления или структурную схему управления, которая является основанием для разработки программы управления. В случае системы с регулятором принципы построения управления несколько иные, базирующиеся на разработке контуров управления (см. рисунок 2.11), предполагающие выбор закона регулирования, построение математической модели контура регулирования, подбор параметров закона регулирования, анализ качества регулирования и, в случае необходимости, корректировки аппаратного состава контура регулирования или применения иного закона регулирования. В третьем случае (наличие и автомата, и регулятора) приходится совмещать эти функции в единой системе автоматического управления.

2.2.2 Выбор технических средств автоматизации

После определения структуры системы автоматизации необходимо определиться с типами технических средств автоматизации, особенности которых придется учитывать при реализации алгоритма управления. Но на последующих этапах разработки САУ можно возвращаться к выбору технических средств автоматизации.

2.2.2.1 Выбор устройства управления

За последние годы в качестве устройств управления получили распространение программируемые контроллеры. Программируемый контроллер – это управляющее устройство, которое выполняет операции с информацией, считанной со входов, в соответствии с хранящейся в памяти программой и формирующее управляющие сигналы, подаваемые на выходы.

Контроллеры по их назначению могут быть подразделены на контроллеры, предназначенные для управления конкретным технологическим процессом и универсальные, которые могут быть запрограммированы по усмотрению инженера. К первым можно отнести контроллеры фирмы ОВЕН, настроенные под конкретную производственную задачу: контроллер для регулирования температуры в системах отопления и вентиляции ТРМ33-Щ4, контроллеры холодильных машин ТРМ974, ТРМ961 [19]. Такие контроллеры решают конкретную собственную задачу, могут быть перенастроены на предусмотренный заранее режим, но не могут использоваться для решения другой конкретной задачи в отличие от гибких контроллеров второй группы.

Вторая группа контроллеров по своему конструктивному исполнению может быть подразделена на микроконтроллеры, моноблочные и модульные [20].

Микроконтроллеры – это малые контроллеры, которые в едином легко программируемом блоке заменяют множество отдельных компонентов (реле времени, промежуточные реле, контакторы и т. д.). Фактически это цифровой автомат, который выполняет операции с информацией, считанной со входов, в соответствии с хранящейся в памяти программой и формирующий управляющие сигналы, подаваемые на его выходы. Функции таких контроллеров достаточно широки, но они могут обрабатывать ограниченное количество входных сигналов (максимум до 18) и управлять ограниченным количеством исполнительных механизмов, подключаемых к выходам (максимум до 13). Так, например, распространенные сегодня α -контроллеры (фирмы Mitsubishi) [15] могут выполнять функции не только логического управления, но также управлять в реальном времени, обрабатывать аналоговые сигналы, вести регулирование (встроенная функция ПИД-регулятора), обладают возможностью пересылки данных по GSM модему, легко программируются и перепрограммируются. Контроллер α -серии разработан как компактное, универсальное изделие для решения несложных задач. Однако следует исключить использование контроллеров данной серии, когда требуется обеспечить повышенную надежность управления (атомные станции и процессы, несущие повышенную опасность для обслуживающего персонала).

Сведения по моделям контроллеров $\alpha 2$ (второго поколения) даны в приложении Е.

Моноблочные контроллеры – это компактные программируемые контроллеры, состоящие из базового блока, который может дополняться модулями расширения и специальными функциональными модулями. Примером таких контроллеров являются контроллеры серии FX (Mitsubishi Electric), характеристики которых раскрыты в приложении Е.

Модульные контроллеры – это сочетание на едином базовом шасси модулей центральных процессоров, коммуникации, специальных модулей, модулей ввода/вывода. Это позволяет конфигурировать промышленную систему обеспечивающую построение автоматизированных систем управления производством. Примером таких контроллеров являются контроллеры серии MELSEC (Mitsubishi Electric).

Выбирают контроллер по функциональным возможностям, количеству входов и выходов, роду входных и выходных сигналов (аналоговые и цифровые), напряжению питания, стоимости. Пример выбора рассмотрен ниже.

2.2.2.2 Выбор датчиков

При выборе датчиков руководствуются следующими показателями:

– линейность и однозначность статической характеристики (нелинейность не более 0,1 %–0,3 %);

- стабильность характеристик во времени;
- высокая перегрузочная способность;
- высокое быстродействие и чувствительность (характерные значения измеряемых величин – в диапазоне 1/3–2/3 пределов измерений);
- инерционность прибора должна быть значительно ниже инерционности объекта.

Если передаточная функция объекта имеет вид

$$W_{об}(P) = \frac{k_{об} \cdot e^{-\tau_{об}P}}{T_{об} \cdot P + 1}, \quad (2.1)$$

а передаточная функция датчика

$$W_{д}(P) = \frac{k_{д} \cdot e^{-\tau_{д}P}}{T_{д} \cdot P + 1}, \quad (2.2)$$

то должны быть выполнены следующие условия:

$$\begin{aligned} t_{д} &\leq (0,2 \dots 0,3)t_{об}; \\ T_{д} &\leq (0,2 \dots 0,3)T_{об}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где $k_{об}$, $k_{д}$ – коэффициент передачи соответственно объекта и датчика;

$\tau_{об}$, $\tau_{д}$ – запаздывание в объекте и датчике;

P – коэффициент Лапласа;

$T_{об}$, $T_{д}$ – постоянная времени объекта и датчика.

Выбирают датчики в два этапа:

1) по роду контролируемого параметра и условиям работы определяют разновидность датчика;

2) когда выбраны все элементы в САУ, находят типоразмер датчика.

Типоразмер датчика определяется также и возможностью подключения ко входам ПЛК либо регулятора.

При выборе датчиков следует руководствоваться данными каталогов. Кроме того, принцип действия многих типов датчиков изложен в специальной литературе [21, 22].

2.2.2.3 Выбор исполнительных механизмов

Исполнительные механизмы, непосредственно сочлененные с регулирующими органами, перемещают последние в соответствии с сигналом, поступающим

от устройства, формирующего закон регулирования. Они подразделяются по виду потребляемой энергии на электрические, пневматические и гидравлические. Электрические, в свою очередь, подразделяются на электромагнитные (выбор сводится к расчету катушки электромагнита по напряжению и развиваемому тяговому усилию) и электродвигательные, которые выбирают в зависимости от значения момента, необходимого для вращения регулирующего органа. Характеристика некоторых электродвигательных исполнительных механизмов приведена в приложении Е.

Электродвигательные исполнительные механизмы выбирают в зависимости от значения момента, необходимого для вращения поворотных заслонок:

$$M_3 = k(M_p + M_T), \quad (2.4)$$

где k – коэффициент, учитывающий затяжку сальников и загрязненность трубопровода (обычно $k = 2 \dots 3$);

M_p – реактивный момент, обусловленный стремлением потока вещества закрыть регулирующий орган, Н·м;

M_T – момент трения в опорах, Н·м.

В свою очередь:

$$M_p = 0,07 \Delta P_{po} D_y^3, \quad (2.5)$$

где ΔP_{po} – перепад давления на регулирующем органе (рекомендуется принимать равным избыточному давлению перед регулирующим органом), Па;

D_y – условный диаметр регулирующего органа, м.

Момент трения в опорах:

$$M_T = 0,785 D_y^2 P_n r_{ш} \lambda, \quad (2.6)$$

где P_n – избыточное давление перед регулирующим органом, Па;

$r_{ш}$ – радиус шейки вала регулирующего органа, м;

λ – коэффициент трения в опорах.

Момент вращения на валу выбираемого исполнительного механизма должен быть не меньше момента, необходимого для вращения заслонки:

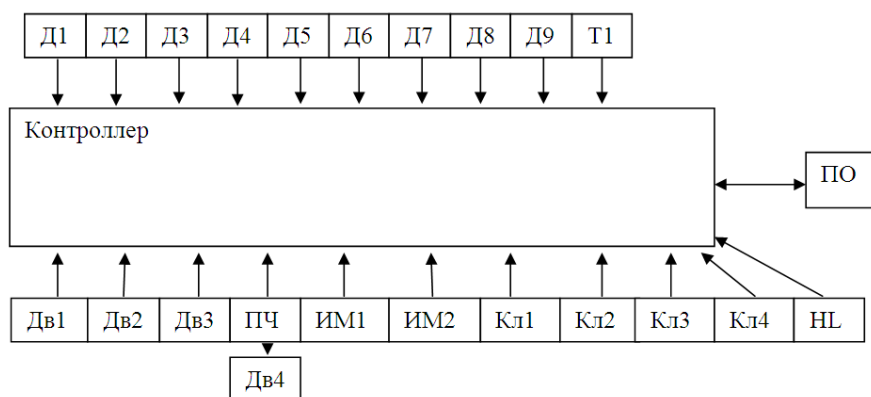
$$M_d \geq M_3. \quad (2.7)$$

2.2.2.4 Определение структуры системы автоматизации, выбор технических средств автоматизации (на примере разработки системы автоматизации котельной установки)

Системы автоматического управления котельной установкой должны обеспечивать: технологическую защиту, предотвращающую неправильные действия; технологическую блокировку, исключающую выполнение неправильных операций; автоматический контроль работы котлов; технологическую сигнализацию, извещающую персонал о ходе выполнения технологических процессов; дистанционное управление котлом (пуск и останов котлов); автоматическое регулирование основных процессов.

С целью обеспечения безопасной работы котельной установки необходимо контролировать следующие параметры: давление пара, топлива, воздуха, разрежение в топке котла, уровень воды в барабане котла, наличие пламени. Следовательно, необходимо установить датчики, которые будут подавать сигнал на устройство управления. В качестве устройства управления предусматривается контроллер. Для подачи воды в котел используется 2 насоса (основной и резервный). Для регулирования подачи воды и топлива используются клапаны. Для подачи воздуха при зависимом регулировании в контуре «топливо–воздух» используется воздуходувка с электродвигателем, частота вращения которого будет меняться с помощью преобразователя частоты и обеспечивать изменение необходимой подачи воздуха. Для обеспечения разрежения в топке котла используются заслонки. Их открытие и закрытие обеспечивается сервомотором. Если не справляются заслонки, то тогда подключается в работу вентилятор.

Структура СА представлена на рисунке 2.16.



- Д1, Д2 – датчики уровня; Д3, Д4 – датчики положения заслонки; Д5 – датчик наличия пламени;
 Д6 – датчик контроля давления пара; Д7 – датчик контроля давления топлива;
 Д8 – датчик контроля давления воздуха; Д9 – датчик разрежения; Т1 – тумблер «Пуск»;
 Дв1, Дв2 – двигатели насосов; Дв3 – двигатель вентилятора; Дв4 – двигатель воздуходувки;
 ПЧ – преобразователь частоты; ИМ1, ИМ2 – управление сервомотором;
 Кл1 – клапан запальника; Кл2 – клапан-отсекатель; Кл3 – клапан подачи воды;
 Кл4 – клапан подачи топлива; НЛ – сигнализация; ПО – сенсорная панель оператора

Рисунок 2.16 – Структура СА котельной установки

К контроллеру подключаем 4 аналоговых датчика (давления пара Д6, давления топлива Д7, давления воздуха Д8, разрежения Д9) и 5 дискретных датчиков (2 датчика уровня, 1 датчик наличия пламени, 2 концевика на положение исполнительного механизма), а также на дискретный вход контроллера подается сигнал с тумблера «Пуск». На выходы контроллера подключаем катушки реле, подающие сигналы на включение приводов Дв1-Дв4 (последний через преобразователь частоты (ПЧ), управление сервомотором ИМ1-ИМ2, а также непосредственно подключаем клапаны Кл1-Кл4.

Алгоритм функционирования установки

Для запуска котельной установки в работу необходимо обеспечить уровень воды в барабане котла, для чего включается основной насос и клапан подачи воды, вода подается в котел. При условии обеспечения давления воздуха (должна быть включена воздуходувка), подается сигнал на подачу топлива по обводному трубопроводу и сигнал на искру.

Если воспламеняется пламя, то вводится в работу клапан-отсекатель и обеспечивается нормальная работа котла, при которой по давлению пара регулируется подача топлива и устанавливается подача воздуха, а также для создания разрежения в топке открывают (закрывают) заслонку или включают вентилятор. Если успешного розжига котла не произошло, то есть датчик наличия пламени не сработал, то необходимо включить аварийную сигнализацию, прекратить подачу топлива в котел. При устранении неисправности снова приступают к пуску котла. В случае успешного пуска автоматика безопасности при аварийном нарушении параметров (давление пара, давление воздуха или топлива) прекращает подачу топлива в котел с помощью клапана-отсекателя. При технологическом нарушении параметров (уровень воды, разрежение в топке либо срыв пламени) автоматика безопасности с выдержкой времени также должна прекратить подачу топлива в котел с помощью клапана-отсекателя.

Вид применяемой энергии – электрическая.

Параметры регулирования – давление пара, топлива, воздуха, разрежение в топке котла, уровень воды в барабане котла.

Параметры управления – включение и отключение электродвигателей и исполнительных механизмов в соответствии с алгоритмом управления.

Параметры контроля – давление пара, топлива, воздуха, разрежение в топке котла, уровень воды в барабане котла, наличие пламени.

Параметры сигнализации – аварийная сигнализация при нарушении параметров: давление пара, топлива, воздуха, разрежение в топке котла, уровень воды в барабане котла, наличие пламени.

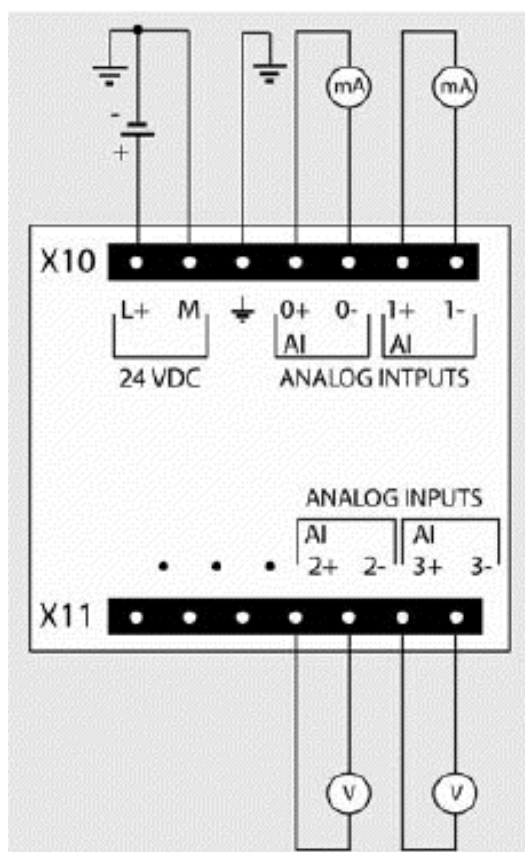
Анализируя алгоритм управления котельной установкой, определим тип автоматического устройства управления (АУУ), которое будет управлять объектом. Так как объект управления – сложный технологический процесс, состоящий из отдельных операций и механизмов, а цель управления – обеспечить определенную последовательность работы и переход с режима на режим при определенных условиях, то в качестве АУУ используем автомат. Кроме того, целью управления является связанное регулирование подачи топлива по отбору пара и связанное с величиной расхода топлива подача воздуха в топку для полноты сгорания топлива, поэтому устройство управления будет так же выполнять функцию регулятора.

Выбор технических средств автоматизации

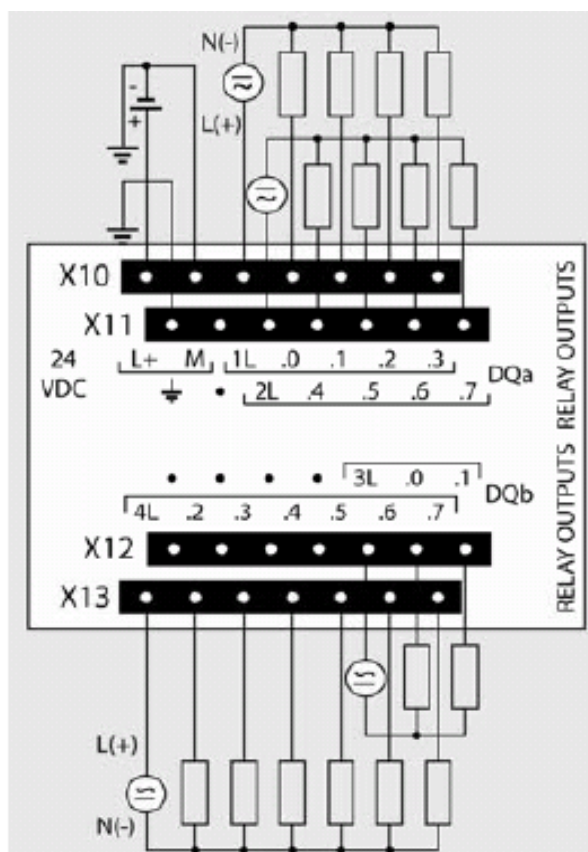
Выбор контроллера. Контроллер реализует функции управления, регулирования и контроля. Кроме функциональных возможностей определяющими параметрами при выборе контроллера является вид и количество необходимых входов и выходов. В данном случае для контроллера используется 11 цифровых выходов, один аналоговый выход, 6 цифровых входов и 4 аналоговых входа. Реализовать данную конфигурацию с помощью простого в программировании контроллера α (Mitsubishi) нельзя из-за ограниченного количества входов и выходов. Поэтому следует остановиться на линейке контроллеров Siemens, которые одними из первых появились на рынке контроллеров. Современной недорогой серией контроллеров Siemens является S7-1200 [23]. Данная серия включает процессорные модули, к которым для расширения входов и выходов могут быть подключены сигнальные модули. В качестве процессорного модуля выберем S7-1200 CPU 1214DC/DC/DC, с напряжением питания на 24 В, 10 дискретными выходами, 15 входами, 13 из них – цифровые и два аналоговых. Поскольку аналоговых входов недостаточно, а также не хватает аналогового выхода, то необходимо подобрать сигнальные модули SM1222 – для расширения дискретных выходов, SM1234 – для подключения датчиков давления (2 канала) и связи с преобразователем частоты.

Схема подключения для выбранного процессорного модуля S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC приведена в приложении Е, рисунок Е.11, в, а специальных модулей расширения – на рисунке 2.17 [23].

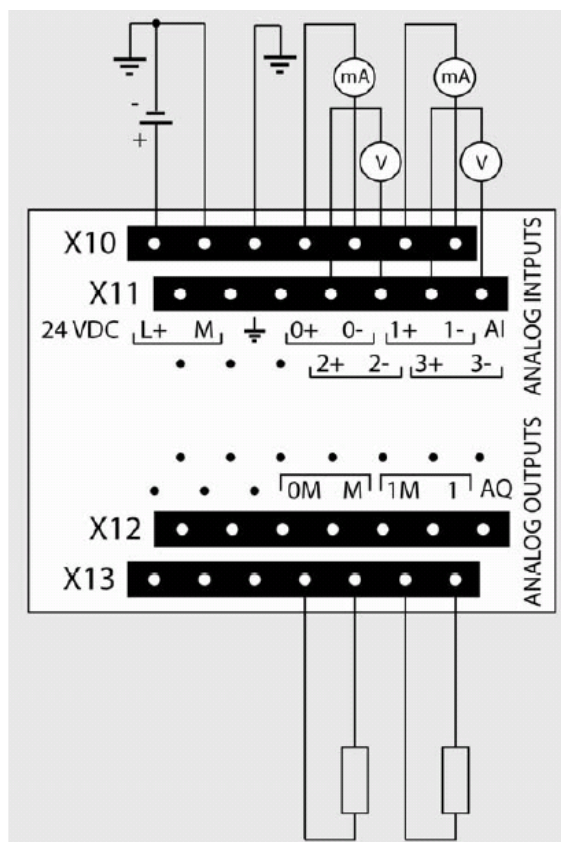
На рисунке 2.18 показаны цепи подключения контроллера на фрагменте принципиальной схемы при его использовании в качестве устройства управления котельной установкой. Так как принято напряжение питания контроллера = 24 В, то предусмотрен блок питания GV1, который преобразует сигнал 230 В со схемы управления. Мощность блока питания должна быть достаточной с учетом питания процессорного и сигнальных модулей.



а



б



в

Рисунок 2.17 – Схемы внешних подключений к сигнальным модулям:
 а – SM1231 (4 аналоговых входа); б – SM1222 6ES7 222 – 1НН32-0ХВ0 (16 дискретных выходов типа реле); в – SM1234 (4 аналоговых входа и 2 аналоговых выхода)

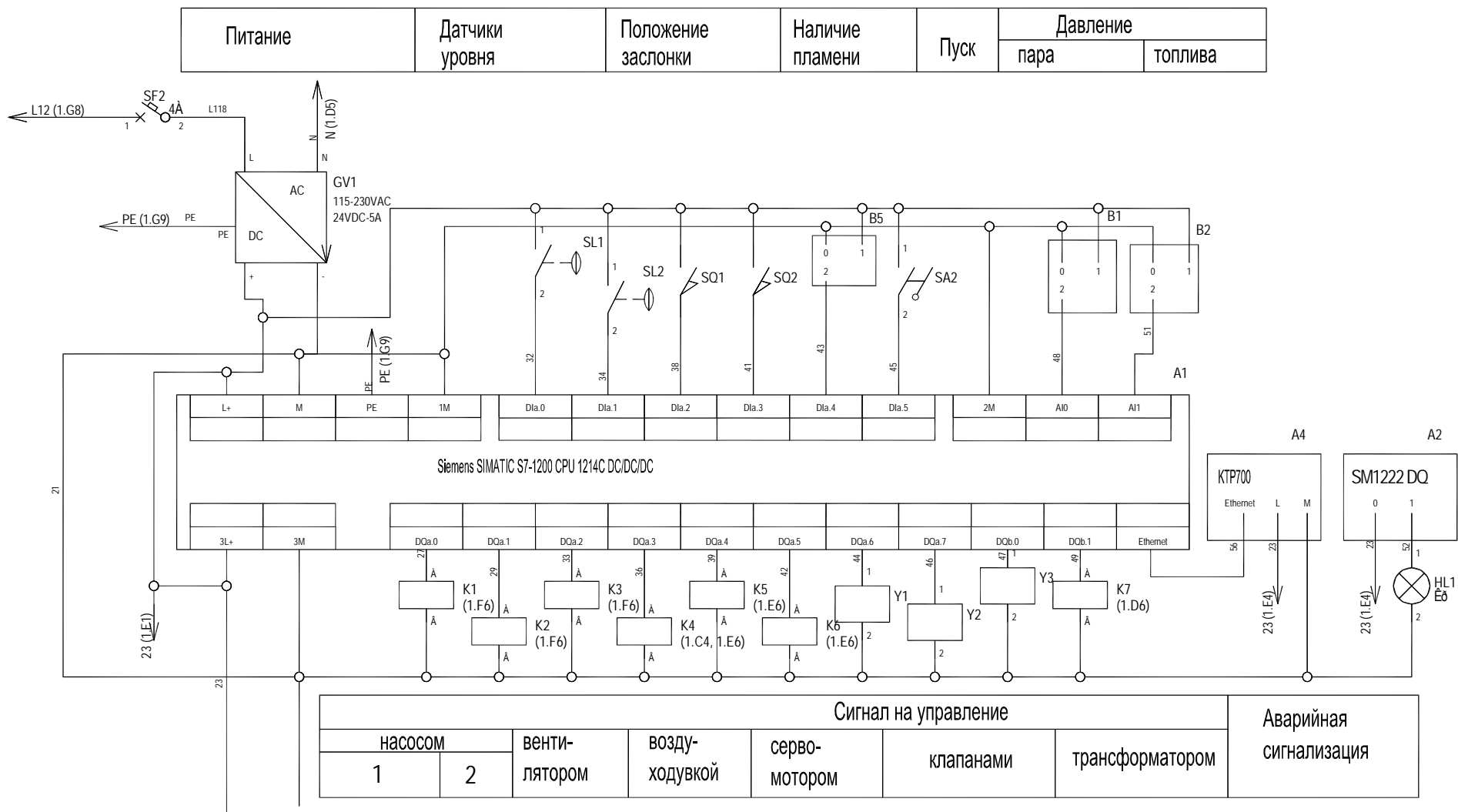


Рисунок 2.18 – Схема подключения процессорного модуля CPU 1214 DC/DC/DC

На входы $D1a.0...D1a.1$ контроллера $A1$ подключены датчики уровня, на входы $D1a.2...D1a.3$ датчики $SQ1...SQ2$, контролирующие положение исполнительного механизма открывающего и закрывающего заслонки топочного блока, на вход $D1a.4$ приходит сигнал с датчика контроля пламени $B5$, на вход $D1a.5$ – сигнал разрешения на управление топочным блоком. На аналоговые входы процессорного модуля $A10-A11$ приходят сигналы с датчиков давления, контролирующих давление пара и топлива $B1$ и $B2$. В соответствии с программой управления по сигналам датчиков контроллер посылает сигналы на выходы $DQa.0...DQa.7$, $DQb.0$, $DQb.1$. При этом данные сигналы через контакты промежуточных реле $K1-K7$ будут переданы к магнитным пускателям, управляющим приводами котельной установки либо будет происходить включение (или отключение) клапанов $Y1-Y3$. Лампа аварийной сигнализации подключена через специальный модуль расширения $A2$. Подключение специального модуля $A3$ показано на рисунке 2.19. Он имеет аналоговые входные и выходные каналы, поэтому используется для связи с преобразователем частоты и управления клапаном непрерывного действия $Y4$.

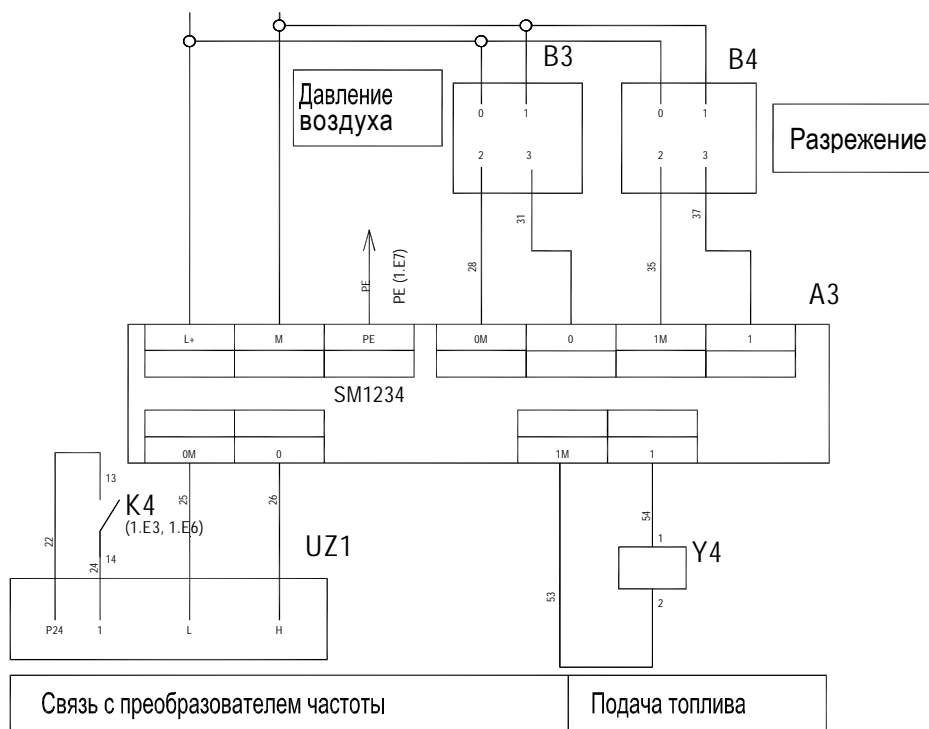


Рисунок 2.19 – Схема подключения сигнального модуля SM1234

Выбор датчиков

Датчики уровня. Для контроля уровня воды в барабане котла выберем датчики реле уровня СУ-1С. Они предназначены для контроля уровня электропроводных и не электропроводных жидких, твердых (сыпучих) сред, зерна и продуктов его размола [24]. Обеспечивают сигнализацию «наличия» или «отсутствия» контролируемой

среды на установленном уровне. Датчик-реле состоит из конструктивно совмещенных чувствительного элемента и преобразователя.

Датчики давления. Для контроля давления в трубопроводах выберем датчики избыточного давления. Используются в жидких и газообразных средах. Позволяют определить искомые величины в различных средах, включая агрессивные.

DMP 330L – экономичный датчик давления для различных отраслей промышленности. Выходной сигнал 4...20 мА или 0...10 В (опционально).

Датчик давления DMP 330L позволяет измерять избыточное давление от 0...1 бар до 0...400 бар, абсолютное и вакуумметрическое давление –1...0 бар. Корпус датчика изготовлен из нержавеющей стали. Стандартное уплотнение – витон (FKM). Возможны различные варианты подключения к источнику давления. Датчик DMP 330L надежно обеспечивает измерение с погрешностью 0,5 % давления жидкостей, газов и паров, неагрессивных к нержавеющей стали.

Характеристики:

- диапазоны давления: от 0...1 до 0...400 бар, перегрузка до 3X, избыточное, разрежение;

- основная погрешность: 0,5 %;

- выходной сигнал: 4...20 мА, 0...10 В;

- сенсор: керамический тензорезистивный;

- диапазон температур измеряемой среды: –25 °С...+125 °С;

- класс защиты: IP 65/67;

- механическое присоединение: M10x1, M12x1, M20x1.5, G $\frac{1}{4}$ ", G $\frac{1}{2}$ ";

- электрическое присоединение: DIN 43650, кабельный ввод;

- неагрессивные к нержавеющей стали жидкости, газы и пар [25].

Датчик BD SENSORS DMK 331 (DMK 331) по своим характеристикам сходен с промышленными датчиками серии DMP [26].

Возможно исполнение датчика с различными вариантами механического подсоединения:

- стандартное: с штуцером G1.2" и керамической мембраной;

- дополнительно: с открытой керамической мембраной и штуцером G1.2" для измерения низкого давления от 0...0,6 бар и 0...25 бар.

Все варианты датчиков пригодны для измерения давлений в вязких субстанциях, пастообразных средах или сильно загрязненных. Для агрессивных к нержавеющей стали сред рекомендуется применять штуцер, выполненный из PVDF. Такой материал применим в медицинских технологиях, очистке воды в химической промышленности.

Фотоэлектродный сигнализатор

Фотоэлектродный сигнализатор пламени ФЭСП-2.Р (фотосигнализатор) предназначен для контроля наличия пламени запальника и пламени горелки.

Фотосигнализатор может применяться на объектах различных отраслей промышленности, энергетики, коммунального хозяйства, в закрытых взрыво- и пожаробезопасных помещениях при отсутствии в окружающем воздухе агрессивных паров и газов.

Прибор предназначен для эксплуатации:

- при температуре окружающего воздуха от 5 °С до 50 °С;
- относительной влажности окружающего воздуха при 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги не более 80 %;
- атмосферном давлении от 86 до 106,7 кПа;
- вибрации не более 0,1 мм при частоте не более 25 Гц;
- напряженности внешнего магнитного поля в месте установки прибора не более 400 А/м.

ФЭСР-2.Р предназначен для установки на визирной трубе горелочного устройства [27].

Выбор частотного преобразователя

Частотный преобразователь должен плавно регулировать частоту вращения электродвигателя, защищать его от перегрузок и иметь аналоговый токовый вход для управления. Исходя из этих требований выбираем преобразователь частоты Hitachi L100 [28] для регулирования частоты привода воздуходувки, посредством которого изменяется подача воздуха в топку в соответствии с величиной подачи топлива. Частотные преобразователи выбираем в соответствии с мощностью электродвигателя воздуходувки – SJ100-015HFE (1,5 кВт).

2.2.3 Разработка алгоритма и структуры управления

Методика синтеза САУ ПТЛ изложена в [4, с. 36–51]. Первым шагом синтеза САУ ПТЛ является *словесное описание алгоритма управления* технологическим процессом (или установкой), составляемое обычно совместными усилиями технологов, конструкторов и проектировщиков. В ходе разработки технического задания на проектирование определяют последовательность работы исполнительных органов технологической линии, обеспечивающих эффективность функций управления, основными из которых являются безопасность работы объекта и правильное выполнение технологического процесса.

Пример. Система управления котельной установкой должна обеспечивать безопасную работу котла, запуск и останов котла по определенному алгоритму, технологическую защиту, предотвращающую неправильные действия;

технологическую блокировку, исключаящую выполнение неправильных операций; автоматический контроль работы котла, технологическую сигнализацию, извещающую персонал о ходе выполнения технологических процессов, автоматическое регулирование основных процессов. Объем автоматизации котельной установки определен в подразделе 2.1 и показан на схеме автоматизации (рисунок 2.3), обозначениями приборов и технических средств на которой и будем пользоваться при описании алгоритма управления.

Для запуска котельной установки в работу необходимо обеспечить уровень воды в барабане котла (контроль по сигналу датчиков *LE23* и *LE24*), для чего включается основной насос (привод *M1*) и клапан подачи воды, вода подается в котел (второй насос является резервным и будет работать, в случае аварийного состояния первого насоса или если первый насос не справляется). При условии обеспечения давления воздуха *PE18* (предварительно должна быть включена воздуходувка *M4*), подается сигнал на подачу топлива по обводному трубопроводу и сигнал на искру.

Если воспламеняется пламя (датчик *BE19*), то вводится в работу клапан-отсекатель и обеспечивается нормальная работа котла, при которой по давлению пара (датчик *PE16*) регулируется подача топлива и устанавливается подача воздуха (изменением частоты вращения с помощью преобразователя частоты *SC12*), а также для создания разрежения в топке (датчик *PE20*) открывают (закрывают) заслонку *M5* или включают вентилятор *M3*. Если успешного розжига котла не произошло, то есть датчик наличия пламени *BE19* не сработал, то необходимо включить аварийную сигнализацию *HL1*, прекратить подачу топлива в котел. При устранении неисправности снова приступают к пуску котла. В случае успешного пуска – котел в работе, при этом выполняется контроль технологических параметров. Автоматика безопасности при аварийном нарушении параметров (давление пара, давление воздуха или топлива) прекращает подачу топлива в котел с помощью клапана-отсекателя. При технологическом нарушении параметров (уровень воды, разрежение в топке либо срыв пламени) автоматика безопасности с выдержкой времени также должна прекратить подачу топлива в котел. При этом информация об аварийном параметре должна выдаваться оператору в удобном для отслеживания виде.

Словесное описание цикла работы технологической линии или установки характеризует последовательность работы механизмов, однако является недостаточным для описания алгоритма управления ТП. Для формализации алгоритма управления необходимо определить тип и количество командных аппаратов таким образом, чтобы обеспечить выполнение требований функционирования оборудования технологической линии, то есть срабатывания командных аппаратов и исполнительных механизмов должны составлять непрерывную *логическую цепочку*.

Обозначим символами командные и исполнительные элементы СА котельной установки в соответствии с рисунком 2.3 для составления символической записи алгоритма примера (таблица 2.2). В приведенном примере сервомотор заслонки $M5$ рассматривается как два исполнительных органа (X_7, X_8). Насос задействован только основной. Управление резервным насосом будет добавлено на этапе составления программы управления на основе логических рассуждений. Регулирование частотного преобразователя и клапана подачи топлива в алгоритме также не рассматриваем, но добавим данные контуры при разработке программы для контроллера, так как плавное регулирование реализуется по своим типовым алгоритмам и законам.

Таблица 2.2 – Буквенное обозначение командных приборов и исполнительных устройств

Обозначение элемента	Наименование командного прибора и исполнительного устройства	Обозначение на схеме автоматизации (рисунок 2.3)	Обозначение на принципиальной схеме (рисунки 2.18–2.19, 2.49–2.50)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>a</i>	Тумблер «Пуск»	<i>HS9</i>	<i>SA2</i>
<i>b'₁</i>	Датчик нижнего уровня воды в барабане котла	<i>LE24</i>	<i>SL1</i>
<i>b''₁</i>	Датчик верхнего уровня воды в барабане котла	<i>LE23</i>	<i>SL2</i>
<i>b₂</i>	Датчик давления воздуха	<i>PE18</i>	<i>B3</i>
<i>b₃</i>	Датчик давления пара	<i>PE16</i>	<i>B1</i>
<i>b₄</i>	Датчик давления топлива	<i>PE17</i>	<i>B2</i>
<i>b₅</i>	Датчик наличия пламени	<i>BE19</i>	<i>B5</i>
<i>b₆</i>	Датчик разрежения в топке	<i>PE18</i>	<i>B3</i>
<i>b₇</i>	Концевой выключатель, фиксирующий положение заслонки – открыто	<i>ZS21</i>	<i>SQ1</i>
<i>b₈</i>	Концевой выключатель, фиксирующий положение заслонки – закрыто	<i>ZS22</i>	<i>SQ2</i>
<i>Y₁</i>	Промежуточный сигнал	В программе контроллера	
<i>X₁</i>	Управление двигателем насоса	<i>NS1</i>	<i>KM1</i>
<i>X₂</i>	Клапан запальника	–	<i>Y1</i>
<i>X₃</i>	Клапан-отсекатель	–	<i>Y2</i>
<i>X₄</i>	Управление трансформатором зажигания	<i>NS8</i>	<i>K7</i>
<i>X₅</i>	Управление приводом воздухоудвки	<i>NS10</i>	<i>KM4</i>
<i>X₆</i>	Управление приводом вентилятора	<i>NS6</i>	<i>KM3</i>
<i>X₇</i>	Управление сервомотором на открытие заслонок	<i>NS13</i>	<i>K5</i>
<i>X₈</i>	Управление сервомотором на закрытие заслонок	<i>NS14</i>	<i>K6</i>
<i>X₉</i>	Управление клапаном подачи воды	–	<i>Y3</i>
<i>X_c</i>	Аварийная сигнализация	<i>HL1</i>	<i>HL1</i>
<i>Z₁ и zq</i>	Катушка и контакт программного реле времени на пуск котла	В программе контроллера	
<i>Z₂ и zQ</i>	Катушка и контакт программного реле времени выдержки на аварийное отключение котла	В программе контроллера	

Если какой-либо прибор не выпускается промышленностью, следует переосмотреть состав структурной схемы САУ ТП, чтобы обеспечить непрерывность цепочки причинно-следственной связи работы САУ на приборах промышленного производства.

Используя словесное описание технологического процесса и принятые обозначения, составим запись алгоритма для нашего примера (таблица 2.3 – основной алгоритм для режима пуска, таблица 2.4 – ответвление от основного алгоритма в случае аварии). Действия над элементами в записи алгоритма приняты в соответствии с [4, с. 51]. Одновременно проверим символическую запись алгоритма на реализуемость и на правильность составления в соответствии с правилами [4, с. 59].

После знака * в такте 13 начинается ответвление от основного алгоритма.

Таблица 2.3 – Основной алгоритм управления (с проверкой)

Такт	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вес	1	2	4	8	16	4 2 32	64	128	256
Запись	$\uparrow a$	$\uparrow X_9$	$\uparrow X_1$	$\uparrow b'_1$	$\uparrow b''_1$	$\downarrow X_1$ $\downarrow X_9$ $\uparrow X_5$	$\uparrow b_2$	$\uparrow X_7$	$\uparrow b_7$
Весовое состояние	1	3	7	15	31	57	121	249	505

Продолжение таблицы 2.3

Такт	10	11	12	13*	14	15	16	17	18
Вес	512	128	1024	2048 4096 8192 16384	32768	16384 2048 65536	131072	262144 524288	4096
Запись	$\uparrow b_8$	$\downarrow X_7$	$\uparrow b_6$	$\uparrow X_4$ $\uparrow X_2$ $\uparrow Z_1$ $\uparrow Z_2$	$\uparrow b_5$	$\downarrow Z_2$ $\downarrow X_4$ $\uparrow X_3$	$\uparrow b_4$	$\uparrow Y_1$ $\uparrow z'_1$	$\downarrow X_2$
Весовое состояние	1017	889	1913	32633	65401	112505	243577	1030009	1025913

Продолжение таблицы 2.3

Такт	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Вес	1024	1048576	1024	1048576	16	2097152	65536	131072	1
Запись	$\downarrow b_6$	$\uparrow X_6$	$\uparrow b_6$	$\downarrow X_6$	$\downarrow b''_1$	$\uparrow b_3$	$\downarrow X_3$	$\downarrow b_4$	$\downarrow a$
Весовое состояние	1024889	2073465	2074489	1025913	1025897	3123049	3057513	2926441	2926440

Окончание таблицы 2.3

Такт	28	29	30	31	32
Вес	262144 32 4194304 8192 32768	1024 64 512 524288 2097152	256	4194304	8
Запись	$\downarrow Y_1$ $\downarrow X_5$ $\uparrow X_8$ $\downarrow Z_1$ $\downarrow b_5$	$\downarrow b_6$ $\downarrow b_2$ $\downarrow b_8$ $\downarrow z'_1$ $\downarrow b_3$	$\downarrow b_7$	$\downarrow X_8$	$\downarrow b'_1$
Весовое состояние	6817608	4194568	4194312	8	0

Таблица 2.4 – Дополнительная ветвь алгоритма управления (с проверкой)

Такт	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Вес	32768	65536 4096 2048 32	64	1	131072 65536 16384	512 32768	1024	256	131072
Запись	$\uparrow z'_2$	$\downarrow X_2$ $\downarrow X_5$ $\uparrow X_c$ $\downarrow X_4$ $\downarrow b''_1$	$\downarrow b_2$	$\downarrow a$	$\downarrow X_c$ $\downarrow X_1$ $\uparrow X_8$ $\downarrow Z_1$ $\downarrow Z_2$	$\downarrow z'_2$ $\downarrow b_8$	$\downarrow b_6$	$\downarrow b_7$	$\downarrow X_8$
Весовое состояние	65401	124761	124697	124696	173844	140364	139540	131072	0

После проверки можно сделать выводы:

- для основного алгоритма:

- 1) алгоритм составлен верно, так как конечное весовое состояние равно нулю;
- 2) в тактах алгоритма есть повторения значений весового состояния, но окончательный вывод о необходимости промежуточных реле будет сделан на этапе составления частных таблиц включения;

- для дополнительной цепи алгоритма:

- 1) алгоритм составлен верно, так как конечное весовое состояние равно нулю;
- 2) так как нет повторения значений весового состояния, то алгоритм реализуем.

После составления алгоритма приступаем к разработке структурных схем управления. Они относятся к классу двоичных систем, все входные, выходные величины и параметры состояний которых могут принимать только дискретные значения. Разрабатываются структурные схемы управления, как правило, для основного (автоматического) режима работы и затем дополняются элементами и связями, способными реализовать дополнительные режимы работы (ручной, наладочный).

Разработка структурных схем управления начинается с составления частных таблиц включения.

Частные таблицы включения составляются для всех исполнительных элементов (ИЭ) и реле времени в порядке их срабатывания при реализации алгоритма управления.

В частную таблицу включения какого-либо элемента входят из символической записи алгоритма, во-первых, данный элемент и все те командные и промежуточные элементы, от которых этот элемент срабатывает и отключается, и, во-вторых, некоторые другие вспомогательные элементы, необходимые для реализации данной частной таблицы включения.

В горизонтальных строках таблицы вписаны все электрические элементы. Вертикальные столбцы – это такты. При переходе от одного такта к другому меняется состояние хотя бы одного из электрических элементов. Знаком «+» обозначается включение элемента (попадание под напряжение катушки реле магнитного пускателя, электромагнита или нажатие кнопки управления или конечного выключателя), а знаком «-» – их выключение или отпускание.

В частных таблицах включения элемент, для которого составляется таблица, с целью его отличия от других элементов, выделяется и помещается в таблице включения первым.

Рассмотрим пример построения частных таблиц включения и получения первоначальных структурных формул для *примера символической записи* алгоритма управления котельной установкой.

Разработаем структурную формулу контактов для исполнительного механизма X_1 (электродвигатель основного насоса). Для этого составим таблицу включений ИЭ X_1 (таблица 2.5). На работу X_1 , согласно символической записи алгоритма, влияют элементы a (тумблер «Пуск») и b''_1 (датчик верхнего уровня воды в барабане котла). В соответствии с символической записью алгоритма в таблице включений отметим, как срабатывают и возвращаются в исходное состояние элементы. При корректном заполнении таблицы включения «вес» в последнем такте должен равняться «0».

Таблица 2.5 – Частная таблица включений для ИЭ X_1

Элемент	Вес элемента	Такт					
		1	2	3	4	5	6
X_1	1	-	+	+	-	-	-
a	2	+	+	+	+	+	-
b''_1	4	-	-	+	+	-	-
Весовое состояние		2	3	7	5	2	0

С целью упрощения анализа частной таблицы включения ИЭ обозначим:

- такт, предшествующий такту включенного состояния ИЭ, – *тактом срабатывания* (такт 1);
- такт, предшествующий такту отключенного состоянию ИЭ, – *тактом отпускания* (такт 3);
- такты включенного состояния ИЭ называются *рабочими тактами* ИЭ (такты 1–2), остальные такты – холостыми.

Из анализа весового состояния видно, что формулу управления можно реализовать без дополнительных элементов, так как повторение значений весового состояния произошло вне рабочих тактов ИЭ (такты 1–2).

Из структурной теории релейных устройств известна следующая общая формула для определения первоначальной структуры какого-либо ИЭ X [4, с. 73]:

$$f(X) = f_{\text{ср}}(X) + x \cdot \overline{f_{\text{отп}}(X)}, \quad (2.8)$$

где $f_{\text{ср}}$ – логическое произведение контактов элементов в тактах срабатывания, обеспечивающее замкнутую цепь элемента, для которого определяется структурная формула (контакт ИЭ в $f_{\text{ср}}$ не входит);

$f_{\text{отп}}$ – логическое произведение контактов элементов в такте отпускания, обеспечивающее в этом такте замкнутую цепь элемента, для которого определяется структурная формула (контакт этого элемента в $f_{\text{отп}}$ не входит);

x – контакт ИЭ.

Тактом срабатывания, согласно таблице 2.5, является первый такт, тактом отпускания – третий такт. Учитывая состояния элементов в такте 1 и 3, запишем структурную формулу управления для элемента X_1 :

$$f(X_1) = a \cdot \overline{b''_1} + \overline{a \cdot b''_1} \cdot x_1. \quad (2.9)$$

Используя закон де Моргана (формулировка $\overline{a \cdot b} = \overline{a} + \overline{b}$) и учитывая закон двойной инверсии ($\overline{\overline{a}} = a$) [4, с. 69] произведем преобразование структурной формулы контактов ИЭ X_1 :

$$f(X_1) = a \cdot \overline{b''_1} + (\overline{a} + \overline{b''_1}) \cdot x_1. \quad (2.10)$$

Для упрощения первоначальной структурной формулы контактов ИЭ X_1 можно воспользоваться *таблицей покрытия*. Ее назначение – исключить из первоначальной структурной формулы ИЭ лишние слагаемые (которые или не реализуют какие-либо такты, или реализуют их с помощью дополнительных слагаемых

структурной формулы). Таблицы покрытия (таблица 2.6) строятся следующим образом: в горизонтальных строках левого столбца выписываются все суммы произведений, имеющиеся в первоначальных структурных формулах элементов, а в вертикальных столбцах – номера тактов включенного состояния данного элемента, в том числе и такта срабатывания. Такт отпускания ИЭ в таблицу покрытий не входит.

Далее определяется, какими тактами реализуется каждое произведение структурной формулы, и в тех тактах, где данное произведение вызывает замкнутую цепь для элемента, ставят знак «X». Произведения, в строках которых нет ни одного знака «X», исключаются из первоначальной структурной формулы, так как они не реализуют ни одного такта. Произведения, знаки «X» которых перекрываются такими знаками другого произведения, также могут быть исключены, так как для каждого из тактов включенного состояния ИЭ достаточно замыкание всего одной цепи.

Воспользовавшись частной таблицей включений ИЭ X_1 и полученной первоначальной структурной формулой (2.10), построим таблицу покрытия для ИЭ X_1 (таблица 2.6) и произведем минимизацию первичной структурной формулы элементов. Для заполнения строк таблицы проанализируем состояние элементов каждой последовательной цепи (строки таблицы покрытия) по таблице включения (таблица 2.5) в тактах 1–2 (вошедших в таблицу покрытия). Из таблицы 2.6 видно, что замкнутую цепь обеспечивает первое произведение на протяжении тактов работы исполнительного элемента.

Таблица 2.6 – Таблица покрытия для X_1

№ цепи	Цепь	Такт	
		1	2
1	$a \cdot \overline{b''_1}$	X	X
2	$\overline{b''_1} \cdot x_1$	–	X
3	$\overline{a} \cdot x_1$	–	–

Поэтому окончательная формула управления выглядит как

$$f(X_1) = a \cdot \overline{b''_1}. \quad (2.11)$$

Формула управления реализуется структурой рисунка 2.20.

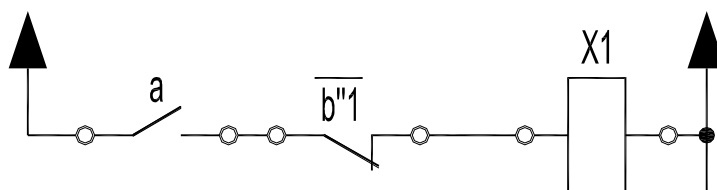


Рисунок 2.20 – Структурная схема управления ИЭ X_1

Проанализируем полученную структурную схему. Привод насоса должен срабатывать при наличии сигнала «Пуск» (замкнут контакт a) и работать пока уровень воды в барабане котла не достигнет верхнего уровня. Таким образом, структурная схема действует согласно алгоритму.

Проводим аналогичные операции и расчеты для остальных исполнительных элементов и результаты расчета сводим в таблицу 2.7. Однако при этом необходимо иметь в виду, что имеется также резервный насос (X_{1-2}), который должен срабатывать, когда некоторое время не будет наполнения барабана (реле задержки Z_3 и промежуточный элемент Y_1).

Объединив все формулы управления, одновременно вынося общие элементы в общую цепь управления и, по возможности, упрощая, получим общую структурную схему управления в целом котельной установкой (рисунок 2.21).

Таблица 2.7 – Структурные формулы управления ИЭ

Элемент	Формула
X_1, X_9, Z_3	$f(X_1) = a \cdot \overline{b}_1$
X_{1-2}	$f(X_{1-2}) = a \cdot \overline{b}_1 \cdot z_3$
X_2	$f(X_2) = a \cdot y_3 \cdot \overline{z}_1 \cdot \overline{z}_2$
X_3	$f(X_3) = a \cdot y_3 \cdot \overline{z}_2 \cdot \overline{y}_1$
X_4	$f(X_4) = a \cdot y_3 \cdot \overline{z}_2 \cdot \overline{b}_5$
X_5	$f(X_5) = a \cdot (b'_1 + x_5)$
X_6	$f(X_6) = a \cdot y_3 \cdot \overline{z}_2 \cdot \overline{b}_6$
X_7	$f(X_7) = a \cdot \overline{b}_6 \cdot \overline{b}_8$
X_8	$f(X_8) = (a \cdot \overline{b}_6 + \overline{a}) \cdot \overline{b}_7$
Y_1	$f(Y_1) = a \cdot y_3 \cdot \overline{b}_4 \cdot \overline{b}_2 \cdot \overline{b}_3$
Y_3, Z_1	$f(Y_3) = a \cdot (b''_1 \cdot \overline{b}_2 \cdot \overline{b}_6 + y_3)$
Z_2	$f(Z_2) = a \cdot y_3 \cdot \overline{b}_1 \cdot \overline{b}_6 \cdot \overline{b}_5$

При наличии сигнала «Пуск» и отсутствии воды в барабане котла срабатывает насос X_{1-1} и клапан подачи воды X_9 , а также катушка реле выдержки времени Z_3 . В случае не поступления воды спустя выдержку Z_3 контакт программного реле включит резервный насос X_{1-2} .

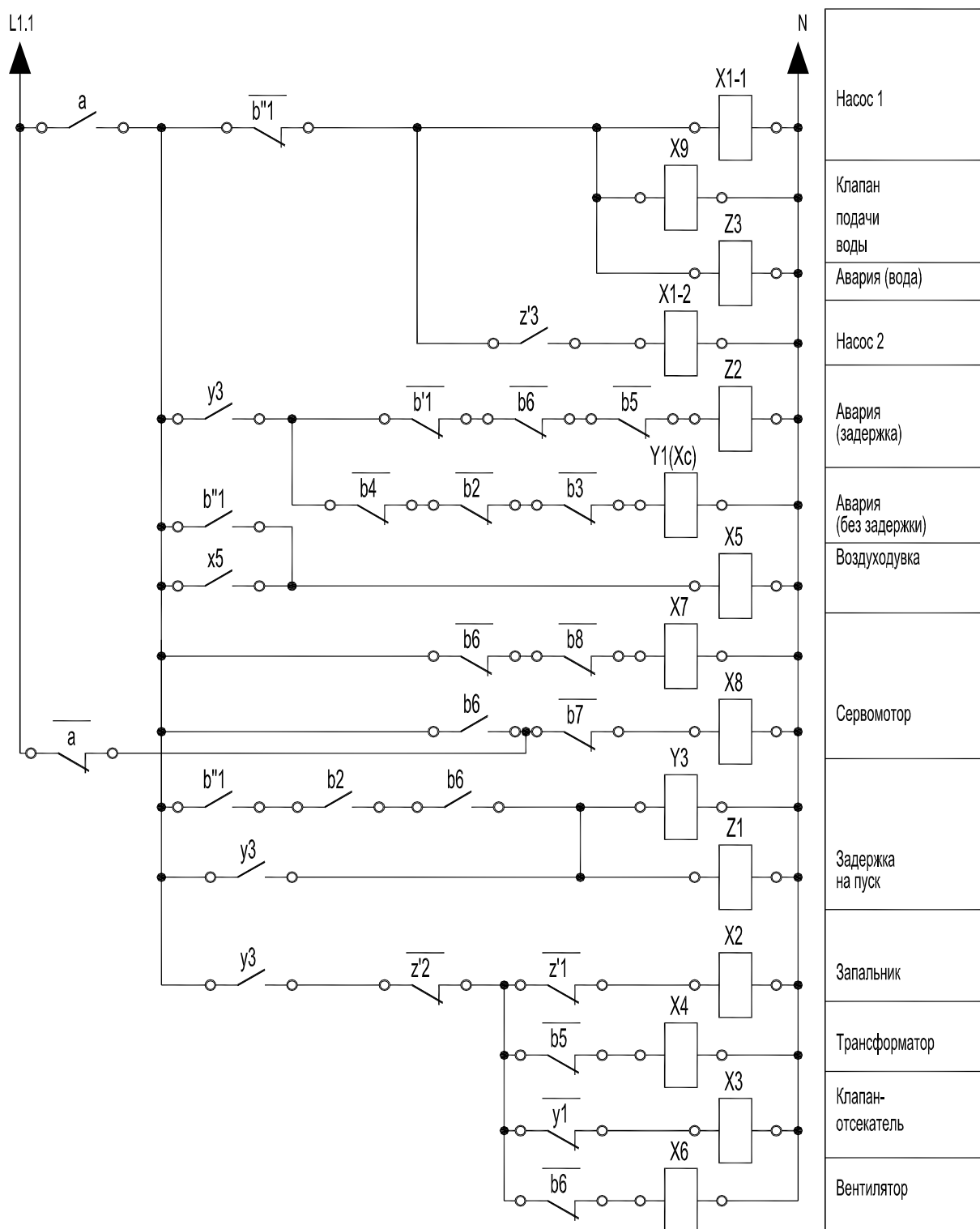


Рисунок 2.21 – Полная структурная схема управления котельной установкой

При наличии воды в барабане котла работает привод воздуходувки X_5 , сервомотор заслонок X_8 , промежуточное реле Y_3 (введено для уменьшения количества контактов в основных цепях ИЭ) и реле задержки на пуск котла Z_1 . Далее срабатывает клапан запальника X_2 , трансформатор X_4 . В случае срабатывания датчика наличия пламени b_5 отключается трансформатор, подается питание на клапан-отсекатель X_3 . Через выдержку Z_1 отключается клапан запальника X_2 .

При нормальном запуске котла вступают в работу привод вентилятора X_6 , сервомотор (X_7 и X_8). И должно происходить регулирование частоты вращения привода воздухоподувки (данные цепи управления добавим непосредственно при разработке программы управления). В случае аварии срабатывает катушка Z_2 или $Y_1(X_c)$ и отключает клапан-отсекатель. Работа котла останавливается. Таким образом, структурная схема управления работает в соответствии с заданным алгоритмом управления, но требует доработки в части реализации контура плавного регулирования приводом воздухоподувки.

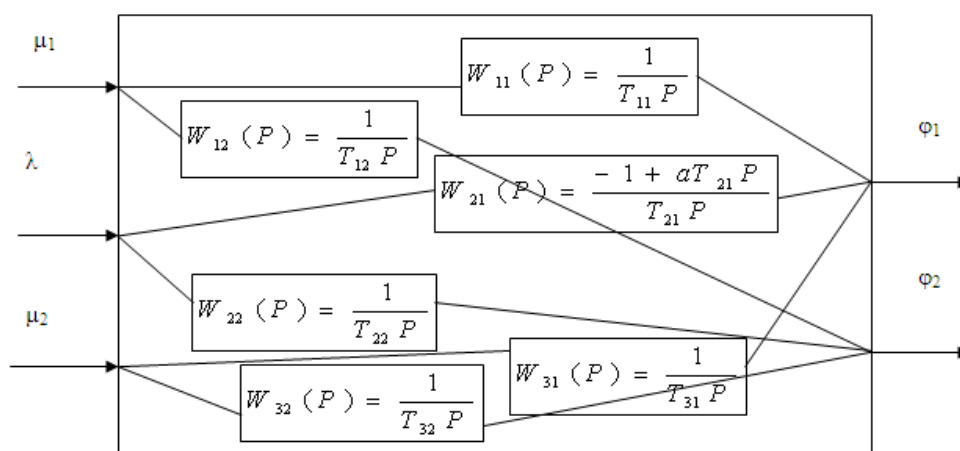
Структурная схема управления (рисунок 2.21) либо непосредственно структурные формулы управления служат основанием для разработки программы управления.

2.2.4 Разработка системы автоматического регулирования

Контур регулирования строят на базе типовой схемы (смотри рисунок 2.11) на основании анализа всех воздействий на объект, то есть фактически построения модели САР.

Котельная установка как объект автоматизации содержит несколько контуров регулирования. Математическую модель котла можно представить рисунком 2.22 [6, с.75].

В модели представлено влияние входных параметров (μ_1 – расход питательной воды, μ_2 – расход топлива, λ – нагрузка котла) на выходные (φ_1 – уровень в барабане котла; φ_2 – давление в котле). Авторами исследований [6] были предложены уравнения динамики. Но громоздкость расчетов постоянных времени и коэффициентов приводит к тому, что их рекомендуют определять экспериментально. Такие исследования для парового котла позволили определить средние значения: $T_{11} = 91$ с, $T_{12} = 3500$ с, $T_{21} = 91$ с, $a = 2,37$, $T_{22} = 301$ с, $T_{32} = 310$ с [6, с.79].



φ_1 – уровень в барабане котла; φ_2 – давление в котле; μ_1 – расход питательной воды;
 μ_2 – расход топлива; λ – нагрузка котла

Рисунок 2.22 – Модель парового котла

Нас, прежде всего, интересует контур регулирования по каналу соотношения «расход топлива – давление воздуха».

Определим закон регулирования, реализуемый системой автоматического регулирования в контуре регулирования. Поскольку скорость воздухоудвки должна изменяться плавно, то и закон регулирования необходимо принять плавный. Основное условие выбора принципа регулирования определяется соотношением запаздывания регулирующего воздействия и постоянной времени объекта управления τ/T [5, с. 121]. Считается, что если $\tau/T < 0,2$, то может быть использовано позиционное регулирование, а при $\tau/T > 1$ требуются особо чувствительные, например импульсные, регуляторы. В промежутке между указанными пределами от 0,2 до 1,0 применяется плавное регулирование. В данном случае соотношение равно 0,21, что подтверждает возможность использования законов плавного регулирования.

Уточнить, какой из плавных законов регулирования можно использовать, например, с помощью диаграммы А. Я. Лернера [5, с. 122] либо воспользовавшись полным анализом САР [30]. Воспользуемся первой упрощенной методикой.

При постоянной времени объекта $T = 301$ с, времени запаздывания $\tau = 65$ с и времени регулирования $t_{\text{рег}} = 300$ с, по ниже приведенным формулам определим координаты на диаграмме.

$$\psi_{\text{II}} = \frac{T}{\tau} = \frac{301}{65} = 4,6; \quad (2.12)$$

$$\psi_{\text{C}} = \frac{t_{\text{рег}}}{\tau} = \frac{300}{65} = 4,7.$$

В этом случае подходят сверхбыстрые регуляторы либо ПИД-регуляторы. Остановимся на последних.

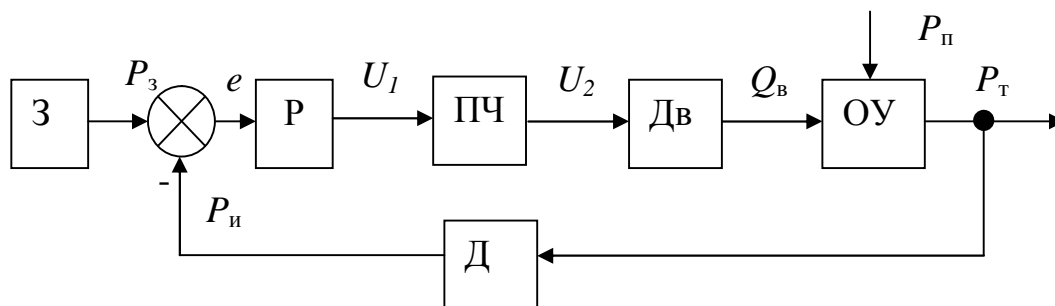
Выбранный закон регулирования, а следовательно, и регулятор должны обеспечить один из типовых переходных процессов. Однако, в зависимости от значений параметров настройки регулятора, отклонения от уставок, определяемых технологическими нормами, могут быть различными. Поэтому необходимо рассчитать соответствующие параметры настройки регулятора.

Существуют несколько методик, по которым проводят расчет [31, с. 51]:

- расчет на заданный запас устойчивости по амплитуде;
- расчет на заданное значение показателя колебательности;
- расчет по расширенным амплитудно-фазным характеристикам на заданное качество переходного процесса;

– расчет параметров по справочным таблицам (приближенный метод).

Для анализа качества регулирования представим контур регулирования в виде функциональной схемы (рисунок 2.23), удобной для проведения анализа.



З – задатчик; Р – регулятор; ПЧ – преобразователь частоты; Дв – двигатель;
ОУ – объект управления; Д – датчик

Рисунок 2.23 – Функциональная схема САР соотношения «топливо–воздух»

Регулируемым параметром является давление воздуха $P_{\text{в}}$, подаваемое в топку и связанное с давлением топлива $P_{\text{т}}$. Возмущающим воздействием является давление пара $P_{\text{п}}$. Управляющим воздействием является расход воздуха $Q_{\text{в}}$. Действительное значение давления топлива измеряет датчик давления Д. Сигнал с датчика поступает в контроллер, который является и сравнивающим устройством и регулятором Р. Сигнал сравнения (ошибка e) поступает на формирующий закон регулирования блок в программе контроллера и на аналоговом выходе контроллера формируется плавно изменяющийся сигнал напряжения U_1 , который поступает на преобразователь частоты ПЧ, устанавливающий частоту вращения двигателя воздухоудвки Дв.

Однако для анализа САР необходимо знать математическое описание звеньев, чтобы на его основании составить структурную алгоритмическую схему (рисунок 2.24). Получим ее, используя справочные материалы из литературных источников [29, 30, 32].

Передаточная функция объекта управления [29, с. 75]:

$$W(P) = \frac{1}{301P}.$$

Передаточная функция датчика [32, с. 115]:

$$W(P) = \frac{1}{30P + 1}.$$

Передаточная функция двигателя [30, с. 35]:

$$W(P) = \frac{1}{25P^2 + 75P + 1}.$$

Передаточная функция преобразователя частоты [30, с. 35]:

$$W(P) = k_{пч}.$$

Регулятор представлен тремя звеньями: пропорциональным, интегральным и дифференциальным.

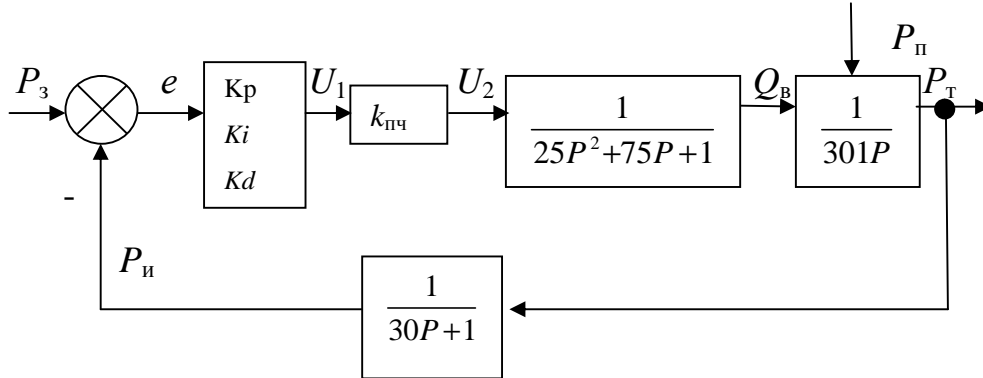


Рисунок 2.24 – Структурная алгоритмическая схема САР котла по контуру соотношения «топливо–воздух»

Сегодня современные программные средства позволяют легко моделировать работу САР (если известно математическое описание ее основных звеньев). Наиболее полные возможности для решения таких задач дает математическая матричная лаборатория Matlab, которая имеет мощные средства математически ориентированного программирования, диалога, графики и комплексной визуализации [31]. Популярности системы Matlab способствует ее мощное расширение Simulink, предоставляющее пользователю удобные и простые средства, в том числе визуального объектно-ориентированного программирования, для блочного моделирования линейных и нелинейных динамических систем, а также множество других пакетов расширения системы.

Для анализа контура регулирования в Matlab структурную схему рисунка 2.24 необходимо представить типовыми блоками библиотеки Simulink (рисунок 2.25).

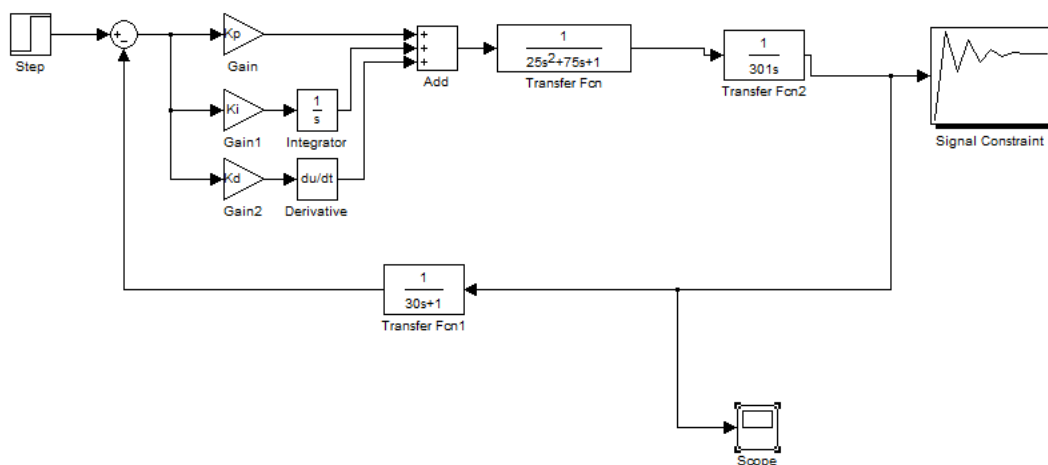

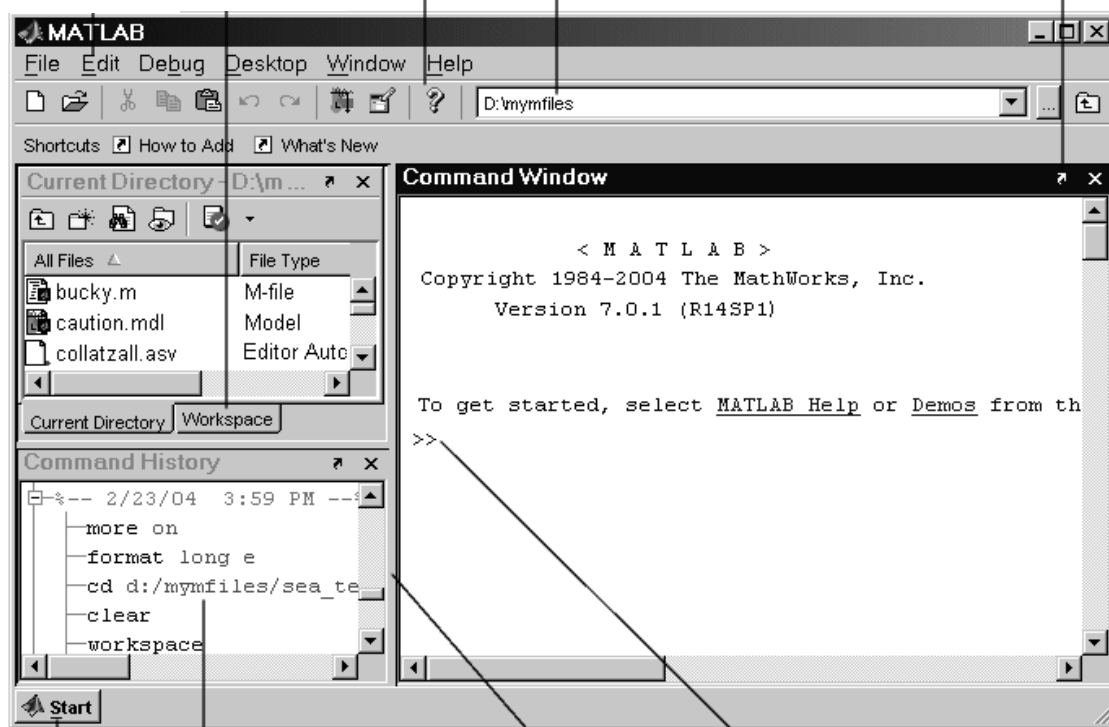


Рисунок 2.25 – Структурная алгоритмическая схема САР пароводогрейного котла по контуру соотношения «топливо–воздух», адаптированная для анализа в Matlab

Запуск системы Matlab осуществляется из рабочего меню через кнопку «Пуск» или с помощью ярлыка на рабочем столе. После запуска появляется основное окно системы (рисунок 2.26).

Для решения задачи подбора параметров ПИД-регулятора требуется задать модель САР в системе Matlab. Для этого требуется открыть пакет блочного ситуационного моделирования Simulink через кнопку «Пуск» системы Matlab либо инструмент . При этом открывается окно Simulink Library Browser, в котором выбираем меню File → New → Model.

Меню Правка зависит от используемого средства
Используйте закладку для перехода
Помощь
Просмотр или изменение текущей директории
Переместите командное окно с рабочего стола



Щелкните кнопку Пуск для быстрого вызова инструментов и пакетов расширений
Просмотрите или вырежьте прежде использованные функции из окна истории команд
Потяните разделитель для изменения размеров окна
Введите Matlab функцию в командную строку



Рисунок 2.26 – Основное окно системы Matlab

Пакет расширения Simulink служит для имитационного моделирования моделей, состоящих из графических блоков с заданными свойствами (параметрами). Компоненты моделей, в свою очередь, являются графическими блоками и моделями, которые содержатся в ряде библиотек и с помощью мыши могут переноситься в основное окно и соединяться друг с другом необходимыми связями. В состав моделей

могут включаться источники сигналов различного вида, виртуальные регистрирующие приборы, графические средства анимации. Двойной щелчок левой кнопкой (ЛК) мыши на блоке модели выводит окно со списком его параметров, которые пользователь может менять. Запуск имитации обеспечивает математическое моделирование построенной модели с наглядным визуальным представлением результатов. Пакет основан на построении блочных схем путем переноса блоков из библиотеки компонентов в окно редактирования создаваемой пользователем модели. Затем модель запускается на выполнение.

Оптимизацию САР проведем по переходной функции [30] объекта согласно структурной схеме, подав на вход единичное ступенчатое воздействие и задав следующие ограничения: перерегулирование $\leq 20\%$, статическая ошибка равна 0, время регулирования не более 300 с.

Для создания модели САР (рисунок 2.25) должны быть активными окно библиотеки Simulink Library Browser и окно Simulink. Последовательно перетянем все блоки модели из библиотеки (пути прописаны в таблице 2.8) в окно Simulink, настраивая параметры каждого блока в диалоге, вызываемом двойным щелчком ЛК мыши по изображению блока. Соединяем блоки линиями связи, подводя мышь к выходу блока и удерживая ЛК мыши, прорисовываем линию до соединения со входом другого блока.

Прежде чем приступить к моделированию и оптимизации САР, требуется задать начальные значения параметров регулятора: K_p , K_i и K_d . Поэтому в главном окне Matlab в области Command Window зададим: $K_p = 1$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ (пропорциональный закон регулирования). Запустим моделирование и посмотрим график переходного процесса (рисунок 2.27), установив в окне Simulink время моделирования в области Simulation Stop Time равное 1000 с, и нажмем кнопку старта . Чтобы посмотреть график, запустим окно Scope, дважды щелкнув ЛК мыши по одноименному блоку. Для наибольшей наглядности нажмем кнопку автомасштаба  в окне Scope.

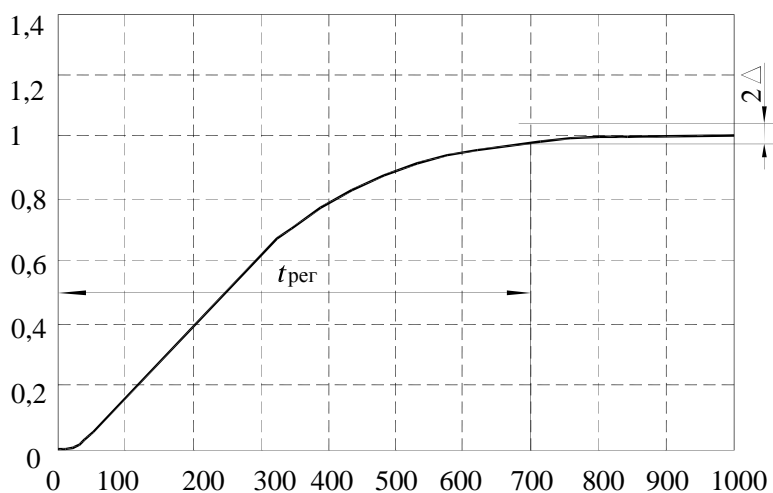

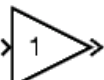

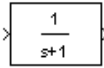

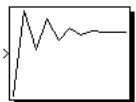



Рисунок 2.27 – Переходная функция САР парового котла при начальных коэффициентах регулятора

При этом на графике имеем значительную величину времени регулирования (600 с), которая превышает необходимую (300 с).

Таблица 2.8 – Параметры блоков, используемых в модели САР

Блок	Путь в библиотеке	Параметры
1	2	3
 Step – генерирует ступенчатый сигнал	Simulink → Sources → Step	По умолчанию
 Gain – усилитель входного сигнала	Simulink → Math Operations → Gain	В диалоге параметров на закладке Main в строке Gain требуется установить соответственно для блока Gain – K_p , Gain1 – K_i , Gain2 – K_d
 Add – суммирует или вычитает входные сигналы	Simulink → Math Operations → Add	В диалоге параметров в строке List of signs требуется установить +++
 Transfer Fcn – задает передаточную функцию	Simulink → Continuous → Transfer Fcn	В диалоге параметров в строке Denominator требуется установить для блока объекта регулирования [T1 T2 1]
 Scope – выводит сигналы, полученные во время моделирования	Simulink → Sinks → Scope	По умолчанию
 Signal Constraint – проводит оптимизацию модели по переходной функции	Simulink Response Optimization → Signal Constraint	По умолчанию

Перейдем к подбору параметров регулятора, используя блок Signal Constraint. Вызовем диалог оптимизации двойным щелчком ЛК мыши по указанному блоку. Здесь необходимо задать границы, в которые должен укладываться переходной процесс (перетаскиваются мышью), и изменяемые параметры через диалог, вызываемый по пути меню Optimization → Tuned Parameters, и кнопку Add: K_p , K_i и K_d . После нажатия кнопки старта  будет происходить подбор параметров с одновременным построением графиков.

После вхождения графика в заданные границы в окне оптимизации будут вычислены оптимальные изменяемые параметры, а в окне Scope будет показан график оптимизированной САР.

Изначально в качестве метода оптимизации установлен по умолчанию метод градиентного спуска.

Зацикливание обеспечивается при параметрах: $Kd = 556,7$; $Ki = 8,7 \cdot 10^{-4}$; $Kp = 9,99$. При этом время регулирования составляет $t_{\text{рег}} = 200$ с, перерегулирование – 10 % (рисунок 2.28).

Найденные параметры значений коэффициентов для оптимальной системы будут нужны для задания значений в контуре регулирования, реализуемом в программе контроллера.

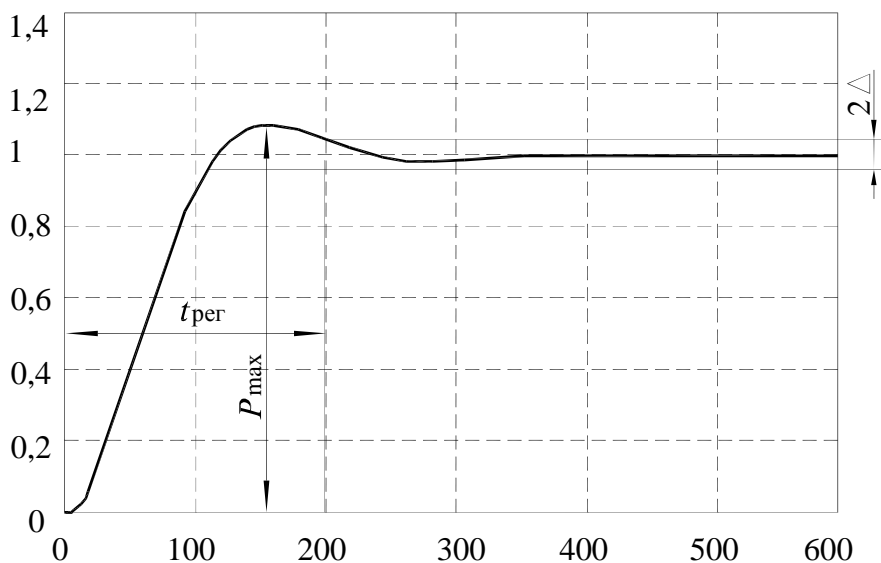


Рисунок 2.28 – Переходная функция САР парового котла с оптимальными параметрами

Необходимо заметить, что если нет данных по математическому описанию объекта управления, то необходимо проводить его идентификацию, используя методику [4, с. 141–164].

2.2.5 Разработка средств визуализации управления

Визуализация – метод представления информации в виде оптического изображения (например, в виде рисунков и фотографий, графиков, диаграмм, структурных схем, таблиц, карт и т. д.).

При визуализации управления используют следующие технические средства:

- компьютер с установленной SCADA-системой (Tracemode, Genesis) и периферией;

- контроллер с панелью оператора;

- контроллер с дисплеем.

Выбор технических средств для обеспечения визуализации зависит от количества отображаемой информации и масштабности объекта управления. В случае масштабных объектов используют SCADA-системы, познакомиться с возможностями которых можно в [32, с. 124–150]. Для визуализации контролируемых параметров отдельных технологических линий или установок достаточно использовать контроллер с панелью оператора, а для небольших установок достаточно и небольшого встроенного дисплея контроллера.

Для реализации визуализации процесса управления котельной установкой будем использовать панель оператора, подключаемую к контроллеру Simens S7-1200. Выберем панель SIMATIC KTP 700 Basiccolor DP (имеет 5.7” цветной сенсорный TFT дисплей, шесть функциональных клавиш, интерфейс RS 422/RS 485) [33, с. 3/140].

Программирование панели осуществляется с помощью программы TIA Portal. Принципы создания проекта в TIA Portal изложены ниже в подразделе 2.3.6.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) – интегрированная среда разработки программного обеспечения систем автоматизации технологических процессов на основе оборудования производства фирмы Siemens [34]. В TIA Portal объединены три основных программных пакета:

- Simatic Step 7 v.13 для программирования контроллеров S7-1200, S7-300, S7-400 и WinAC;
- Simatic WinCC v.13 для разработки человеко-машинного интерфейса (программирование сенсорных панелей и SCADA-систем);
- Sinamics StartDrive v.13 для программирования преобразователей частоты Sinamics.

Для программирования человеко-машинного интерфейса на сенсорной панели оператора используется WinCC.

Панель оператора предоставляет пользователю следующую функциональность [33]:

- визуализация параметров технологического процесса (или объекта) в текстовом или графическом режимах;
- управление и обработка аварийных сообщений, регистрация времени и даты возникновения аварийных сообщений;
- ручное управление с помощью функциональных кнопок или сенсорного экрана;
- возможность программирования графики и настройки функциональных клавиш;
- построение диаграмм и трендов, отображение сводных отчетов.

Задача визуализации. В случае разработки системы автоматизации котельной установки на панели оператора необходимо отслеживать состояние всех значимых технологических параметров и работу оборудования. Также возможно работать с аварийными сообщениями (это может быть задачей, решаемой в спецвопросе дипломного проекта).

Итак, раз необходимо следить за работой котельной установки, то на панели оператора необходимо задать мнемосхему, вынести на нее отображение значений аналоговых величин технологических параметров: давление пара, воздуха, топлива, разрежение в топке. При этом можно визуально «подсветить» состояние этих параметров в норме, диапазон, когда необходимо обратить внимание на величину, и диапазон аварийного состояния параметра. Разграничим эти диапазоны, например, цветом отображения.

Для программирования человеко-машинного интерфейса на сенсорной панели оператора, нужно добавить ее в проект и выполнить ее настройку по шагам, изложенным в [40, с. 66–69].

Добавление в проект сенсорной панели 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 → KTP700 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 кнопку Browse и в появившемся всплывающем окошке указать имя 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).

Пройдя последующие шаги настройки или пропустив их, с помощью кнопки Finish выходим из окна настройки. При этом в дереве проекта (Project tree) появится пункт HMI_1[KTP700 Basic panel], при развертывании 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 др. 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.

В случае большого насыщения информацией необходимо предусматривать несколько экранов на ПО и настраивать условия перехода между экранами.

В рамках примера предусмотрим один корневой экран (Root screen). Разместим в поле экрана графическое изображение котла на основе чертежа схемы автоматизации (рисунок 2.3), скопировав через буфер обмена. Также можно отрисовать соответствующее изображение с помощью базовых элементов BasicObjects панели Toolbox либо воспользоваться глобальной библиотекой: панель Libraries → Global libraries.

Далее нанесем активные элементы, которые свяжем с соответствующими переменными (tags) в программе контроллера для мониторинга работы оборудования котла и отслеживания технологических параметров (рисунок 2.29).

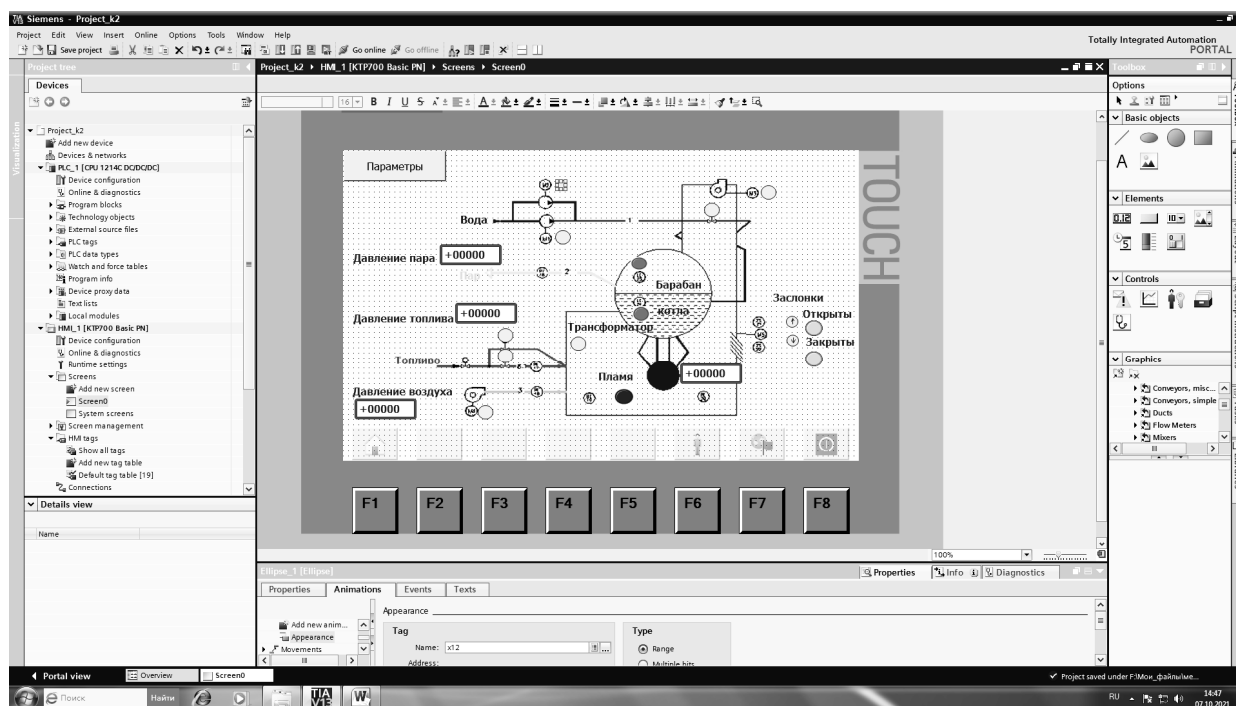




Рисунок 2.29 – Создание корневой экрана ПО

Для отображения текстовых данных служит компонент Text field, имеющийся на панели Toolbox → Basic objects в виде пиктограммы с изображением буквы «А». Перетащив данный компонент в нужное место экрана, необходимо нужным образом 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. Воспользуемся данным компонентом для отображения поясняющей информации на экране ПО.

Для отображения работы приводов и других ИЭ воспользуемся базовым компонентом «Круг» (Circle) или «Эллипс» (Ellipse) из вкладки Toolbox → Basic objects. Перетащив на поле экрана необходимо задать его свойства в окне инспектора свойств объекта Properties: цвет элемента, границы и др. Для привязки к переменной программы воспользуемся вкладкой Animation, выберем в области Display кнопку Add new animation и в открытом окне appearance (появление). Далее в высветившихся свойствах привяжем к переменной – область Tag к имени x1, в области Type выберем Range (диапазон) и ниже добавим строчку, указав в поле Range – 1, Backgroundcolor – зеленый цвет, Bordercolor оставим по умолчанию. Аналогичные действия проведем для возможности отображения других ИЭ. Для отображения уровня воды и пламени воспользуемся готовыми элементами из библиотеки (например, PlotLight_Round_N_Mono_1).

Для отображения и ввода числовых данных предназначен компонент I/O field, расположенный на панели 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 либо НМІ 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.

Необходимо отметить, что в среде TIA Portal поддерживается технология Drag-and-drop. Поэтому можно вытянуть соответствующую переменную из списка переменных, открыв в дереве проекта вкладку PLC tags → Default tag table и из окна Details view перетащить соответствующую переменную на поле экрана (например, b2). При этом автоматически формируется компонент I/O field с привязкой к данной переменной. Чтобы «подсветить» диапазон значений данной переменной, снова воспользуемся окном инспектора свойств объекта Properties, добавим анимацию appearance и в области Range разграничим по цветам диапазон значений данной величины (давление пара).

В заключение остается загрузить проект в память сенсорной панели: меню Online, пункт Download to device (загрузка проекта производится отдельно в память контроллера и в память сенсорной панели) и опробовать экран.

2.2.6 Разработка программы управления

2.2.6.1 Краткая характеристика языков программирования ПЛК

Для программирования контроллеров в соответствии со стандартами МЭК предусмотрены несколько языков программирования, которые можно разделить на две группы: графические и текстовые [16]. К графическим языкам относят: язык последовательных функциональных схем – Sequential Function Chart (SFC); язык функциональных блоковых диаграмм – Function Block Diagram (FBD); язык релейно-контактной логики – Ladder Diagram (LD). К текстовым языкам относятся список инструкций – Instruction List (IL); структурированный текст – Structured Text (ST).

SFC – это графический язык, который позволяет описать хронологическую последовательность различных действий в программе. Для этого действия связываются с шагами (этапами), а последовательность работы определяется условиями переходов между шагами.

FBD – это графический язык, который работает с последовательностью цепей, каждая из которых содержит логическое или арифметическое выражение, вызов функционального блока, переход или инструкцию возврата.

LD – это графический язык, реализующий структуры электрических цепей.

IL – представляет собой список инструкций со списком мнемонических команд.

ST – представляет собой набор инструкций высокого уровня, которые могут использоваться в операторах (If...Then...Else) и в циклах (While...Do).

Принципы использования языка программирования FBD изложены в [5, с. 84–92]. В данной работе рассмотрим язык LD. С текстовыми языками можно познакомиться в [33].

2.2.6.2 Принципы программирования контроллера фирмы Siemens

Программирование контроллеров S7-1200 обеспечивается системой STEP 7 в виде TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), где поддерживается несколько

языков программирования: релейно-контактной логики – Ladder Diagram, функциональных блочных диаграмм – Function Block Diagram, структурный управляющий язык – Structured Control Language. Выбор конкретного языка программирования зависит от субъективного опыта разработчика. В нашем случае остановимся на языке Ladder Diagram (LD), подобном языку принципиальных электрических схем.

Портальное представление дает функциональный взгляд на задачи проекта и организует функции инструментальных средств в соответствии с задачами, которые должны быть выполнены (например, конфигурирование аппаратуры и сетей). Портальное представление дает доступ ко всем компонентам внутри проекта.

Последовательность создания проекта в TIA portal примерно представлена ниже.

Запускаем TIA Portal, выбираем из стартового портала Start (левая область) и портал Create new project (рисунок 2.30).



Рисунок 2.30 – Начало работы в среде TIA Portal

При этом задается область сохранения и имя проекта. Первым делом необходимо задать конфигурацию системы. Для этого в дереве First steps выбираем шаг Configure advise. В стартовом портале переходим на первую задачу Devices & Networks (Устройства и сети). Выбираем ключ Add new device (Добавить устройство).

В высветившемся списке устройств выбираем необходимый тип контроллера (рисунок 2.31). Далее добавим специальный модуль с помощью библиотеки (расположена справа) и вставим его после CPU контроллера в слот 2 (рисунок 2.32).

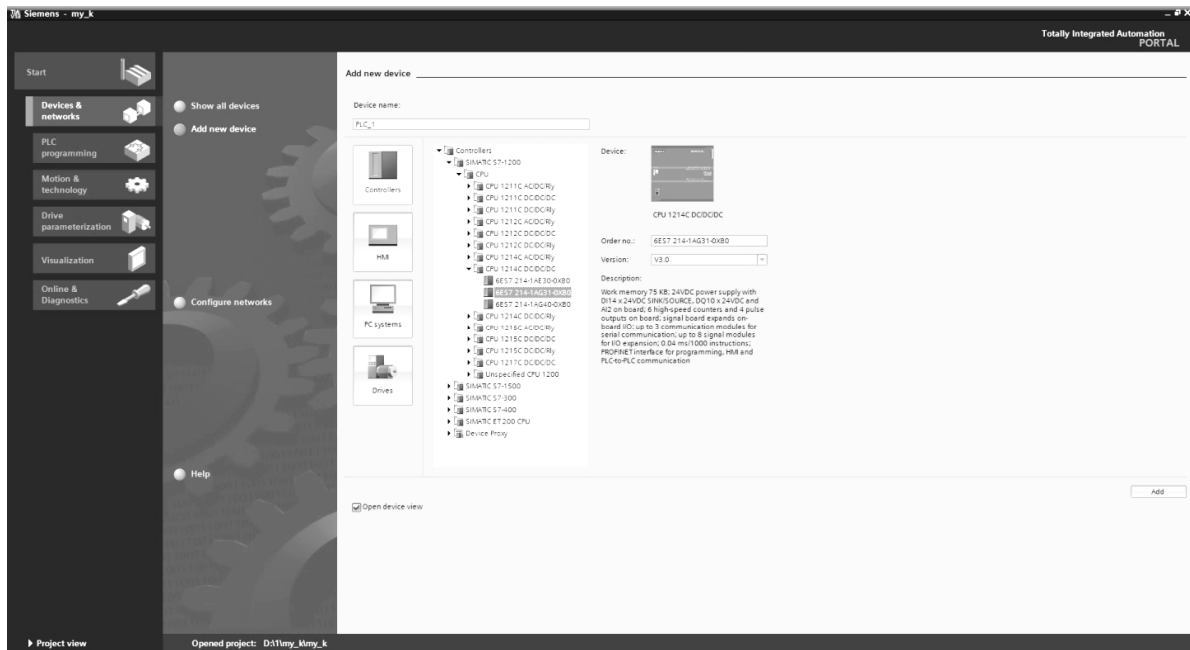


Рисунок 2.31 – Выбор типа контроллера

Сконфигурировав систему управления, переходим к заданию имен входов и выходов контроллера, переменных внутренней памяти, так называемой глобальной памяти (глобальная память CPU представляет ряд специализированных областей памяти, включая входы (I), выходы (Q) и битовую память (меркеры) (M); эта память доступна для всех кодовых блоков без ограничения). Для этого можно вызвать таблицу имен (тэгов) щелчком по входам (выходам) контроллера в окне конфигурации (рисунок 2.32) или воспользоваться списком свойств проекта (область слева – пункт PLC Tags) и непосредственно ее заполнить (рисунок 2.33).

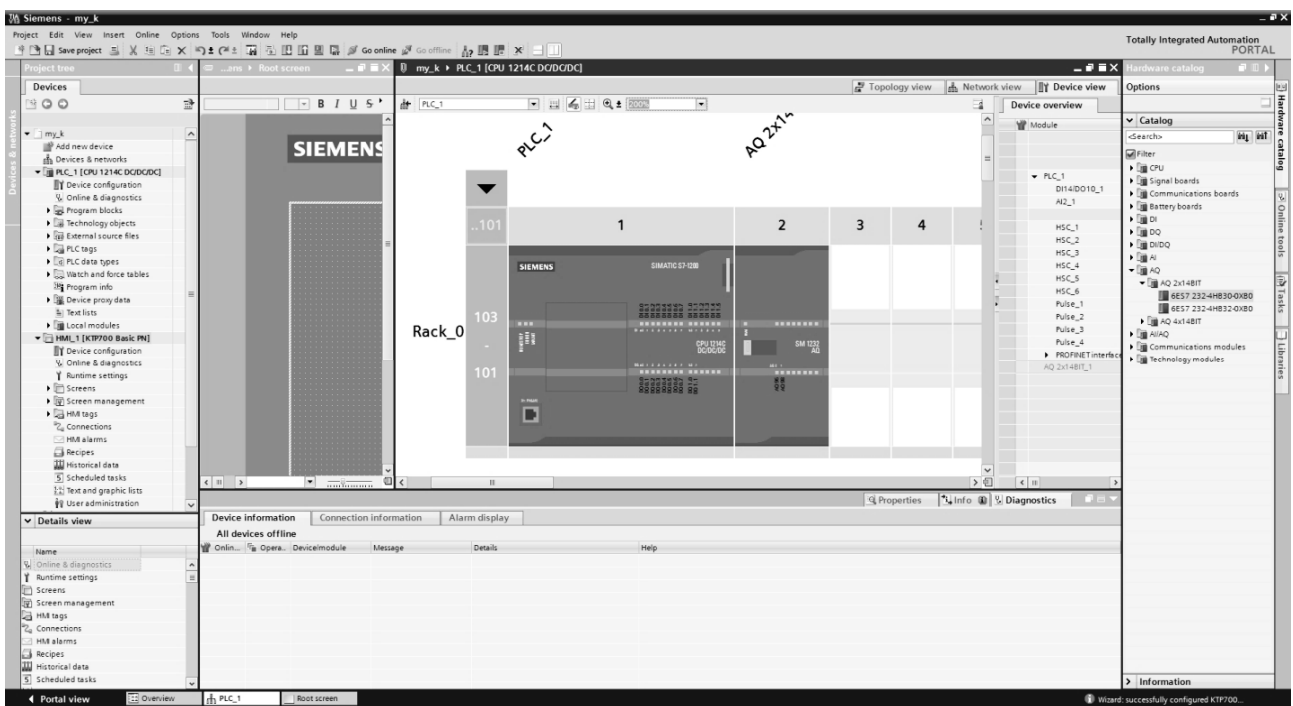


Рисунок 2.32 – Результат конфигурации системы управления

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...	Comment
1	y1	Default tag table	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	сигнал разрешения
2	b1	Default tag table	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	заслонка на выгрузку
3	b2	Default tag table	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	заслонка на повторную сушку

Рисунок 2.33 – Задание имен в глобальной памяти контроллера

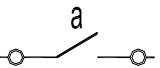

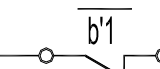

Адреса входов и выходов в таблице заданы по умолчанию (колонка 4 – Address). Имя задается в первой колонке Name. При этом можно изменить тип данных (колонка 3 – Data type), выбрав его из списка возможных. В колонке Comment можно давать пояснения к принятым именам.

При создании пользовательской программы для решения задачи автоматизации команды вставляются в кодовые блоки: организационный блок (OB) реагирует на определенное событие в CPU и может прервать исполнение программы пользователя (является единственным кодовым блоком, необходимым для пользовательской программы); функциональный блок (FB) – это подпрограмма, которая исполняется при вызове из другого кодового блока (OB, FB или FC); функция (FC) – это подпрограмма, которая исполняется при вызове из другого кодового блока (OB, FB или FC).

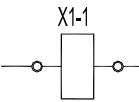
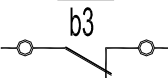
Для создания организационного блока воспользуемся деревом проекта (рисунок 2.32, область слева), для PLC откроем вкладку Program blocks и пункт Add new blocks. При этом в открывшемся диалоге (рисунок 2.34) выбираем блок OB, тип исполнения программы (Program cycle) и язык программирования (например, LAD).

Основанием для написания программы является структура управления, подобная рисунку 2.21, которая в программе должна быть представлена специальными символами и функциями, основные из которых раскрыты в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Основные элементы языка релейно-контактной логики, реализуемой в программе управления для контроллера S7-1200, и их соответствие структуре управления

Обозначение элемента в структуре управления	Наименование командного прибора или исполнительного устройства	Обозначение в программе контроллера
1	2	3
	Тумблер «Пуск»	Инструкция: нормально-разомкнутый контакт (вход 5) %I0.5 “b5” 
	Датчик нижнего уровня воды в барабане котла	Инструкция: нормально-замкнутый контакт (вход 0) %I0.0 “b’1” 

Окончание таблицы 2.9

1	2	3
	Управление двигателем насоса	Инструкция: итог логической цепочки (выход 0) %Q0.0 "x1" —()—
	Датчик давления пара	Инструкция: блок сравнения %MW64 "b3" —<=— Int 1300
	Катушка и контакт программного реле времени на пуск котла	Инструкция: таймер на включение 

Основными элементами языка релейно-контактной логики являются контакты, которые можно образно уподобить паре контактов реле или кнопки. Различаются нормально замкнутые и нормально разомкнутые контактные элементы, которые можно сопоставить с нормально замкнутыми и нормально разомкнутыми кнопками в электрических цепях. С помощью данных элементов реализуется цепь управления катушкой (представленной фактически выходом контроллера). Так, на рисунке 2.34 представлена цепь управления выходом $Q0.0$, сигнал с которого идет на включение магнитного пускателя привода вентилятора. Цепь управления реализована тремя контактами, соединенными в определенной конфигурации.

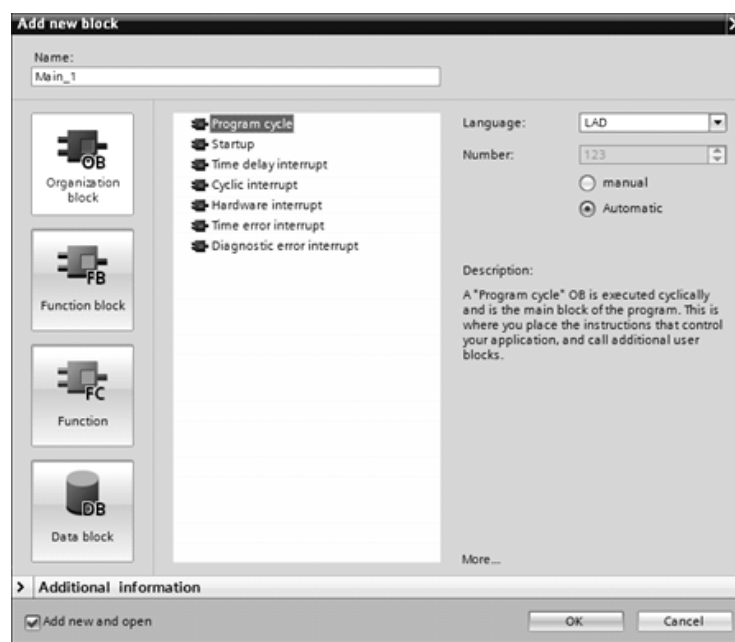


Рисунок 2.34 – Диалог задания организационного блока пользовательской программы

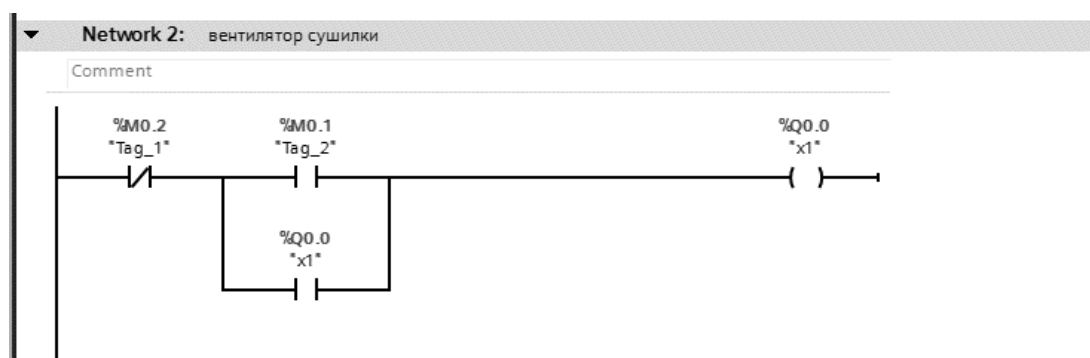


Рисунок 2.35 – Пример реализации цепи управления на языке LAD в программе контроллера

Специфику в программе представляют такие компоненты как суточное реле времени, таймер, счетчик, ПИД-регулятор и т. п., которые реализуются специальными блоками-инструкциями. Покажем примеры реализации в программе таких компонентов.

Пример реализации таймера (временной задержки) в программе

Задача управления. Технологическая установка имеет два последовательно установленных транспортера: подающий с двигателем *M1* и выгружающий с двигателем *M2* (рисунок 2.36).

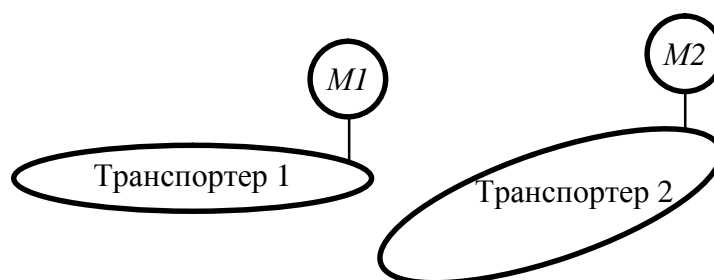


Рисунок 2.36 – Расположение оборудования технологической установки

Порядок включения для отсутствия лишней нагрузки при пуске транспортеров обычно в поточной линии с ее конца и с небольшой задержкой между включениями для уменьшения нагрузки электрической сети пусковыми токами. Таким образом, при поступлении сигнала включения необходимо включить сначала двигатель транспортера 2 *M2*, и затем через пару секунд двигатель *M1*. Сигнал включения подается аппаратом ручного воздействия, то есть оператором нажатием кнопки *a*, сигнал выключения будет поступать от аппарата технологического воздействия, то есть некоторого датчика заполнения *b*.

Порядок выключения двигателей обратный, при поступлении сигнала на выключение (сигнал датчика *b*) сначала выключается подающий транспортер *M1*, а затем, с выдержкой времени, достаточной для полного освобождения от содержимого, лежащего на нем, транспортер *M2* (выдержка времени в пять секунд).

Решение. Для организации задержки в программе контроллера имеются функции программных таймеров [35, с. 41]:

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.

Важнейшим параметром для 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".

Для организации задержки включения и отключения приводов транспортеров задействуем таймер TON (вкладка инструкций Instructions → Basic instructions → Timer operations). Программа управления разбита на две части: одна – на включение транспортеров (рисунок 2.37), вторая – на отключение (рисунок 2.38). При этом в программе задействованы переменные, представленные в таблице 2.10.

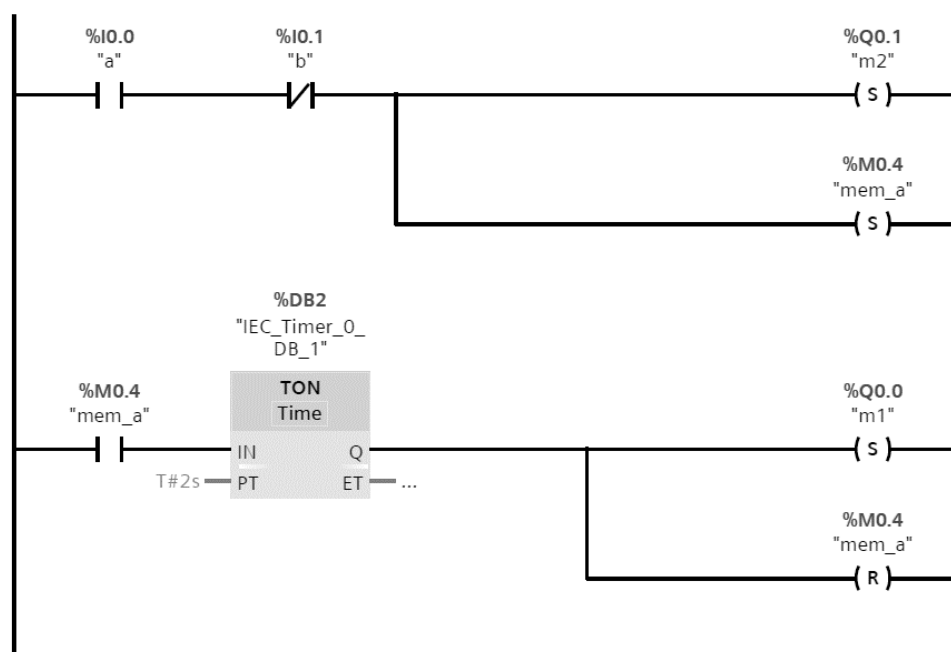


Рисунок 2.37 – Фрагмент программы управления Network 1: включение транспортеров

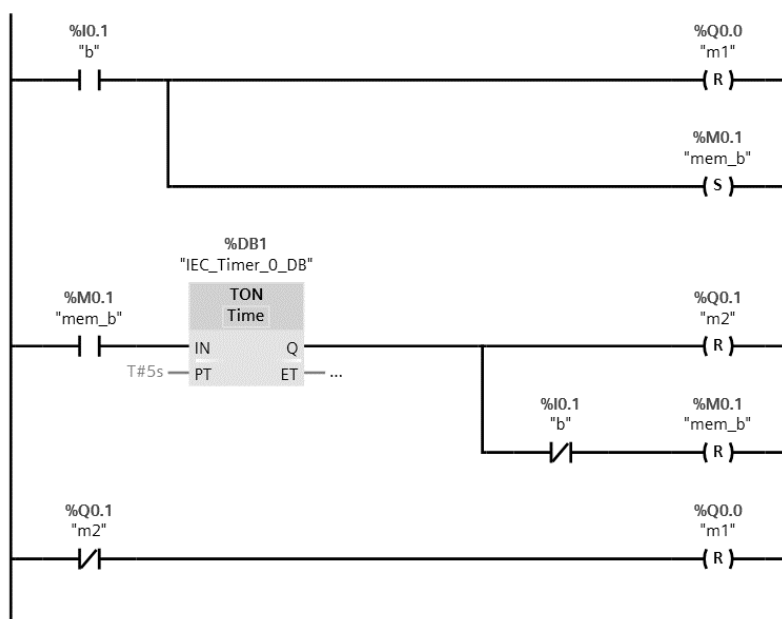


Рисунок 2.38 – Фрагмент программы управления Network2: выключение транспортеров

Таблица 2.10 – Используемые переменные в цепях Network 1 и Network 2

Symbol Символ	Address Адрес	Type Тип	Comment Комментарий
<i>a</i>	%I0.0	Bool	Пуск (кнопка)
<i>b</i>	%I0.1	Bool	Стоп (датчик)
<i>m1</i>	%Q0.0	Bool	Транспортер1
<i>m2</i>	%Q0.1	Bool	Транспортер2
<i>mem_a</i>	%M0.4	Bool	Бит памяти а
<i>mem_b</i>	% M0.1	Bool	Бит памяти b

На дискретные входы 0 и 1 контроллера приходят сигналы от кнопки *a* и датчика *b*, к дискретным выходам подключаются катушки реле для передачи сигналов управления на включение приводов транспортеров. Для запоминания сигналов включения и выключения используются две однобитные ячейки внутренней памяти контроллера *mem_a* и *mem_b*.

При наличии сигнала включения *a* и отсутствии сигнала выключения *b* включается двигатель транспортера *m2* и запоминается поступление сигнала на включение в бит *mem_a* (использована инструкция Set output, выход с установкой TRUE, из вкладки Instructions → Basic instructions → Bit logic operation), поскольку сигнал *a* кратковременный и не обеспечивает корректную работу таймера. При наличии сигнала *mem_a* тамер TON %DB_1 начинает отсчет заданной уставки в 2 секунды (вход PT), по истечении которой включается *m1* и сбрасывается в ноль бит *mem_a*. При сбросе *mem_a* таймер обнуляется и готов к новому циклу. Включение транспортеров обеспечено.

При наличии сигнала выключения *b* выключается двигатель *m1* (рисунок 2.38) через инструкцию выход со сбросом (катушка R – Reset) и запоминается

поступление сигнала выключения в бит *mem_b*. При наличии сигнала *mem_b* тамер TON %DB начинает отсчет заданной уставки в 5 секунд (вход РТ), по истечении которой выключается *m2* (использована инструкция Reset output, выход с установкой FALSE, из вкладки Instructions → Basic instructions → Bit logic operation) и сбрасывается в ноль бит *mem_b*, после чего таймер обнуляется и готов к новому циклу. Выключение транспортеров закончено.

Последняя цепочка обеспечивает технологическую блокировку включения двигателя *m1* при выключенном двигателе *m2* при любой попытке такого включения.

Пример реализации суточного реле времени в программе управления

Задача управления. Для реализации автоматической кормораздачи, например, в птичнике линия кормораздачи должна автоматически включаться в заданное время четыре раза в сутки (8.00, 12.00, 18.00, 22.00). Следовательно, в управляющей программе необходимо реализовать функцию суточного реле времени, которое в заданное время включает первый привод линии кормораздачи и далее осуществляется кормораздача.

Решение. Очевидно, чтобы решить задачу управления, необходимо считать текущее время со встроенных в ПЛК часов реального времени, сравнить это время с заданным и в случае равенства текущего времени заданному сформировать сигнал включения линии кормораздачи.

Считывание местного времени (read local time) обеспечивается функцией RD_LOC_T (read local time), которая находится на вкладке инструкций Instructions → Extended instructions. 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 (date and time long): в переменную, указанную в качестве этого параметра, записывается считанное значение местного времени. Переменная такого типа имеет длину 12 байт и хранит информацию о времени и дате. Диапазон возможных значений – от DTL#1970-01-01-00:00:00.0 до DTL#2200-12-31-23:59:59.999999999.

Поскольку считанные данные содержат и время, и дату, то необходимо из этих данных считать только время. Для этого используем функцию T_CONV (Time Conversion), имеющую на выходе переменную типа TIME_OF_DAY (TOD).

Сравнение времени производим функцией сравнения Compare на вкладке инструкций Instructions → Basic Instaction → Comparator operations.

Выполнив шаги, описанные выше, для создания проекта определим необходимые переменные и константы, вызвав через диалог (рисунок 2.39) блок данных Data block: T1-T4 задают заданное время, текДатаВр необходима для сохранения текущего местного времени, текВремя – для определения времени из предыдущей переменной, b1-b4 используются как ключи-метки для подачи сигнала на включение линии кормораздачи в работу.

	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static							
2	T1	Time_Of_Day	TOD#08:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	T2	Time_Of_Day	TOD#12:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	T3	Time_Of_Day	TOD#18:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	T4	Time_Of_Day	TOD#22:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	текДатаиВр	DTL	DTL#1970-01-01+	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	текВремя	Time_Of_Day	TOD#00:00:00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	b1	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	b2	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	b3	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	b4	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Рисунок 2.39 – Задание переменных и констант в блоке данных

Добавим в проект новый кодовый блок типа Organization Block, Program cycle – организационный блок циклического исполнения с вводом программы на языке LAD (рисунок 2.34). Установим функцию RD_LOC_T, перетянув ее в цепь программы из вкладки инструкций Instructions → Extended instructions (рисунок 2.40). Определим на выход переменную текДатаиВр либо перетащив ее из блока данных, либо выбрав из доступных в списке переменных. Чтобы видеть код ошибки, создадим в локальных переменных переменную error_code типа Int. Для этого воспользуемся областью над окном программного кода, раскрываемую с помощью стрелки. Определим эту переменную в качестве выхода RET_VAL.

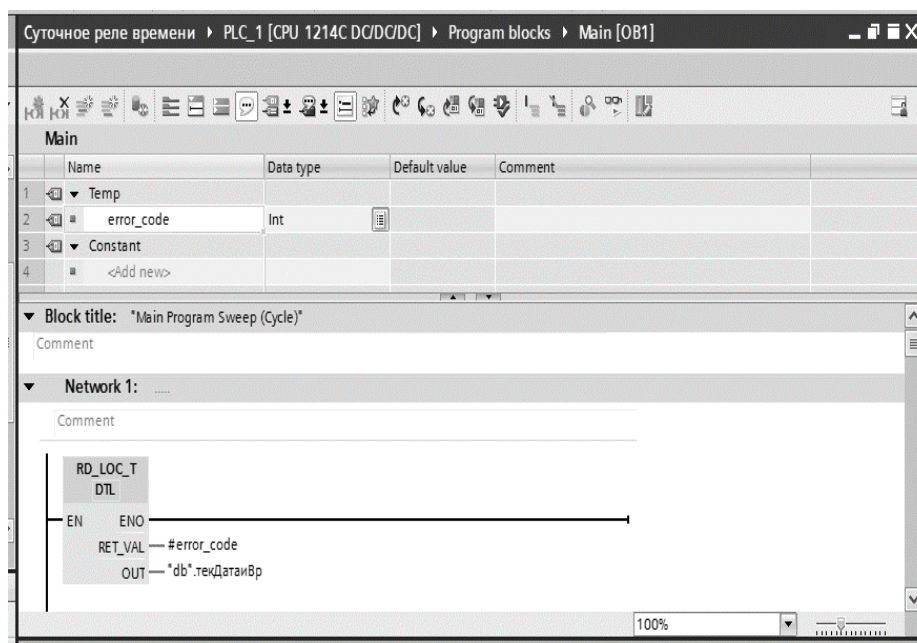


Рисунок 2.40 – Установка функции RD_LOC_T в управляющую программу

Далее конвертируем считанное значение даты и времени в переменную времени (рисунок 2.41), определив соответствующие переменные на входе и выходе функции T_CONV.

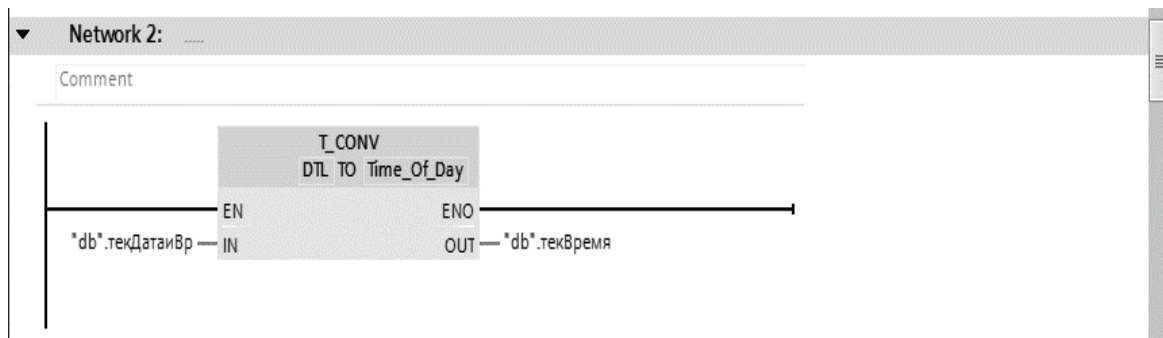


Рисунок 2.41 – Установка функции T_CONV в управляющую программу

После этого обеспечиваем сравнение местного текущего времени и заданного. Если оно больше заданного, кратковременно срабатывает выход функции R_TRIG (рисунок 2.42), обеспечивая включение выхода x1 (рисунок 2.43) в одно из заданного времени. Также обеспечиваем сравнение с еще тремя значениями заданного времени.

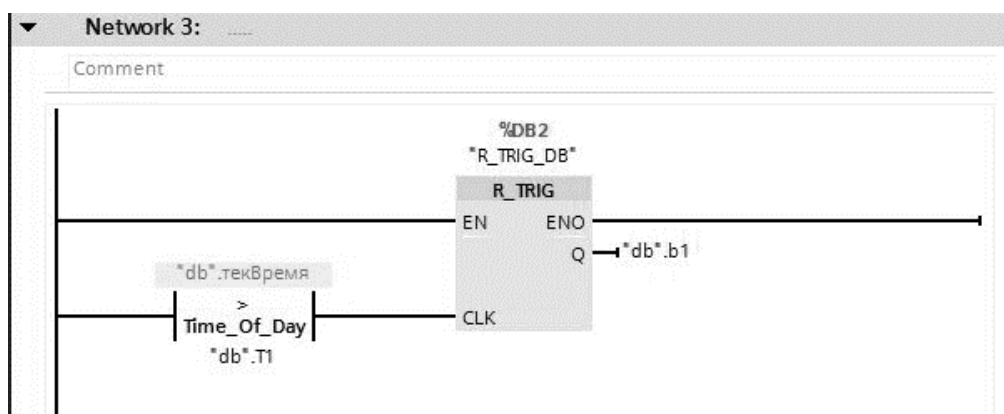


Рисунок 2.42 – Организация сравнения местного текущего времени и заданного в программе управления

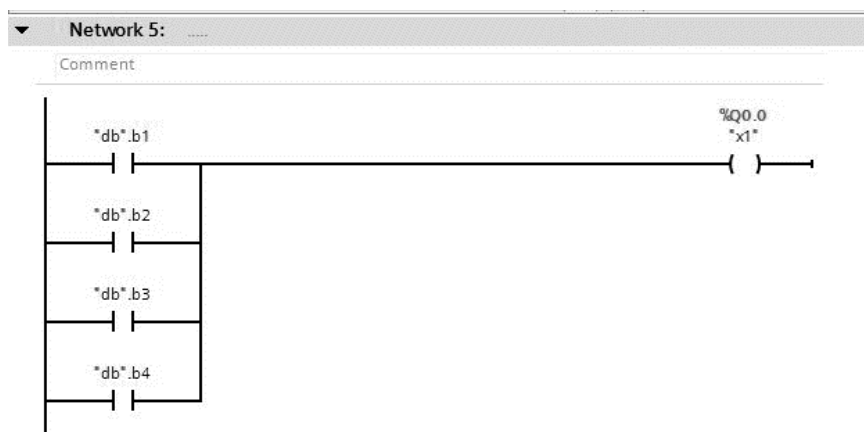


Рисунок 2.43 – Включение выхода для пуска линии кормораздачи

Таким образом, задача «Включение линии кормораздачи четыре раза в сутки» решена.

Пример реализации ПИД-регулятора в программе

Задача управления. Для реализации плавного управления регулирующим органом возникает необходимость реализовать программно закон плавного регулирования (П, ПИ, или ПИД). Так в примере управления котельной установкой в соответствии с требуемой паропроизводительностью, величина которой зависит от количества подключенных потребителей, следует устанавливать величину подачи топлива с помощью регулируемого клапана непрерывного действия. Таким образом контроллер должен сформировать сигнал на клапан в зависимости от величины измеренного давления пара. В этом случае необходимо использовать плавный закон регулирования. Кроме того, для обеспечения полноты сгорания топлива по величине его подачи (давление топлива) должна быть установлена необходимая подача воздуха. Это еще один контур плавного регулирования.

Решение. В среде программирования Step 7 имеются в распоряжении программиста компоненты, представляющие собой программную реализацию ПИД-регулятора [35, с. 118]: PID_Compact (используется в качестве стандартного непрерывного ПИД-регулятора) и PID_3Step (используется для регулирования объектов, в состав которых входят электродвигатели, с точки зрения динамических характеристик представляющие собой интегрирующее звено).

Необходимо заметить, что при использовании инструкций ПИД-регулирования в программе они должны выполняться через равные и постоянные промежутки времени. Поэтому обычно инструкции ПИД-регулирования помещают внутри блока циклического прерывания (Cyclic interrupt OB). По этой же причине команды ПИД-регулирования нельзя размещать в обычном циклическом организационном блоке, так как время прогона программы не является постоянным значением.

Значение выходного сигнала ПИД-регулятора (рисунок 2.44) включает три составляющие:

– пропорциональная составляющая (P) – выходное значение данной составляющей сигнала пропорционально разности между заданным значением (Setpoint) и реальным значением (Input) управляемой величины;

– интегральная составляющая (I) – выходное значение данной составляющей сигнала пропорционально интегралу по времени от разности между заданным значением (Setpoint) и реальным значением (Input) управляемой величины;

– дифференциальная составляющая (D) – выходное значение пропорционально скорости изменения во времени разности между заданным значением (Setpoint) и реальным значением (Input) управляемой величины.

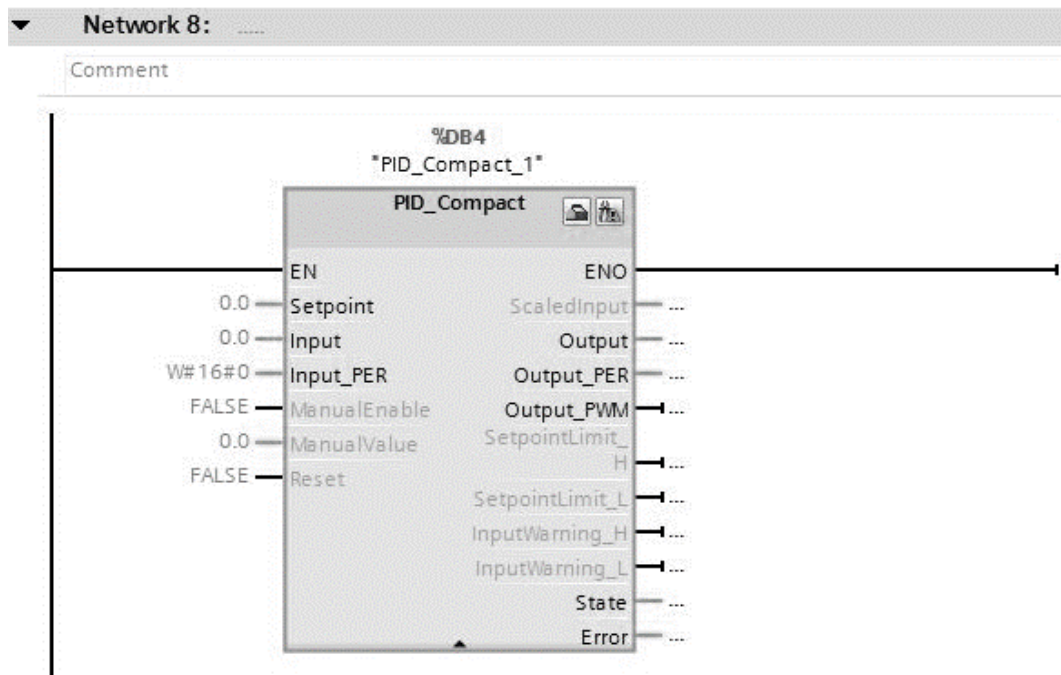


Рисунок 2.44 – Вид функции ПИД-регулятора в программе

Таким образом, инструкция PID_Compact работает в соответствии со следующей формулой:

$$y = K_P \left((b w - x) + \frac{1}{T_I s} (w - x) + \frac{T_D s}{a T_D s + 1} (c w - x) \right), \quad (2.13)$$

где K_P – коэффициент усиления пропорциональной составляющей выходного сигнала;

b – весовой коэффициент пропорциональной составляющей;

y – выходной сигнал;

w – заданное значение (Setpoint) управляемой величины;

x – входной сигнал;

T_I – постоянная времени интегрирования, с;

T_D – постоянная времени дифференцирования, с;

s – комплексный оператор Лапласа;

a – коэффициент неидеальности дифференциального звена;

c – весовой коэффициент дифференциальной составляющей.

Функцию PID_Compact можно вставить из вкладки Instructions → Technology → PID control. Числовые значения коэффициентов усиления и постоянных времени блока задаются в инспекторе свойств. Входы блока: Setpoint – уставка – заданное значение регулируемого параметра, Input – переменная пользовательской программы, используемая в качестве источника параметра процесса, Input_Per – аналоговый сигнал, используемый в качестве источника параметра процесса, два последующих задают параметры управления в ручном режиме, Reset – сброс.

Выходы блока: ScaleInput –отмасштабированный выход, Output – выход типа Real, Output_Per –аналоговая выходная величина, Output_PWM – широтно-импульсная выходная величина, SetpointLimit_H – ограничение выходной величины по большему значению, SetpointLimit_L – ограничение выходной величины по меньшему значению, InputWarning_H – сигнализация достижения максимума, InputWarning_L – сигнализация достижения минимума, State – сигнализация текущего состояния ПИД-регулятора, Error – сообщение об ошибке.

Таким образом, заданное значение параметра должно быть определено на входе Setpoint, измеренное значение аналогового параметра процесса – Input_Per, выходная аналоговая величина – Output_Per.

Загрузка программы в контроллер осуществляется через меню Online, пункт Download to device (рисунок 2.45).

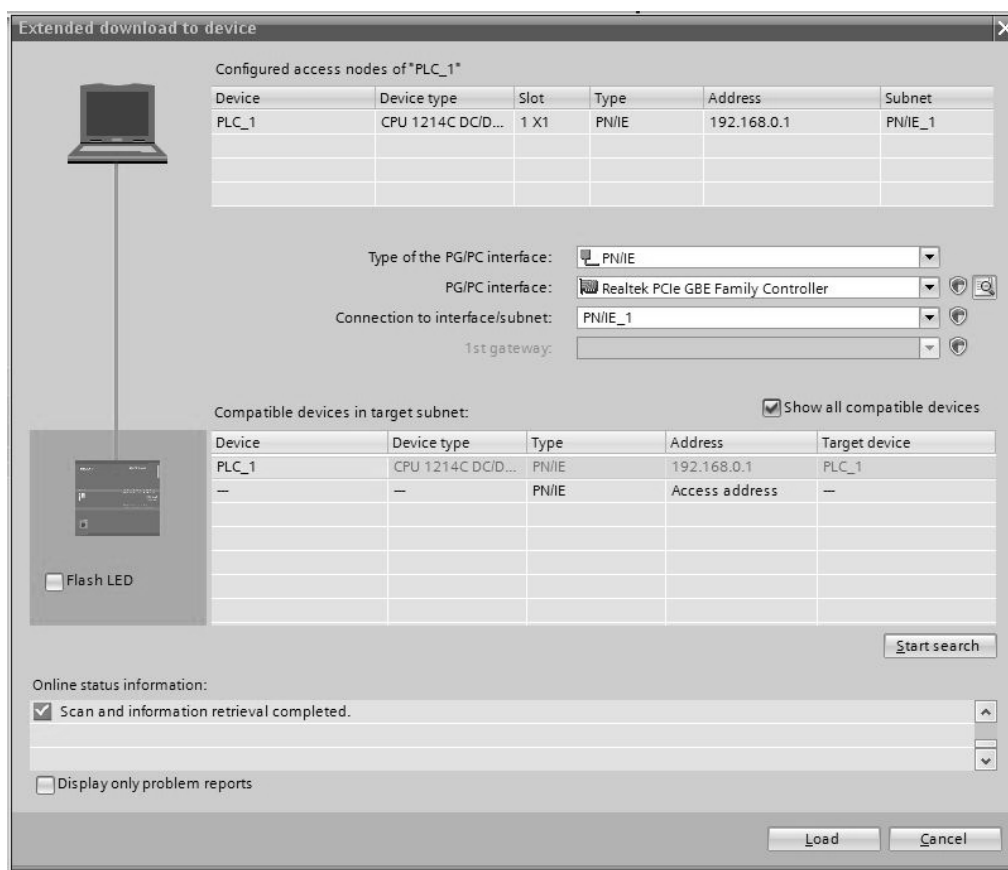


Рисунок 2.45 – Загрузка программы в контроллер

2.2.6.3 Пример разработки программы для контроллера фирмы Siemens (вариант управления котельной установкой)

Основанием для написания программы является структура управления (рисунок 2.21), которая в программе должна быть представлена специальными символами и функциями, основные из которых приведены в таблице 2.9.

Запустив TIA portal, конфигурируем систему управления: выбираем процессорный модуль S7-1200 CPU 1214 и сигнальные модули SM1222 – для расширения дискретных выходов, SM1234 – для реализации аналоговых входов и выходов.

Предварительно определяем элементы системы, которые будут подключаться на входы контроллера, и элементы, которые будут подключаться на выходы контроллера. Для большой наглядности сведем их в таблицу переменных (таблица 2.12).

Таблица 2.12 – Таблица переменных для программы контроллера

Имя (Name)	Тип данных (Data Type)	Адрес (Logical Address)	Комментарий (Comment)
b'1	Bool	%I0.0	min level
b"1	Bool	%I0.1	max level
b7	Bool	%I0.2	Задвижка открыта
b8	Bool	%I0.3	Задвижка закрыта
b5	Bool	%I0.4	Пламя
a	Bool	%I0.5	Пуск
b3	Int	%IW64	Давление пара
b4	Int	%IW66	Давление топлива
b2	Int	%IW112	Давление воздуха
b6	Int	%IW114	Разрежение
uz	Int	%QW112	Управление ПЧ
k1	Int	%QW114	Клапан подачи топлива
x1	Bool	%Q0.0	Насос 1
x12	Bool	%Q0.1	Насос 2
x6	Bool	%Q0.2	Вентилятор
x5	Bool	%Q0.3	Воздуходувка
x7	Bool	%Q0.4	Задвижку открыть
x8	Bool	%Q0.5	Задвижку закрыть
x9	Bool	%Q0.6	Подача воды
x3	Bool	%Q0.7	Клапан-отсекатель
x2	Bool	%Q1.0	Клапан запальника
x4	Bool	%Q1.1	Трансформатор зажигания
xc	Bool	%Q8.0	Аварийная сигнализация
z1	Bool	%M1.1	Задержка на пуск котла
z2	Bool	%M1.2	Задержка на аварийное отключение
z3	Bool	%M1.3	Задержка на включение резервного насоса
y1	Bool	%M1.4	Промежуточный сигнал
y3	Bool	%M1.5	Промежуточный сигнал

Программа управления (рисунки 2.46–2.47) повторяет структуру управления рисунка 2.21. Особенности в цепях управления при организации аналоговых сигналов. Их необходимо сравнивать с заданными через блоки сравнения. Что касается использования таймеров, то особенности их использования изложены в пункте 2.2.6.2. Также организовано плавное управление клапаном подачи топлива и преобразователем частоты с помощью блока PID_Compact (рисунок 2.48). Выходное

значение ПИД-регулятора состоит из трех компонентов: пропорциональный, интегральный, дифференциальный. Значения коэффициентов по этим компонентам установим согласно проведенному анализу в подпункте 2.2.4.

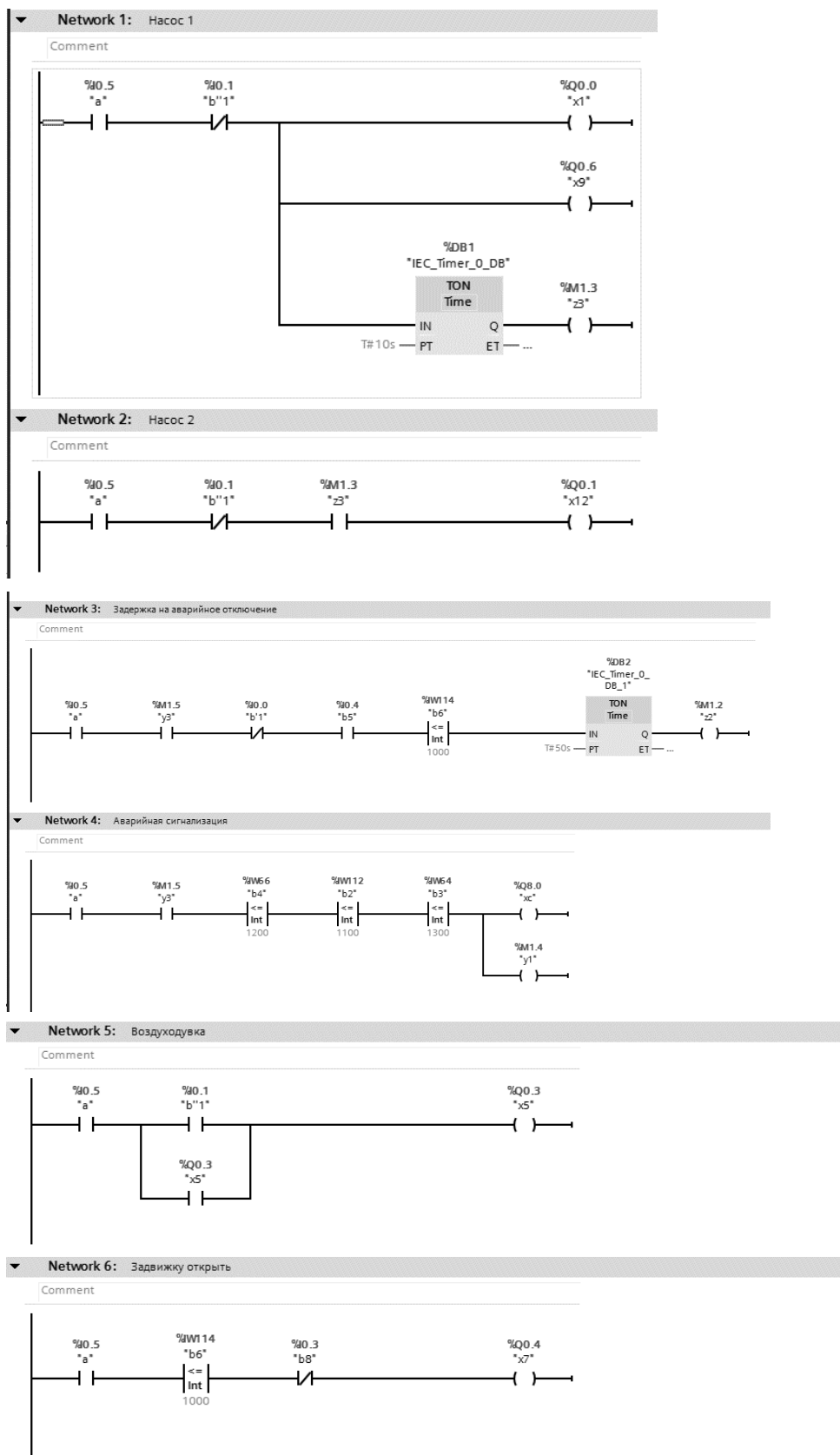


Рисунок 2.46 – Программа управления для контроллера на языке LAD (начало)

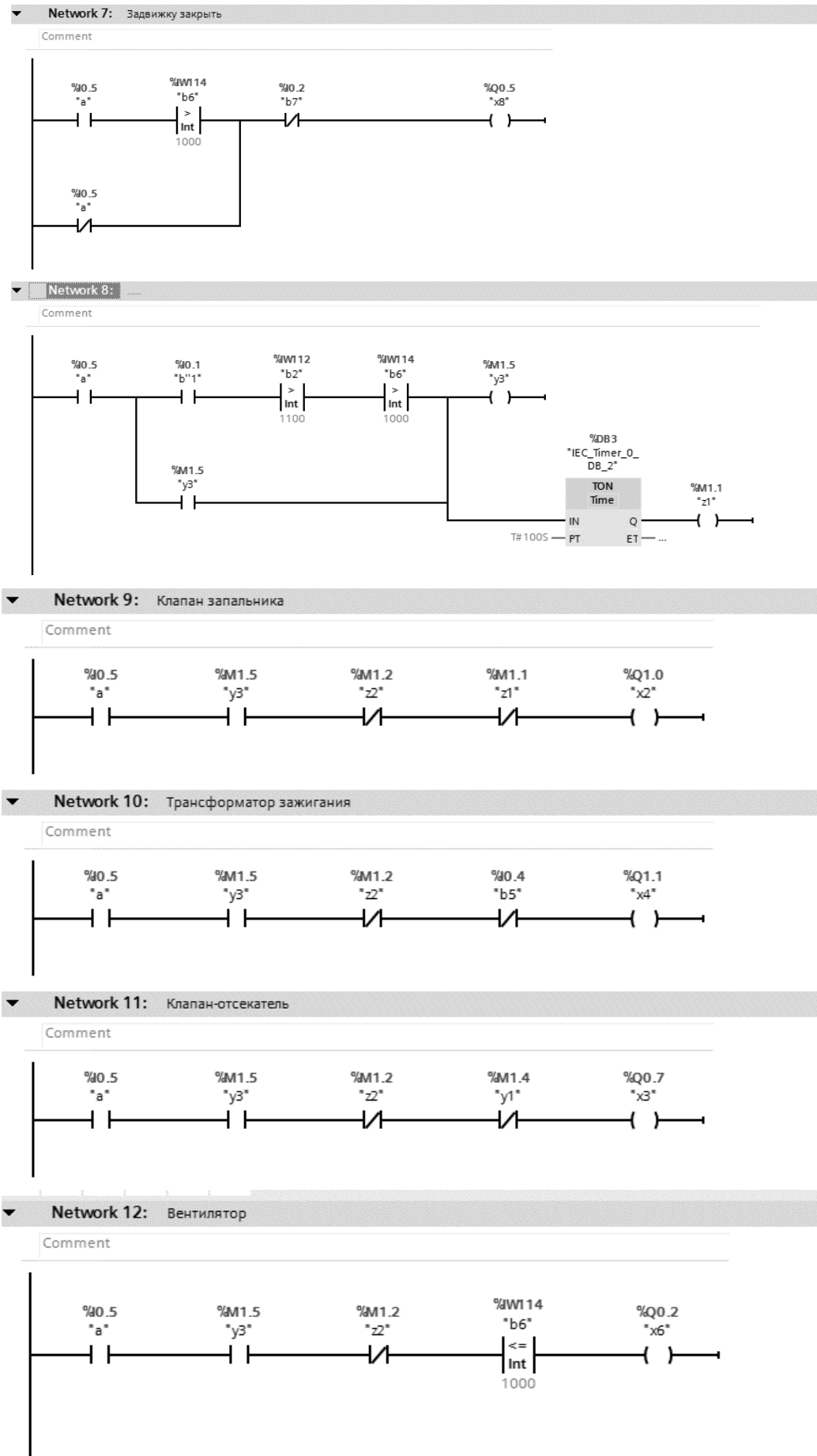


Рисунок 2.47 – Программа управления для контроллера на языке LAD (окончание)

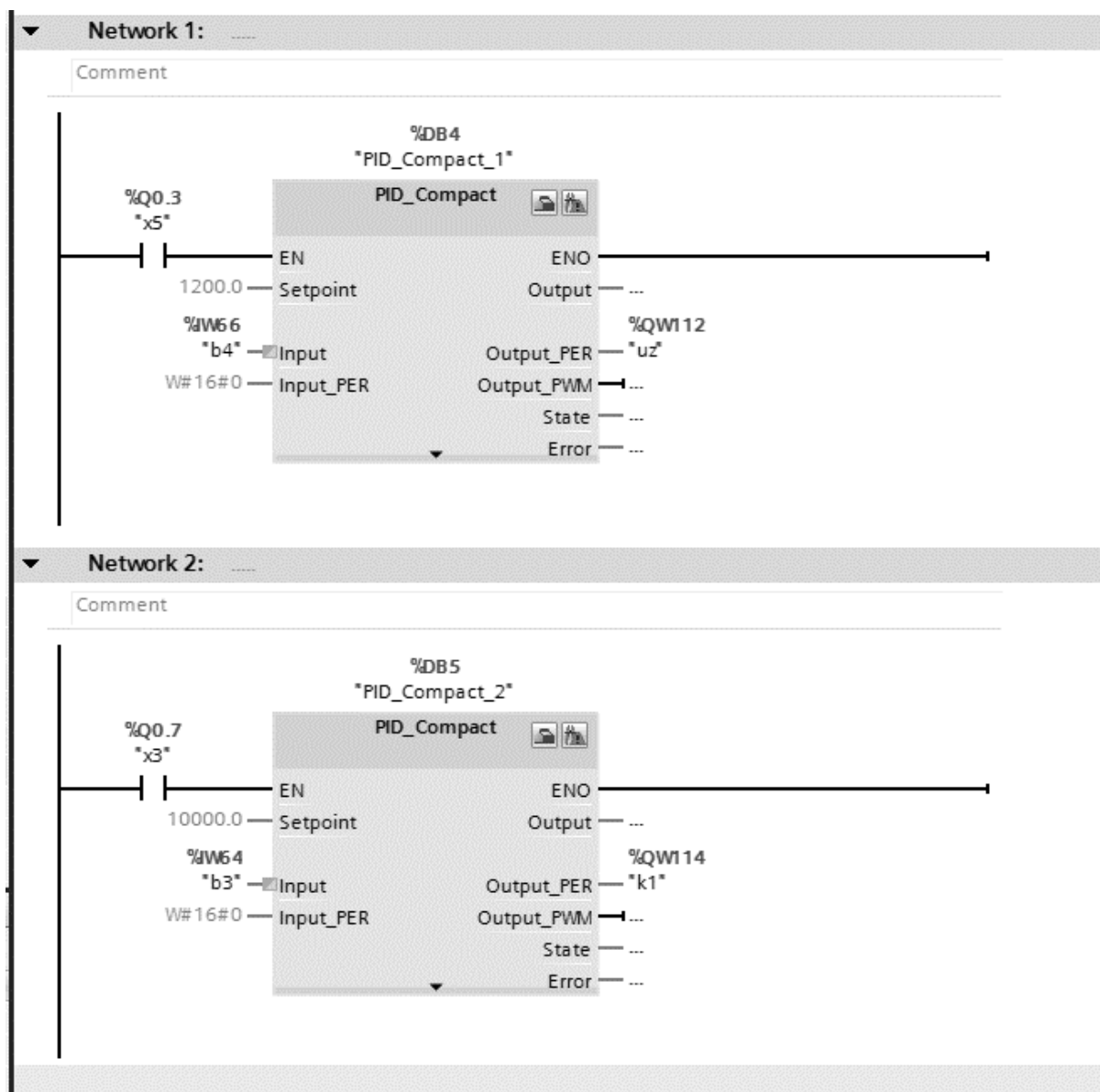


Рисунок 2.48 – Организация ПИД-регулирования в блоке Cyclic Interrupt

2.2.7 Разработка полной принципиальной электрической схемы

Основанием для разработки принципиальной электрической схемы управления является структура управления (рисунок 2.21). Приборы и технические средства на принципиальной схеме подключаем согласно требованиям руководств и инструкций разработчиков этих средств.

Принципиальные схемы управления состоят из силовых цепей или цепей главного тока и из вспомогательных цепей. Силовые цепи строятся по типовым правилам, описанным в [5, с. 179]. На рисунке 2.49 показаны силовые цепи для варианта управления оборудованием котельной установки. В целом схему защищает автоматический выключатель QF1. Для защиты отдельного привода также

предусмотрен автоматический выключатель, для пуска приводов предусмотрены магнитные пускатели. Тепловые реле защищают электродвигатели от тепловых перегрузок. Для привода воздуходувки предусмотрено частотное регулирование – преобразователь частоты UZ1 (он же защищает от тепловых перегрузок). При этом типовые схемы подключения частотного преобразователя взяты из руководства [28].

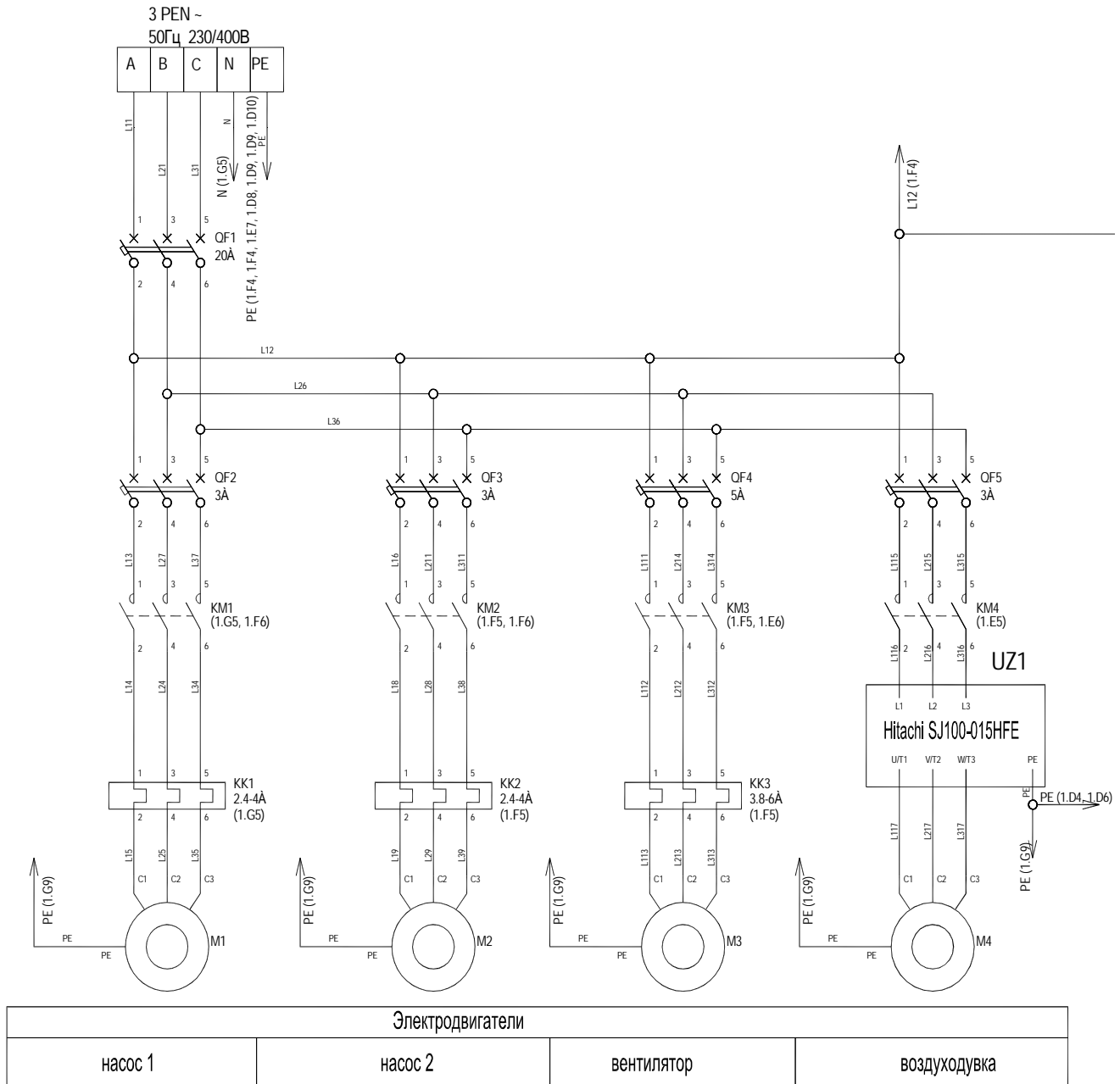


Рисунок 2.49 – Силловая часть принципиальной электрической схемы управления оборудованием котельной установки

Вспомогательные цепи (цепи управления). Цепи управления (рисунок 2.50, 2.18 и 2.19) строятся на базе структуры управления и схем подключения контроллера и дополняются типовыми цепями в соответствии с принципами [5, с. 192–207].

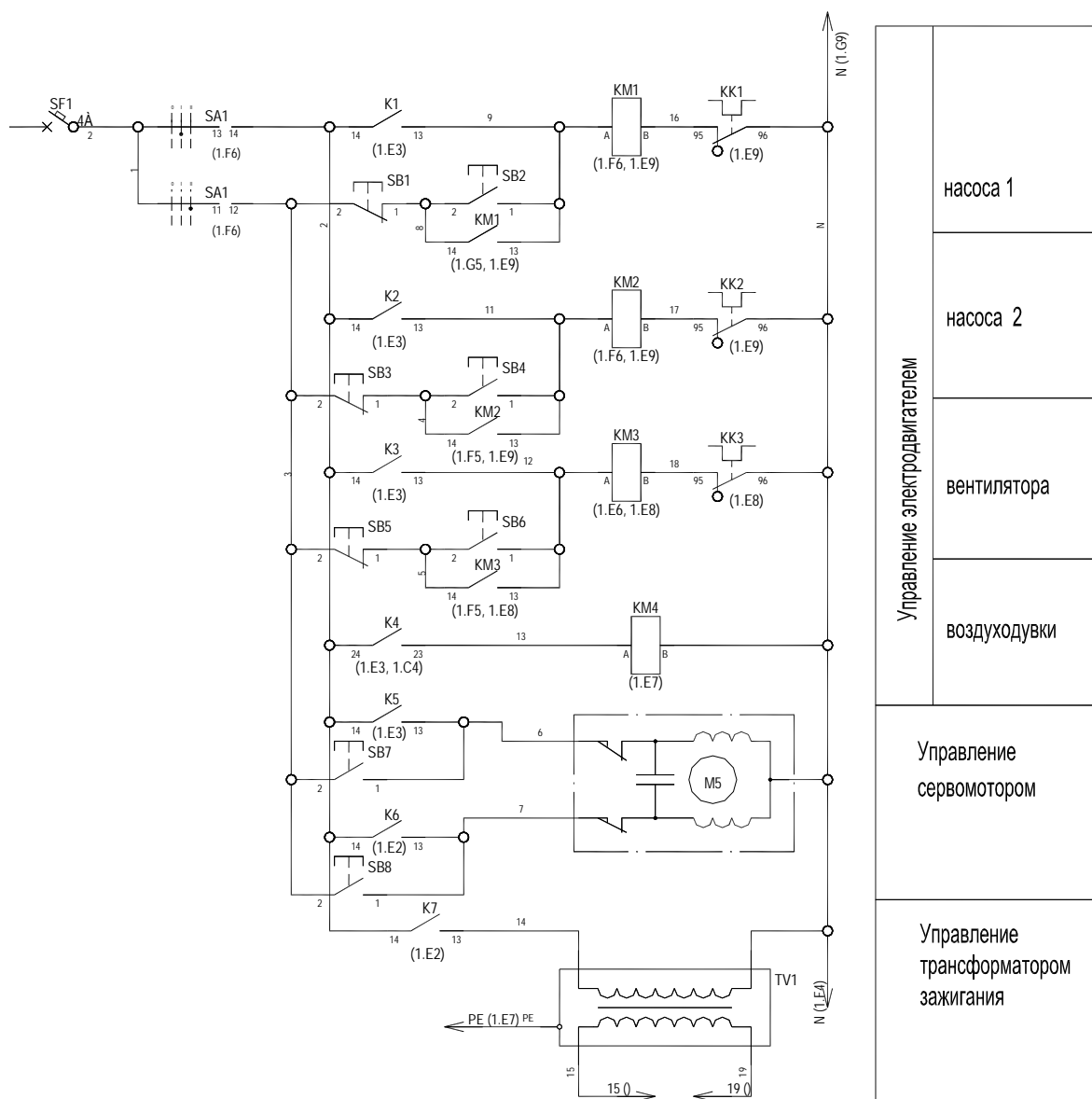


Рисунок 2.50 – Цепи управления оборудованием котельной установки

Защищает цепи управления автоматический выключатель SF1. Так как должно быть предусмотрено несколько режимов работы оборудования, следует установить переключатель режимов SA1, который контактом 13–14 (рисунок 2.51) включает цепи автоматического управления, а 11–12 – цепи ручного управления. Диаграмма работы переключателя SA1 приведена на рисунке 2.52.

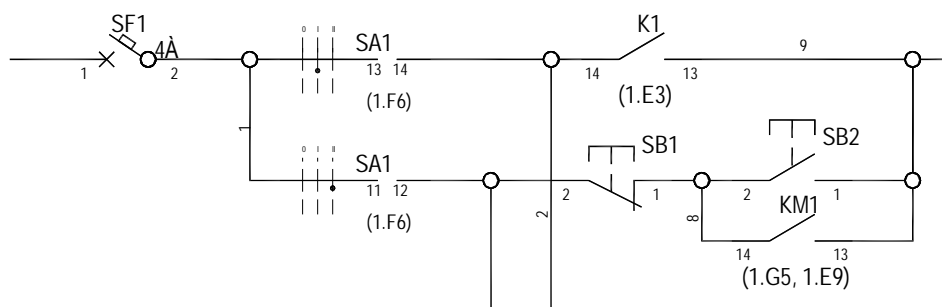


Рисунок 2.51 – Разделение режимов управления на принципиальной схеме

Диаграмма переключателя SA1 NEF30

Соединение контактов	Положение рукоятки		
	-45	0	45
13-14			
11-12			
Выбор режима работы	A	O	P
Условное обозначение	I	0	II

Рисунок 2.52 – Пример диаграммы переключателя

Цепи ручного управления включают кнопки «Пуск», «Стоп» и блокировочный контакт для управления пускателем нереверсивного электродвигателя (рисунок 2.53). Управление реверсивным двигателем реализуется по принципам [36, с. 77–80].

Контакты промежуточных реле *K1-K7* будут подавать сигналы на катушки пускателей в автоматическом режиме, когда на их катушки будет поступать сигнал с выхода контроллера *A1*. К входам контроллера подключаем датчики согласно схеме подключения (рисунок 2.18). Сигналы с аналоговых датчиков уходят на специальный сигнальный модуль *A3* (рисунок 2.19). Связь специального модуля с базовым модулем контроллера осуществляется программно. Питание (=24 В) на контроллер подаем с помощью блока питания *GV1*.

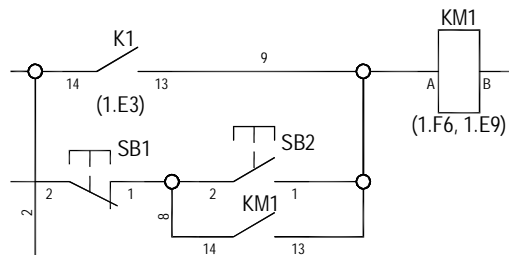


Рисунок 2.53 – Реализация цепи ручного управления на принципиальной схеме

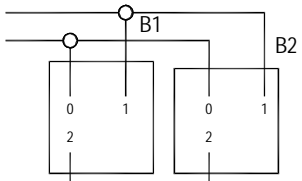
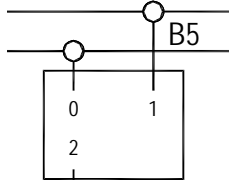
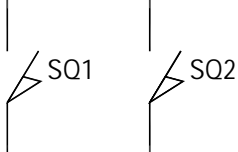
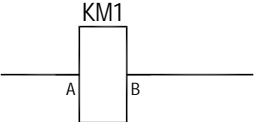
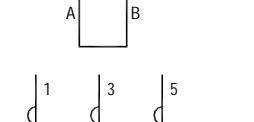
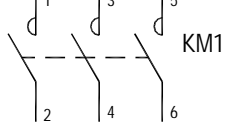
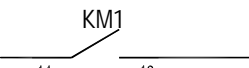
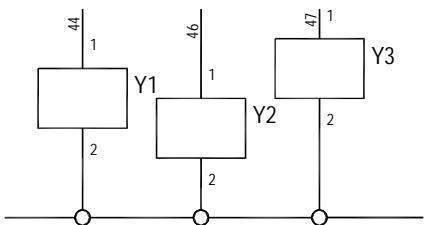
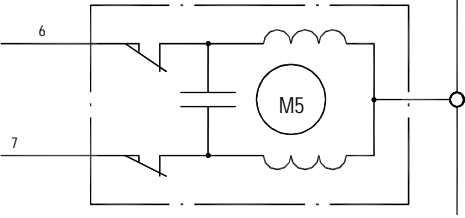
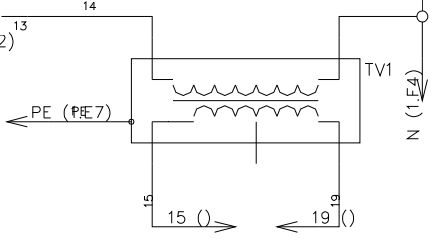
Сигнализация может быть аварийная и технологическая, сигнализирующая о работе привода либо установке механизмов в конечные положения. В данном случае предусмотрена аварийная сигнализация *HL1* (см. рисунок 2.18).

Соответствия элементов структурной и принципиальной схем приведены в таблице 2.13.

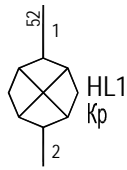
Таблица 2.13 – Перевод обозначений в структурной схеме в УГО принципиальной схемы

Обозначение элемента в структуре (рисунок 2.21)	Наименование командного прибора и исполнительного устройства	УГО на принципиальной схеме (рис. 2.18, 2.19, 2.50)
<i>I</i>	2	3
a	Тумблер «Пуск»	
<i>b''₁, b'₁</i>	Датчик нижнего и верхнего уровня воды в барабане котла	

Продолжение таблицы 2.13

Обозначение элемента в структуре (рисунок 2.21)	Наименование командного прибора и исполнительного устройства	УГО на принципиальной схеме (рис. 2.18, 2.19, 2.50)
b_2, b_3, b_4, b_6	Датчик давления воздуха, пара, топлива, разрежения в топке	
b_5	Датчик наличия пламени	
b_7, b_8	Концевой выключатель, фиксирующий положение заслонок в топке	
X_{1-1}	Управление приводом насоса 1	
X_{1-2}	Управление приводом насоса 2	
X_5	Управление приводом воздуходувки	
X_6	Управление приводом вентилятора	
X_2, X_3, X_9	Клапан подачи воды, запальника и отсекабель	
X_7, X_8	Сервомотор	
X_4	Трансформатор зажигания	

Окончание таблицы 2.13

Обозначение элемента в структуре (рисунок 2.21)	Наименование командного прибора и исполнительного устройства	УГО на принципиальной схеме (рис. 2.18, 2.19, 2.50)
X_c	Аварийная сигнализация	
$Z1$ и $z'1$, $Z2$ и $z'2$, $Z3$ и $z'3$	Катушка и контакт реле времени	Реализуются программно в программе контроллера

Чтение схемы осуществляют в целом и по силовой части и по цепям управления (совместно рисунки 2.49–2.50 и 2.18–2.19). Питание на схему подает автоматический выключатель $QF1$. Защита электроприводов обеспечивается автоматическими выключателями $QF2...QF5$, а схемы управления – $SF1$.

Принципиальная электрическая схема предусматривает автоматический и наладочный режим работы. В автоматическом режиме работы переключатель $SA1$ устанавливают в положение I согласно диаграмме (рисунок 2.52) и система работает в соответствии с программой, заданной в контроллере. В ручном режиме привода включают и отключают с помощью кнопок $SB1...SB8$.

В автоматическом режиме сигналы с датчиков приходят на вход контроллера (или специальный модуль $A3$), обрабатываются в программе и контроллер подает сигналы на соответствующие промежуточные реле $K1...K7$ или клапаны $Y1...Y3$. Реле $K1...K7$ подают сигналы на соответствующие катушки магнитных пускателей, включая соответствующие привода. Сигнальный модуль $A3$ в соответствии с ПИД-законом регулирования подает сигнал на управляющий вход преобразователя частоты $UZ1$, который устанавливает скорость электродвигателя воздуходувки ($M4$).

В случае аварии контроллер подает сигнал на включение лампы аварийной сигнализации $HL1$.

Работа электроприводов и показания датчиков основных технологических параметров будут отображены на экране панели оператора $A4$.

Сведения об элементах принципиальной схемы размещают в перечне элементов (рисунок 2.54).

25	26	27	28	29	30	31
Поз. обозначение	Наименование			Кол.	Примечание	
	<u>По месту</u>					
B1...B3	Датчик давления DMP 330L			3		
B4	Датчик давления BD SENSORS DMK 331			1		
B5	Фотоэлектродный сигнализатор пламени ФЭСР-2.Р			1		
M1, M2	Двигатель АИР100L8У3, 1,5 кВт, 400 В, 50 Гц, IM1081, 750 об/мин					
	ТУ РБ-05755950-420-93			2		
M3	Двигатель АИР100LA6У3, 2,2 кВт, 400 В, 50 Гц, IM1081,					
	1000 об/мин ТУ РБ-05755950-420-93			1		
M4	Двигатель АИР80А4У3, 1,1 кВт, 400 В, 50 Гц, IM3081,					
	1390 об/мин ТУ РБ-05755950-420-93			1		
M5	Сервомотор			1		
SL1, SL2	Сигнализатор уровня жидких сред СУ-1С			2		
SQ1, SQ2	В составе исполнительного механизма сервомотора			2		
TV1	Трансформатор зажигания			1		
Y1...Y3	Клапан пневматический, 24 В			1		
Y4	Электромагнит, 24 В			1		
	<u>Щит автоматики</u>					
A1	Контроллер Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC 215075			1		
A2	Сигнальный модуль SM1222 DQ			1		
A3	Сигнальный модуль SM1234			1		
A4	Панель оператора Basic panel KTP700			1		
GV1	Источник стабилизированного питания CP-SNT 120 W,					
	24 VDC / 5 A 8708670000			1		
HL1	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-К-2-24,					
	красный ЕНСК.433137.014 ТУ			1		
K1...K7	Реле промежуточное РПЛ-140М04А, 24 В					
	ТУ16-523.554-82			7		
KK1, KK2	Реле тепловое РТЛ-1008 О4, In = 2,4-4,0 А			2		
KK3	Реле тепловое РТЛ-1010 О4, In = 3,8-6,0 А			1		
KM1...KM4	Пускатель магнитный ПМП-1160МБ, 220 В, 50 Гц					
	ТУ-У-3.11-05814256-097-97			4		
SA1	Кнопка поворотная NEF30-Pdq, I-0-II					
	(stable/stable/return), желтый, XY, XY			1		
SA2	Переключатель ТВ1-2 ТУ.НИО.360.606			1		
SB1, SB3, SB5	Выключатель KE181УХЛ3, исп. 5, зеленый					
	ТУ16-642.015-84			3		
SB2, SB4,	Выключатель KE181У3, исп. 4, красный					
SB6...SB8	ТУ16-642.015-84			5		
SF1, SF2	Выключатель ВА 47-29-1Р-С, 400 В, 50 Гц, 4 А					
	ТУ-2000 АГИЕ.641.235.003			2		
QF1	Выключатель ВА 47-29-3Р-D, 400 В, 50 Гц, 20 А			1		
QF2, QF3, QF5	Выключатель ВА 47-29-3Р-D, 400 В, 50 Гц, 3 А			3		
QF4	Выключатель ВА 47-29-3Р-D, 400 В, 50 Гц, 5 А			1		
UZ1	Преобразователь частоты Hitachi SJ100-015HFE			1		

Рисунок 2.54 – Перечень элементов к принципиальной электрической схеме

Перечень элементов может быть выполнен в виде отдельного документа либо быть размещенным на листе принципиальной схемы. В данном случае перечень выполнен на листах принципиальной схемы. Требования по заполнению перечня изложены в [5, с. 189]. В данном случае оборудование разделено на две группы: по месту и в щите автоматики.

На основании принципиальной электрической схемы управления, контроля и сигнализации разрабатывают другую документацию проекта автоматизации: монтажную документацию (таблицы соединений, таблицы подключений, схемы соединений внешних проводок) и документацию на щиты автоматики.

2.3 Разработка схем питающей и распределительной сети

2.3.1 Требования к системам питания систем автоматизации

Система питания систем автоматизации должна обеспечить необходимую надежность (бесперебойность) питания, соответствующее качество электроэнергии (допустимые отклонения и колебания напряжения, несинусоидальность формы кривой, пульсацию напряжения), экономичность, удобство и безопасность обслуживания.

При разработке проектной документации систем питания прорабатывают следующие вопросы:

1. Выбор и обоснование схем электропитания, рода тока, значения напряжения и мощности источника.
2. Расчет и выбор аппаратуры управления и защиты цепей питания.
3. Выбор и расчет системы освещения щитов и устройств электропитания.
4. Выбор способа прокладки проводок.
5. Расчет сечений и выбор марок проводок.

Выбор и обоснование схем электропитания, рода тока, значения напряжения и мощности источника

В схемах электропитания выделяют 2 основных звена:

- питающая сеть – сеть от источников питания до щитов и сборок питания;
- распределительная сеть – от щитов и сборок питания до электроприборов.

С учетом взаимного расположения щитов питания КИПиА и источников питания, а также в соответствии с требованиями резервирования питающие сети могут быть:

- радиальными;

- магистральными;
- радиально-магистральными;
- с одно- и двухсторонним питанием.

Радиальные схемы (рисунок 2.55) питания применяют, когда щиты питания размещают в различных направлениях от источника питания и расстояния между щитами больше, чем от источника питания до щитов. *Магистральные* схемы питания применяют для питания группы щитов, если расстояния между щитами значительно меньше расстояния до источника питания. Схемы с *односторонним* питанием применяют только для щитов, допускающих перерывы в электроснабжении.

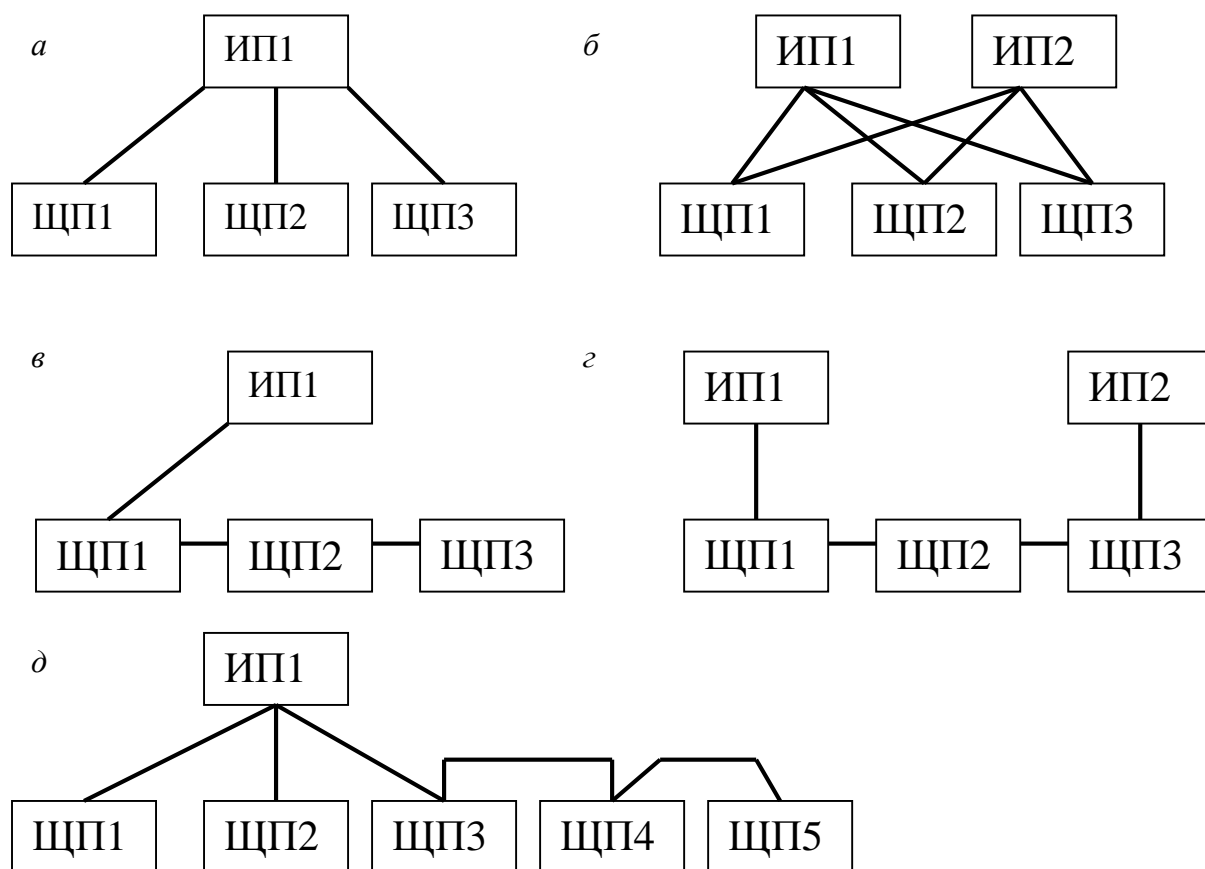


Рисунок 2.55 – Схемы питания: *а* – радиальная с односторонним питанием; *б* – радиальная с двухсторонним питанием; *в* – магистральная с односторонним питанием; *г* – магистральная с двухсторонним питанием; *д* – радиально-магистральная

Распределительные сети строят, как правило, по радиальному принципу.

Конфигурация питающей сети зависит от категории надежности электропитания объекта. Надежность схем электропитания должна обеспечивать надежность электроснабжения автоматизированного объекта в целом.

Сельскохозяйственные потребители и их электроприемники в отношении требований к надежности электроснабжения подразделяются на три категории по ТКП 385-2012 [37]:

– электроприемники категории 1 – электроприемники, перерыв электропитания которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, технических средств противопожарной защиты по СТБ 11.0.2. Электроприемники категории 1 в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервируемых источников питания и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного источника питания может быть допущен лишь на время автоматического включения резервного питания. В состав электроприемников категории 1 может входить особая группа электроприемников. Для электроснабжения особой группы электроприемников категории 1 должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания;

– электроприемники категории 2 – электроприемники, перерыв электропитания которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов, нарушению нормальной жизнедеятельности. Электроприемники категории 2 в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного источника питания допустим на время, необходимое для включения резервного питания, действиями дежурного персонала или выездной бригады;

– электроприемники категории 3 – все остальные электроприемники, не попадающие под определения категории 1 и категории 2. Для электроприемников категории 3 электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерыв электроснабжения, необходимый для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышает 24 часа (1 сутки).

Источники питания системы автоматизации должны иметь достаточную мощность и обеспечивать требуемое напряжение у электроприемников. Отклонение напряжения на шинах источника питания не должно превышать значений, при которых обеспечивается нормальная работа наиболее удаленных или наиболее чувствительных к отклонению напряжения электроприемников: КИП и регулирующих устройств – $\pm 5\%$, аппараты управления, ЭД – $+5\% \dots -10\%$, сигнальные лампы – $+2,5\% \dots -5,0\%$.

При определении мощности источника питания следует иметь в виду, что система автоматизации является лишь частью электрической нагрузки объекта. Поэтому необходимо учесть полную нагрузку. Расчет электрических нагрузок зданий проводят методом эффективного числа электроприемников (другое название – метод упорядоченных диаграмм), который является одним из наиболее точных и широко применяемых методов. Суть метода изложена в пособии [38, с. 5–34].

Выбор аппаратуры управления и защиты. Аппаратура управления и защиты должна обеспечивать:

- 1) включение и отключение электроприборов и участков сетей в нормальном режиме работы;
- 2) защиту от всех видов короткого замыкания и от перегрузки (в тех случаях, когда она требуется).

Справочные данные для выбора некоторых аппаратов защиты и коммутации приведены в приложении 7 [6, с. 242].

Порядок выбора аппаратуры управления и защиты:

1. *Определяют расчетные параметры цепи.* К расчетным параметрам цепи относят длительный и кратковременный ток линии [12, с. 139].

Длительный ток линии эквивалентен ожидаемому меняющемуся току по наиболее тяжелому воздействию на проводник – тепловому износу его изоляции.

Для ответвления к отдельному токоприемнику в качестве длительного расчетного тока принимается его номинальный ток.

Для группы токоприемников длительный ток определяют как

$$I_{\text{дл}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (2.14)$$

где $S_{\text{расч}}$ – полная расчетная мощность линии, ВА;

U – напряжение линии, В (0,4 В).

$$\begin{aligned} S_{\text{расч}} &= \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2}; \\ P_{\text{расч}} &= \sum_{i=1}^{i=n} P_{\text{пот}i}; \\ P_{\text{пот}} &= \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \cdot k_3; \\ Q_{\text{расч}} &= \sum_{i=1}^{i=n} Q_{\text{расч}i}; \\ Q_{\text{расч}i} &= \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \left[m(1 - k_3^2) + k_3^2 \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}}}{\cos \varphi_{\text{н}}} \right], \end{aligned} \quad (2.15)$$

где $P_{\text{расч}}$ – расчетная активная мощность группы токоприемников, Вт;

$Q_{\text{расч}}$ – расчетная реактивная мощность группы токоприемников, Вар;

$P_{\text{н}}$ – мощность электродвигателя, Вт;

$\eta_{\text{н}}$ – номинальный КПД;

$\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности;

m – коэффициент, зависящий от значения предыдущего коэффициента, определяется по диаграмме (приложение 2 [32, с. 168]).

Для ответвления к отдельному электродвигателю в качестве кратковременного расчетного тока принимают пусковой ток электродвигателя.

Для группы электродвигателей кратковременный ток определяют как

$$I_{кр} = \sqrt{I_{наиб}^2 + \left(\sum I_n\right)^2}, \quad (2.16)$$

где $I_{наиб}$ – пусковой ток электродвигателей или группы одновременно включаемых электродвигателей, при пуске которого (которых) кратковременный ток линии достигает наибольшего значения, А;

$\sum I_n$ – сумма номинальных токов электродвигателей, определяемая без учета тока пускаемого электродвигателя, А.

Выбирают защитные аппараты и аппаратуру управления по следующим условиям [12, с. 141]:

1. Условия для выбора автоматических выключателей:

$$\begin{aligned} U_{ном.а} &\geq U_{ном.л.}; \\ I_{ном.а} &\geq I_{дл}; \\ I_{ном.расц} &\geq I_{дл}; \\ I_{уст.эл-м.р} &\geq 1,25I_{кр}, \end{aligned} \quad (2.17)$$

где $U_{ном.а}$, $U_{ном.л}$ – номинальное напряжение аппарата и линии соответственно, В;

$I_{ном.а}$ – номинальный ток аппарата, А;

$I_{ном.расц}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{уст.эл-м.р}$ – ток уставки электромагнитного расцепителя, А.

2. При выборе предохранителей принимают наибольшее значение тока плавкой вставки, рассчитанного по формулам

$$\begin{aligned} I_{вст} &\geq I_{дл}; \\ I_{вст} &\geq \frac{I_{кр}}{\alpha}, \end{aligned} \quad (2.18)$$

где α – коэффициент, зависящий от частоты и продолжительности пусков. Для редких пусков с продолжительностью до 10 с принимают равным 2,5.

3. Тепловые реле применяют для защиты асинхронных электродвигателей от перегрузки:

$$\begin{aligned} U_{\text{ном.а}} &\geq U_{\text{ном.л}}; \\ I_{\text{ном.а}} &\geq I_{\text{дл}}. \end{aligned} \quad (2.19)$$

4. Электромагнитные пускатели выполняют функции аппаратов дистанционного управления и отключения токоприемников при понижении напряжения, блокировку и реверсирование:

$$\begin{aligned} U_{\text{ном.а}} &\geq U_{\text{ном.л}}; \\ I_{\text{ном.а}} &\geq I_{\text{дл}}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Кроме того, учитывают необходимость дополнительных контактов пускателя в цепях управления. Если не хватает собственных контактов пускателя, то на них устанавливают контактные приставки или пневмоприставки.

После расчета и выбора аппаратуры управления и защиты выбирают сечения проводников по расчетным токам линии и по условиям соответствия выбранным аппаратам защиты.

По условию нагревания длительным расчетным током:

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{k_{\text{п}}}. \quad (2.21)$$

По условию соответствия сечения провода выбранному току срабатывания защитного аппарата:

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{\text{п}}}, \quad (2.22)$$

где k_3 – кратность допустимого тока проводника по отношению к его номинальному току или току срабатывания защитного аппарата [39, п.3.1.9 и п.3.1.11];

I_3 – ток срабатывания защитного аппарата, А;

$k_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей [39, с. 21].

По расчетному току проводника в соответствии с таблицами 1.3.4–1.3.11 [39] подбирают сечение проводника.

После этого проверяют, правильно ли выбраны провода и кабели по условиям механической прочности и допустимой потере напряжения.

При разработке принципиальных схем по формам 2 и 3 руководствуются следующим:

- принципиальную схему выполняют в однолинейном изображении, при этом нулевой проводник отдельной линией не изображают;
- в трехфазных трех- и четырехпроводных сетях изображение и обозначение фаз указывают только для одно- и двухфазных линий;
- условные графические обозначения электроприемников, пусковых и защитных аппаратов на принципиальной схеме, как правило, не изображают, а указывают над линией их буквенно-цифровые обозначения, типы и технические данные;
- электроприемники, подключаемые непосредственно к питающей магистрали, показывают на принципиальных схемах питающей сети;
- в графе «Магистраль» (форма 2) указывают буквенно-цифровые обозначения магистрали, ее координаты по плану расположения электрического оборудования (при необходимости), тип шинпровода и его номинальный ток (материал и сечение шин – для магистралей нетипового изготовления), напряжение;
- в графе «Распределительное устройство» (форма 3) указывают буквенно-цифровое обозначение распределительного пункта или распределительного шинпровода, его координаты по плану расположения электрооборудования (при необходимости), тип (для НКУ – обозначение габаритного чертежа общего вида), напряжение, $P_{уст}$ и $I_{расч}$ – для пунктов, соединенных в «цепочку»;
- в графе 4 « $I_{расч} \dots$ », при необходимости кроме указанных параметров указывают величину потери напряжения ΔU , %.

На принципиальных схемах не приводят:

- технические данные электрооборудования, марки, сечения и длины кабелей и проводов, обозначения и длины труб, если они поставляются комплектно с технологическим оборудованием или предусмотрены рабочей документацией нестандартизированного оборудования;
- марки, сечения и длины проводов в пределах НКУ;
- марки, сечения и длины кабелей и проводов, обозначения и длины труб для электроприемников, для которых всю необходимую информацию о кабелях, проводах и трубах невозможно привести на принципиальной схеме (например, сети с разветвленными цепями управления). Данные об этих кабелях, проводах и трубах помещают в кабельном или кабельнотрубном журнале.

Примеры выполнения принципиальных схем питающей и распределительной сетей приведены в [41].

Под шапкой формы принципиальная схема выполняется в виде линий (графы 2–12).

В графе «Аппарат отходящей линии (ввода)» должно быть четыре строки:

- обозначение (при отсутствии – прочерк);
- тип аппарата;
- номинальный ток аппарата (в амперах);
- расцепитель или плавкая вставка аппарата (в амперах).

В графе «Участок сети 1» надписи отсутствуют. Горизонтальная линия, пересекающая графу, обозначает проводку между аппаратами, указанными в графах 2 и 4.

В графе «Пусковой аппарат» записывают данные пускового аппарата: обозначение; тип; номинальный ток (в амперах); расцепитель, или плавкая вставка, или уставка теплового реле (в амперах). Если пусковой аппарат поставляется комплектно с технологическим оборудованием, то в данной графе указывают обозначение на плане, ставят знак «*» и делают ссылку внизу под схемой.

В графе «Участок сети 2» надписи отсутствуют. Горизонтальная линия, пересекающая графу, обозначает проводку между аппаратом, указанным в графе 4, и электроприемником.

В графе «Участок сети» указывают номер участка сети, описание которого дается в последующих графах. В обозначении трассы электропроводки первые цифры – номер токоприемника на плане, затем буква Н – для силовых электропроводок и К – для цепей управления и сигнализации.

Для электроприемника указывают его цифровое или буквенно-цифровое обозначение на плане, установленную или номинальную мощность, расчетный ток, наименование (если электроприемником является установка или НКУ, указывают обозначение чертежа принципиальной схемы установки или чертежа общего вида НКУ).

Если после аппарата отходящей линии до электроприемника в сети не один, а два аппарата, которые нужно описать в схеме, то линию сети переносят в начало графы 4 следующей строки. В конце ставят уходящую стрелку под углом 45° и под таким же углом ставят стрелку, приходящую в начало графы 4. В конце и в начале стрелок ставят прописные буквы русского алфавита. Аналогично можно переносить линии сети практически в любые точки схемы.

2.3.3 Пример выполнения принципиальной схемы питающей и распределительной сети

Исходя из требований к надежности электроснабжения по ТКП 385-2012 [37] котельная относится ко II категории надежности электроснабжения. Для таких электроприемников должно быть предусмотрено энергообеспечение от двух независимых

взаимно резервирующих источников питания. Перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного источника питания допустим на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной бригады. Поэтому на рисунке 2.58 предусмотрено два ввода и выбрано вводно-распределительное устройство ВРУ1-21-10 УХЛ4. Способ установки устройства – напольный. Климатическое исполнение – УХЛ44, степень защиты – IP54.

Питание электроустановок котельной предусматривается напряжением 400/230 В переменного тока от отдельно стоящей трансформаторной подстанции. Система токоведущих проводников для питания электроприемников, относящихся к силовому электрооборудованию – трехфазная пятипроводная. Питающие линии от подстанций выполнены кабелем, проложенным в земле. На вводе в здание предусматривается повторное заземление нулевого защитного проводника.

Принципиальная схема распределительной сети строится по радиальному принципу (рисунок 2.59).

Принципиальная схема питающей сети

Магистраль	Участок сети 1 Аппарат отходящей линии (ввода): обозначение, тип, I _{ном} , А, расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети 2 Аппарат ввода в распределительное устройство или пусковой аппарат: обозначение, тип, I _{ном} , А, расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети 3 Участок сети	Кабель, провод			Труба		Распределительное устройство или электроприемник					
				Обозначение	Марка	Количество и сечение жил	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Р _{ном} или Р _{сб} , кВт	I _{ном} или I _{сб} , А	Наименование, тип, обозначение чертежа принципиальной схемы	
	ВРУ-1-21-10 УХЛ4	ВА47-29 63 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			2	ШУН1	АВВГ	5Х2,5	10	лоток на скобах		ШУ1	9,5	18	Шкаф управления 1	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	1	В1	АВББШв	4Х10	20	в траншее		норм.	9,5	18	ВВОД N1 от ТП
				-	-	-	-	-	-	-	авар.	22,81	40,4	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	1	В2	АВББШв	4Х10	20	в траншее		норм.	13,31	22,4	ВВОД N2 от ТП
				-	-	-	-	-	-	-	авар.	22,81	40,4	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	ВА47-29 63 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Щиток освещения ОЩ - 01
				2	ЩОН1	АВВГ	5Х2,5	7	на скобах		ЩО	7,01	9,8	
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	ВА47-29 63 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Щит автоматики	
			2	ЩАН1	АВВГ	5Х2,5	10	на скобах		ЩА	6,3	12,6		
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-

Рисунок 2.58 – Пример выполнения принципиальной схемы питающей сети

В соответствии с требованием ГОСТ 21.613 обозначаем трассы электропроводок распределительной сети буквенно-цифровыми обозначениями. Первые цифры – номер токоприемника на плане, затем буква Н для силовых электропроводок

и буква К для электропроводок цепей управления и сигнализации (контрольных), далее цифра – порядковый номер трассы к электроприемнику, указанному на первом месте настоящего обозначения.

Аппаратуру управления и защиты выбираем в соответствии с положениями, изложенными в подпункте 2.3.1. По значениям расчетных токов линий и по условию их соответствия выбранным аппаратам защиты производим выбор электропроводки и сечений проводов.

Принципиальная схема распределительной сети

Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (ввода): обозначение, тип, I _{ном} , А, расцепитель или плавкая вставка, А	Пусковой аппарат: обозначение, тип, I _{ном} , А, расцепитель или плавкая вставка, А	Кабель, провод				Труба		Электроприемник				
			Участок сети 1	Участок сети 2	Участок сети 1	Участок сети 2	Участок сети 1	Участок сети 2	Участок сети 1	Участок сети 2	Участок сети 1	Участок сети 2	
			Обозначение	Марка	Кол-во и сечение жил	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	R _{расч} или R _{ном} , мВТ	I _{расч} или I _{ном} , А	Наименование, тип, обозначение чертежа принципиальной схемы	
ЩА ЩШМ P _{расч} = 6,3 А I _{расч} = 12,6 А	QF2 ВА47-29 63 3	KM1 ПМЛ1 104 10 4	1	1Н1	АВВГ	4х2,5	1	-	-	1	1,5	$\frac{3,0}{21,0}$	Привод насоса 1 АИР100L8
			2	1Н2	АВВГ	4х2,5	20	-	-				
	QF3 ВА47-29 63 3	KM2 ПМЛ1 104 10 4	1	2Н1	АВВГ	4х2,5	1	-	-	2	1,5	$\frac{3,0}{21,0}$	Привод насоса 2 АИР100L8
			2	2Н2	АВВГ	4х2,5	21	-	-				
	QF4 ВА47-29 63 5	KM3 ПМЛ1 104 10 6	1	3Н1	АВВГ	4х2,5	1	-	-	3	2,2	$\frac{4,4}{30,8}$	ПВентилятор АИР100LА6
			2	3Н2	АВВГ	4х2,5	25	-	-				
	QF5 ВА47-29 63 3	KM4 ПМЛ1 104 10 UZ1	1	4Н1	АВВГ	4х2,5	1	-	-	4	1,1	$\frac{2,2}{15,4}$	Воздуходувка АИР80А4У3
			2	4Н2	АВВГ	4х2,5	15	-	-				
	SF1 ВА47-29 63 4	KV5, KV6 РПЛ-140 10 -	1	5Н1	КВВГ	4х2,5	1	-	-	5	0,55	1,1	Сервомотор
			2	5Н2	КВВГ	4х2,5	18	-	-				

Рисунок 2.59 – Пример выполнения принципиальной схемы распределительной сети

3. Расчет надежности системы автоматизации. Средства обеспечения надежности

3.1 Показатели надежности

В соответствии с ГОСТ 24.701 [42] под термином «надежность автоматизированной системы управления» понимают свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации.

При расчете надежности следует разделять технические средства на элементы, устройства или системы. Под элементом понимают любое покупное изделие, которое не подлежит ремонту, а заменяется на исправное (резистор, диод, кнопка, реле и т. п.). Под устройством (управления) подразумевают совокупность определенным образом связанных между собой элементов, предназначенных для управления одной единицей технологического оборудования. Под системой (автоматического управления) с точки зрения теории надежности понимают совокупность связанных между собой устройств управления, обеспечивающих работу всего технологического процесса. В тех случаях, когда с точки зрения надежности безразлично, идет ли речь об элементе, устройстве или системе, будем использовать термин «изделие».

Каждое изделие с точки зрения надежности должно быть охарактеризовано совокупностью показателей. Показатели надежности для элементов:

1. Интенсивность отказов – это вероятность отказа неремонтируемого изделия (элемента) в единицу времени после данного момента времени при условии, что отказ до этого момента не возник:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N(\Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (3.1)$$

где $\Delta N(\Delta t)$ – число отказавших элементов за время Δt ;

$N(t)$ – число элементов, оставшихся работоспособными к началу интервала времени Δt ;

Δt – рассматриваемый интервал времени (формула тем точнее, чем меньше промежуток времени).

Примеры значений интенсивности отказов для ряда элементов устройств управления приведены в [15, приложение 5].

2. Средняя наработка до отказа:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{cp_i}}{N}, \quad (3.2)$$

где T_{cp_i} – средняя наработка до отказа среднего i -го элемента;

N – число испытываемых элементов (формула тем точнее, чем больше N);

$\lambda(t)$ – интенсивность отказов.

3. Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникает отказа элемента:

$$P(\tau) = e^{-\int_0^{\tau} \lambda(t) dt}, \quad (3.3)$$

где τ – заданный интервал времени Δt ;

$\lambda(t)$ – интенсивность отказов.

Для случая, когда $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$, справедлив экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы:

$$P(\tau) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{T_{cp}}}. \quad (3.4)$$

Показатель, противоположный по смыслу вероятности безотказной работы, называется вероятностью отказа:

$$Q(\tau) = 1 - P(\tau). \quad (3.5)$$

Средняя наработка до отказа связана с вероятностью безотказной работы соотношением:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (3.6)$$

К числу показателей надежности элемента следует отнести его ресурс, а также срок службы и хранения. Эти показатели будут характеризовать такие свойства надежности, как долговечность и сохраняемость.

За отказ устройства управления принято считать такое случайное событие, при наступлении которого выходной сигнал, формируемый устройством, не будет соответствовать заданному и устройство не будет восстановлено за допустимое время восстановления $T_{доп}$.

Таким образом, кроме показателей, которые характеризуют надежность элемента, как невозстанавливаемого изделия, для оценки надежности устройства управления необходимы дополнительные показатели:

1. Вероятность восстановления за допустимое время восстановления:

$$P_v(T_{\text{доп}}) = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_v}}, \quad (3.7)$$

где T_v – среднее время восстановления устройства, ч;

2. Вероятность безотказной работы устройства управления:

$$P_c(\tau) = P_{\text{б/в}}(\tau) + [1 - P_{\text{б/в}}(\tau)] \cdot P_v(T_{\text{доп}}), \quad (3.8)$$

где $P_{\text{б/в}}$ – вероятность безотказной работы за интервал времени τ без учета возможности восстановления;

$[1 - P_{\text{б/в}}(\tau)]$ – вероятность отказа в интервале времени τ .

3. Коэффициент готовности – характеризует долю времени работы устройства по отношению ко времени работы и восстановления:

$$k_r = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_v}. \quad (3.9)$$

Таким образом, для восстанавливаемых устройств управления показатели надежности могут быть выбраны из следующего ряда показателей:

- вероятность безотказной работы за время Δt ;
- вероятность безотказной работы с учетом восстановления $P_c(\tau)$;
- наработка на отказ $T_{\text{ср}}$, или средняя наработка до первого отказа;
- коэффициент готовности k_r ;
- ресурс, срок службы и хранения.

Выбор показателей надежности зависит от доминирующего фактора при определении последствий отказа системы.

3.2 Методы расчета надежности систем управления

В зависимости от этапов проектирования расчеты надежности делятся на прикидочные (ориентировочные), выполняемые в процессе разработки вариантов схем, и окончательные, выполняемые после завершения проектирования. Кроме

того, методы расчета зависят от способов обеспечения требуемой надежности системы. Если при проектировании не были применены специальные методы обеспечения надежности и к системам не предъявлялись определенные требования по надежности, то можно ограничиться прикидочным расчетом. В остальных случаях необходимо проводить окончательные расчеты надежности, методика которых изложена в [16, с. 335–338]. Специальные методы обеспечения надежности приведены в [16, с. 330–332].

Прикидочный расчет надежности позволяет сравнивать между собой варианты разрабатываемых схем и давать ориентировочную оценку показателям надежности.

Исходные данные для прикидочного расчета: номенклатура типов элементов, используемых в схемах, число элементов каждого типа, номинальные значения λ -характеристик элементов, время работы или число циклов срабатывания элементов (ориентировочное).

Прикидочный расчет примерно предполагает следующее: все элементы соединены в структурной схеме надежности последовательно; при разработке схемы специальные методы обеспечения надежности не использованы; электрические нагрузки элементов номинальные; система работает при нормальных климатических и механических нагрузках; λ – характеристики элементов на протяжении всего рассматриваемого интервала времени постоянны, то есть $\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$; время работы и число циклов срабатывания элементов одинаковые.

Тогда расчетные формулы показателей надежности следующие:

– интенсивность отказов системы:

$$\Lambda = \sum_{j=1}^k n_j \cdot \lambda_j, \quad (3.10)$$

где λ_j – интенсивность отказов j -го элемента;

n_j – число элементов j -го типа;

k – число элементов в схеме;

– вероятность безотказной работы системы:

$$P(\tau) = e^{-\Lambda \cdot \tau}, \quad (3.11)$$

где t – время работы системы, ч;

– наработка до первого отказа:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\Lambda}. \quad (3.12)$$

Порядок прикидочного расчета:

– подсчитывается интенсивность отказов для каждого типа элементов ($n_j \lambda_j$); суммируется интенсивность отказов для каждого устройства управления отдельно;

– подсчитывается наработка до первого отказа;

– определяется время работы элементов;

– определяется вероятность безотказной работы;

– проводится анализ полученных данных, и принимаются соответствующие меры для обеспечения равной надежности отдельных устройств системы или для достижения требуемого уровня надежности.

Если результаты прикидочного расчета неудовлетворительны, переходят к окончательному расчету надежности, нередко применяя специальные способы обеспечения надежности.

Пример проведения прикидочного расчета и выводов по его результатам приведен в приложении В.

4 Разработка монтажной документации и документации на щиты автоматики

Проектная документация на систему автоматизации будет неполной без монтажной документации и документации на щиты автоматики.

К монтажной документации относят таблицы соединений и подключений, раскрывающих соединения и подключения к аппаратам внутри конструктивного устройства, и схемы соединений внешних проводок, раскрывающие внешние подключения к щитам.

Таблица соединений (рисунок 4.1) – это документ, отражающий соединения между аппаратами, приборами и элементами внутри конструктивного устройства и определяющий провода и другие изделия, которыми осуществляют эти соединения.

Основанием для разработки таблиц соединений являются принципиальные электрические схемы и схемы соединений внешних проводок. Об этом делают запись на первом листе таблицы соединения под заголовком «Технические требования».

При заполнении таблиц руководствуются одним из следующих правил:

1. Заполняют по возрастанию номеров маркировки цепей в принципиальной электрической схеме.

2. Заполняют по методу непрерывной цепи, при котором, как правило, начало каждого последующего проводника должно быть на том аппарате, где окончился предыдущий проводник, или на аппарате расположенном рядом (порядок возрастания номеров в этом случае во внимание не принимают).

Следует помнить, что проводники от аппаратуры, установленной на поворотной конструкции (двери малогабаритных щитов, поворотные панели и т. д.), должны подключаться, как правило, к сборкам коммутационных зажимов.

Порядок заполнения граф таблицы следующий. В графе «Проводник» указывают маркировку проводки по принципиальной электрической схеме или схеме соединений внешних проводок. В графах «Откуда идет» и «Куда поступает» указывают адреса присоединений проводов. Например, 18в – K2:5 или KM1:13, где 5 и 13 – номер вывода, K2 – позиционное обозначение колодки прибора, KM1 – позиционное обозначение аппарата на принципиальной электрической схеме, 18в – позиция прибора по заказной спецификации, : – разделительный знак. В графе «Данные проводника» для проводников указывают марку, сечение и, при необходимости, цвет. В графе «Примечание» для проводок, которые требуют отдельной прокладки, выполняют поясняющие надписи; для перемычек, выполняемых на аппарате, заносят условное обозначение «П», а также могут заноситься другие справочные данные (например, тип наконечника).

Проводник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание
<i>Таблица соединений выполнена на основании 02.49.015.21 - АТХ</i>				
L11	Ввод	QF1:1	ПВ16	
L12	QF1:2	QF2:1	ПВ16	
L12	QF1:2	SF1:Л1	ПВ16	
L12	QF2:1	QF3:1	ПВ16	
L12	QF3:1	QF4:1	ПВ16	
L13	QF2:2	КМ1:1	ПВ2,5	
L14	КМ1:2	КК1:1	ПВ2,5	
L15	КК1:2	ХТ1:1	ПВ2,5	
L16	QF3:2	КМ2:1	ПВ2,5	
L17	КМ2:2	КК2:1	ПВ2,5	
L18	КК2:2	ХТ1:5	ПВ2,5	
L19	QF4:2	КМ3:1	ПВ2,5	
L111	КМ3:2	КК3:1	ПВ2,5	

Рисунок 4.1 – Пример составления таблицы соединений

Таблица подключений (рисунок 4.2) раскрывает подключения проводников к каждому элементу конструктивного устройства. Таблицу следует заполнять в порядке, соответствующем расположению приборов, аппаратов и зажимов в щите, на виде с внутренней стороны слева направо, сверху вниз последовательно по стенкам (левая, передняя, правая) и поворотным конструкциям.

Запись начинают с соответствующих заголовков «Левая стенка» и т. д. В графе «Вид контакта» проставляют:

1) позицию прибора по спецификации или позиционное обозначение аппарата, блока зажимов, которые подчеркивают;

2) условные обозначения контактов и катушек аппаратов: З – замыкающий, Р – размыкающий, К – катушка реле. Переключающий контакт записывают двумя строками З и Р. При этом общий вывод записывается один раз в строке, где записывается размыкающий контакт.

В графе «Вывод» проставляют обозначения выводов аппаратов. Кроме того, для переключателей, выполняемых непосредственно на аппарате, кроме номера вывода приводят сокращенное обозначение «П». Графы «Вывод» и «Вид контакта» заполняют только для занятых выводов. В графе «Проводник» против соответствующих номеров выводов указывают маркировку проводов, подключаемых к данному выводу.

Проводник	Вывод	Вид конт.	Вывод	Проводник	Проводник	Вывод	Вид конт.	Вывод	Проводник
<i>Таблицы подключений выполнены на основании 02.49.017.20 - АТХ</i>									
		<u>Дверь</u>					<u>SB8</u>		
		<u>HL1</u>			3	2	3	1	7
52	1		2	21			<u>SA1</u>		
		<u>SB1</u>			1П	13		14	2
3	2	Р	1	8	1П	11		12	3
		<u>SB2</u>					<u>SA2</u>		
8	2	3	1	9	23	2	Р	1	45
		<u>SB3</u>						<u>Задняя стенка</u>	
3	2	Р	1	4					
		<u>SB4</u>					<u>QF1</u>		
4	2	3	1	11	L11	1	3	2	L12
		<u>SB5</u>			L21	3	3	4	L22
3	2	Р	1	5	L31	5	3	6	L32
		<u>SB6</u>					<u>QF2</u>		
5	2	3	1	9	L12	1	3	2	L13
		<u>SB7</u>			L22	3	3	4	L23
3	2	Р	1	6	L32	5	3	6	L33

Рисунок 4.2 – Пример составления таблицы подключений

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показаны электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам (если это не затруднит чтение схемы).

Требования по выполнению схемы соединений внешних проводок и пример выполнения изложен в [5, с. 207–212]. При разработке данных схем следует решать вопрос выбора способа прокладки проводки, ее марки, расчета сечений. Методика расчета и выбора проводок изложена в [12, с. 249–255]. Пример выполнения схемы соединений внешних проводок приведен в приложении В.

Документация на щит автоматики должна быть выполнена в следующем объеме: перечень элементов щита, вид спереди, вид на внутренние плоскости щита, таблица надписей на табло и в рамках. Принципы компоновки аппаратуры в щитах автоматики и требования к документации на щиты автоматики изложены в [12, с. 281–303]. Пример разработки щита автоматики приведен в приложении В. Исходные данные для компоновки аппаратуры в щите автоматики даны в приложении И.

5 Заключительные шаги при работе над курсовым проектом

В заключение при работе над проектом продумывают, что даст разработанный вариант системы автоматизации с экономической точки зрения и излагают основные выводы по проекту в разделе заключение. Для рассматриваемого примера содержание заключения может быть примерно следующим:

«При анализе исходных данных выявлены требования к системе автоматизации котельной установки, которая должна обеспечивать безопасность, автоматическое регулирование по основным контурам (АСР нагрузки котла, питания, соотношения «топливо–воздух», разрежения в топке), сигнализацию и оповещение. Реализована система автоматизации на базе контроллера SIEMENS SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC с комплектом датчиков и исполнительных механизмов. Все важные технологические параметры выводятся на экран панели оператора, подключаемой к контроллеру.

Проведенное моделирование работы контура регулирования по каналу соотношение «расход топлива – давление воздуха» показало приемлемое качество регулирования при параметрах: $K_d = 556,7$; $K_i = 0,00087$; $K_p = 9,99$. При этом время регулирования составляет 200 с, перерегулирование – 10 %, статическая ошибка равна нулю.

Вероятность безотказной работы СА равна 0,82 (за 10 000 ч), что свидетельствует о достаточной надежности системы и не требует применения специальных методов обеспечения надежности.

Предложенная СА позволит обеспечить безопасность работы котла и нормальное его функционирование, а также снизить текущие издержки и расход электроэнергии за счет использования контура регулирования соотношения «расход топлива – давление воздуха» за счет использования преобразователя частоты, но будут увеличены капитальные затраты, связанные с приобретением технических средств автоматизации.».

Заключение

В пособии в качестве варианта разработки системы автоматизации рассмотрен сквозной пример реализации СА котельной установки. При этом основное техническое решение раскрыто в документации проекта автоматизации. При выполнении проекта автоматизации, прежде всего, следует досконально изучить технологический процесс, определить возможные пути автоматизации управления, проработать возможные варианты использования новейших разработок в области автоматизации на предмет их реализации в конкретном технологическом процессе, решить вопросы разработки алгоритма управления и его реализации в структуре и программе управления, предусмотреть средства визуализации управления, реализовать решение на принципиальной схеме, дополнив цепями сигнализации и контроля, оформить монтажную документацию и документацию на щиты. От полноты и доскональности проработки этих вопросов зависит качество проекта системы автоматизации в целом.

Список использованных источников

1. Гурин, В. В. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) : учебно-методическое пособие / В. В. Гурин, Е. С. Якубовская, И. П. Матвеев [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2014. – 144 с.
2. Охрана труда в курсовом и дипломном проектировании : учебно-методическое пособие / В.Г. Андруш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2015. – 100 с.
3. Экономическое обоснование инженерных решений в энергетике. Дипломное проектирование : учебно-методическое пособие / сост.: И. И. Гургенидзе; Е. В. Гриневич. – Минск : БГАТУ, 2017. – 192 с.
4. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2007. – 592 с.
5. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2015. – 376 с.
6. Якубовская, Е. С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / Е. С. Якубовская, С. Н. Фурсенко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 312 с.
7. Правила по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 бар) и водогрейных котлов с температурой нагрева воды не выше 115 °С, утвержденные постановлением министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь 31 декабря 2013 г. № 79 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mshp.gov.by/ohrana/d5a0382375aae8ba.html>. – Дата доступа : 6.05.2020.
8. Левин, Б. К. Регулирование парокотельных установок пищевых предприятий. – М. : Агропромиздат, 1987. – 251 с.
9. Котлы КП // ОАО ГСКБ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gskb.by/kotly/kp-03/>. – Дата доступа : 6.05.2020.
10. Паровые и промышленные котлы // Системы отопления, водоснабжения, канализации Taros [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.vodaiteplo.com/?id=73>. – Дата доступа : 6.05.2020.
11. Котлы ДКВр // ДКВР.РУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dkwr.ru>. – Дата доступа: 6.05.2020.
12. Якубовская, Е. С. Проектирование систем автоматизации : учебное пособие / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2018. – 360 с.

13. Системы автоматизации. Словарь-справочник по терминам : РМ 4-239-91 : пособие к СНиП 3.05.07-85. Взамен РМ4-158-75 ; введ. 01.01.91. – М. : ГПКИ «Проектмонтажавтоматика», 1991. – 98 с.
14. ГОСТ 14691–69. Устройства исполнительные для систем автоматического регулирования. Термины. – Введ. 01.01.1970. – М. : Стандартиформ, 1969. – 12 с.
15. α универсальный контроллер: Руководство пользователя. – MITSUBISHI, 2000. – 33 с.
16. IEC 61131-3 // Википедия : свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.m.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3. – Дата доступа : 12.04.2015.
17. Дубровный, В. А. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования : в 2 ч. Ч. 2 / В. А. Дубровный [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1981. – 940 с.
18. Автоматика на сельскохозяйственных предприятиях : справочник. – М. : Россельхозиздат, 1978. – 272 с.
19. САУ-МП. Логический контроллер. Паспорт и руководство по эксплуатации. – М. : ОБЕН, 2009. – 100 с.
20. Программируемый контроллер MELSEC FX : руководство пользователя. – MITSUBISHI, 2008. – 101 с.
21. Нестеров, А. Л. Проектирование АСУТП : методическое пособие. Книга 2. – СПб. : Издательство ДЕАН, 2009. – 944 с.
22. Элементы и устройства сельскохозяйственной автоматики : справочное пособие / Н. И. Бохан [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Ураджай, 1989. – 238 с.
23. SIEMENS. Программируемые контроллеры S7-1200. – SIEMENS, 2013. – 876 с.
24. СУ-1С, Сигнализатор уровня [Электронный ресурс] // ООО «Промприбор». Поставка контрольно-измерительных приборов и автоматики. – Режим доступа <http://kip-device.ru/su-1s-signalizator-urovnya>. – Дата доступа: 08.12.2019.
25. Датчик давления DMP 330L // BD | SENSORS RUS : датчики давления и уровня [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bdsensors.ru/pdf/doc/dmp330l.pdf>. – Дата доступа : 08.12.2019.
26. DMK 331 (DMK 331) датчик тиску BD Sensors // ООО «УА-Системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://geonorma.com.ua/p1141820-dmk-331-dmk.html>. – Дата доступа : 01.05.2019.
27. ФЭСР-2.Р Фотоэлектродный сигнализатор пламени двухканальный // ПРИБОРИНВЕСТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.priborinvest.by/fjesp-2r-fotojelektrodnij-signalizator-plameni-dvuhkanalnij.html>. – Дата доступа : 01.12.2019.

28. Преобразователь частоты Hitachi L100 // Приводная техника: преобразователи частоты, устройства плавного пуска, сервопривод, привод постоянного тока. Станции управления: насосами, вентиляторами, компрессорами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.privod.su/Hitachi/6469843752>. – Дата доступа : 05.12.2019.

29. Якубовская, Е. С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства : лабораторный практикум / Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова, А. А. Солдатенко. – Минск : БГАТУ, 2011. – 196 с.

30. Сидоренко, Ю. А. Теория автоматического управления : учебное пособие / Ю. А. Сидоренко. – Минск : БГАТУ, 2007. – 124 с.

31. Дьяконов, В. П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с. – (Серия «Библиотека профессионала»).

32. Проектирование и САПР систем автоматизации : практикум / сост. Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2008. – 204 с.

33. SIEMENS [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/avtomatizacia/industry-software/automation-software/tia-portal/programmnoe-obespechenie.html>. – Дата доступа : 04.09.2021.

34. Totally Integrated Automation Portal [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/avtomatizacia/industry-software/automation-software/tia-portal.html>. – Дата доступа : 04.09.2021.

35. Микропроцессорная техника систем автоматизации. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие / сост.: И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков. – Минск : БГАТУ, 2017. – 136 с.

36. Якубовская, Е. С. Системы автоматизированного проектирования электротехнических установок : учебное пособие / Е. С. Якубовская. – Минск : Высшая школа, 2020. – 220 с.

37. Нормы проектирования электрических сетей внешнего электроснабжения напряжением 0,4–10 кВ сельскохозяйственного назначения : ТКП 385-2012 (02230). – Введ. 19.04.2012. – Минск : Минскэнерго, 2009. – 102 с.

38. Кардашов, П. В. Проектирование электроустановок. Практикум : учебно-методическое пособие / П. В. Кардашов, Н. И. Павликова, О. В. Бондарчук. – Минск : 2019. – 144 с.

39. Правила устройства электроустановок. – 6 изд., перераб. и доп. – Минск : Дизайн ПРО, 2007. – 720 с.

40. ГОСТ 21.613–2014. СПДС. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования. – Взамен ГОСТ 21.613–88 ; введ. 20.10.2014. – М. : Стандартиформ, 2015. – 25.

41. Проектирование электроустановок : учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию / сост.: Е. И. Лицкевич, П. В. Кардашов. – Минск : БГАТУ, 2008. – 54 с.
42. ГОСТ 24.701–86. ЕСКД. Надежность автоматизированных систем управления. – Введ. 01.07.1987. – М. : Стандартинформ, 2009. – 11 с.
43. Шило, И. Н. Современное оборудование и машины для послеуборочной обработки зерна : справочник / И. Н. Шило, Е. И. Михайловский. – Минск : БГАТУ, 2011. – 508 с.
44. Шаршунов, В. А. Сушка и хранение зерна : справочное пособие / В. А. Шаршунов, Л. В. Рукшан. – Минск : Мисанта, 2010. – 587 с.
45. Рысс, А. А. Автоматическое управление температурным режимом в теплицах / А. А. Рысс, Л. И. Гурвич. – М. : Агропромиздат, 1986. – 127 с.
46. Механизация животноводства : учебник / под ред. В. К. Гриба. – Минск : Ураджай, 1997. – 640 с.
47. Агромилк. Современные заменители цельного и обезжиренного молока «АГРОМИЛК». Для телят, ягнят, козлят и поросят [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.agromilk.by>. – Дата доступа : 6.05.2015.
48. Митин, В. В. Автоматика и автоматизация производственных процессов мясной и молочной промышленности / В. В. Митин, В. И. Усков, Н. Н. Смирнов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 187 с.
49. Агротехимпорт : оборудование для ферм КРС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.agrotehimport.ru. – Дата доступа : 01.09.2014.
50. Джеймс, О. Дональд. Технология микроклимата бройлерного птичника. – М. : ArborAcres, 2012. – 48 с.
51. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов. – М. : Агропромиздат, 1986. – 386 с.
52. Робот для смешивания и раздачи кормов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.yasnogorfarms.ru/catalog/kormlenie/lely_vector_robotic_feeding. – Дата доступа : 01.09.2021.
53. ГОСТ 2.105–95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – Взамен ГОСТ 2.105–79, ГОСТ 2.906–71; введ. 08.08.1995. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 27 с.
54. СТБ 2255–2012. СПДС. Основные требования к документации строительного проекта. – Введ. 01.07.2012. – Минск : Госстандарт, 2012. – 46 с.
55. ГОСТ 21.408–2013. СПДС. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – Взамен ГОСТ 21.408-93 ; введ. 2016-03-01. – Минск : Госстандарт, 2016. – 44 с.

56. ГОСТ 2.780–96. ЕСКД. Обозначения условные графические. Кондиционеры рабочей среды, емкости гидравлические и пневматические. – Введ. 01.01.1998 – М. : Изд-во стандартов, 1995. – 7 с.

57. ГОСТ 2.782–96. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины гидравлические и пневматические. – Введ. 01.01.1998 – М. : Изд-во стандартов, 1995. – 12 с.

58. ГОСТ 2.788–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты выпарные. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

59. ГОСТ 2.789–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты теплообменные. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

60. ГОСТ 2.790–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты колонные. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

61. ГОСТ 2.791–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Отстойники и фильтры. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

62. ГОСТ 2.792–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Аппараты сушильные. – Введ. 01.01.1975. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.

63. ГОСТ 2.793–79. ЕСКД. Обозначения условные графические. Элементы и устройства машин и аппаратов химических производств. Общие обозначения. – Введ. 01.01.1981. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 7 с.

64. ГОСТ 2.794–79. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства питающие и дозирующие. – Введ. 01.01.1981. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 4 с.

65. ГОСТ 2.795–80. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Центрифуги. – Введ. 01.01.1982. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 4 с.

66. ГОСТ 2.303–68. ЕСКД. Линии. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 6 с.

67. ГОСТ 2.305–2008. ЕСКД. Изображения – виды, разрезы, сечения. – Взамен ГОСТ 2.305–68 ; введ. 01.01.2010. – М. : Стандартинформ, 2009. – 23 с.

68. ГОСТ 2.306–68. ЕСКД. Обозначения графических материалов и правила нанесения их на чертежах. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 6 с.

69. ГОСТ 2.784–96. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы трубопроводов. – Введ. 01.01.1998. – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 11 с.

70. ГОСТ 14202–69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1968. – 15 с.

71. ГОСТ 2.785–70. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Арматура трубопроводная. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1969. – 5 с.

72. ГОСТ 21.208–2013. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – Взамен ГОСТ 21.404–85 ; введ. 2016-03-01. – Минск : Госстандарт, 2016. – 36 с.

73. ГОСТ 2.722–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 14 с.

74. ГОСТ 2.732–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники света. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 7 с.

75. ГОСТ 2.741–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы акустические. – Введ. 01.01.1971. – М. : Изд-во стандартов, 1967. – 9 с.

76. ГОСТ 2.710–81. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – Взамен ГОСТ 2.701–75 ; введ. 01.07.1981. – М. : Стандартинформ, 2008. – 10 с.

77. Положение о допуске единиц величин к применению в Республике Беларусь, утв. 24.11.2020 Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 673 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22000673&p1=1&p5=0>. – Дата доступа : 07.06.2022.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

(обязательное)

Пример задания на дипломное проектирование

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра автоматизированных систем управления производством

Утверждаю

Зав. кафедрой _____ / _____ /
(личная подпись) (ФИО)

« » _____ 20 г.

ЗАДАНИЕ НА ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Студенту _____

1 Тема дипломного проекта: «Модернизация системы автоматического управления процессом инкубации яиц на ОАО «Птицефабрика Дружба» Барановичского района с разработкой контура удаленного оповещения об аварийном состоянии параметров»

Утверждена приказом ректора от _____ г. №

2 Исходные данные к дипломному проекту:

1) материалы обследования хозяйства; 2) типовые проекты; 3) научная литература по теме проекта; 4) описание изобретений по теме проекта; 5) ПУЭ; 6) ГОСТы и другие нормативные материалы.

3 Содержание пояснительной записки: Введение.

1 Исходные данные: 1.1 Производственная характеристика хозяйства;
1.2 Характеристика объекта проектирования; 1.3 Технология производства;
1.4 Характеристика мест размещения; 2 Модернизация системы автоматического управления процессом инкубации яиц: 2.1 Технологические требования к процессу инкубации яиц; 2.2 Определение объема автоматизации инкубационного шкафа и структуры системы автоматического управления процессом инкубации яиц; 2.3 Выбор технических средств автоматизации; 2.4 Разработка алгоритма, структуры и программы управления процессом инкубации яиц; 2.5 Моделирование САР температуры в инкубационном шкафу; 2.6 Разработка полной принципиальной электрической схемы автоматического управления, регулирования, контроля и сигнализации; 2.7 Разработка схемы питающей и распределительной сети системы автоматического управления; 2.8 Разработка щита автоматики; 2.9 Расчет надежности САУ; 2.10 Вопросы монтажа, ремонта и эксплуатации

САУ; 3 Специальная часть. Разработка контура удаленного оповещения об аварийном состоянии параметров: 3.1 Анализ параметров, подлежащих аварийному оповещению; 3.2 Пути технической реализации удаленного оповещения; 3.3 Выбор технических средств контура оповещения; 3.4 Техническая реализация контура оповещения; 4 Охрана труда: 4.1 Анализ состояния охраны труда на предприятии; 4.2 Разработка мер безопасности при монтаже технических средств автоматизации; 4.3 Обеспечение пожарной безопасности на предприятии; 5 Техничко-экономическое обоснование проекта: 5.1 Выбор вариантов и их краткая характеристика; 5.2 Натуральные технико-экономические показатели; 5.3 Капиталовложения и годовые текущие издержки; 5.4 Расчет годового дохода; 5.5 Критерии оценки эффективности капиталовложений; 5.6 Результаты технико-экономических расчетов; Заключение.

4 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей и графиков): 1) Схема автоматизации – 1 лист ф. А1; 2) Принципиальная электрическая схема автоматического управления, регулирования, контроля и сигнализации – 1 лист ф. А1; 3) Принципиальная схема распределительной и питающей сети – 1 лист ф. А1; 4) Программа управления для контроллера – 1 лист ф. А1; 5) Щит автоматики. Общий вид – 1 лист ф. А1; 6) Схема соединения внешних проводок – 1 лист ф. А1; 7) Структура контура удаленного оповещения – 1 лист ф. А1; 8) Техничко-экономические показатели – 1 лист ф. А1.

5 Консультанты по дипломному проекту с указанием относящихся к ним разделов:

по проекту в целом – _____; по охране труда – _____; по технико-экономическому обоснованию – _____; по специальным вопросам – _____; нормоконтролер – _____.

6 Календарный график выполнения дипломного проекта

Наименование раздела, подраздела	Объем работы, %	Дата выполнения	Подпись руководителя или консультанта
Раздел 1	10		
Раздел 2, подразделы 2.1–2.4, чертежи 1 и 2	15		
Раздел 2, подразделы 2.5–2.7, чертежи 3–5	20		
Раздел 2, подразделы 2.8–2.10, чертеж 6	10		
Раздел 3, чертеж 7	25		
Раздел 4	10		
Раздел 5, чертеж 8	10		

7 Дата выдачи задания «__» _____ 20 г.

8 Срок сдачи законченного дипломного проекта: _____ 20 г.

Руководитель _____ / _____ /
(подпись) ФИО

Подпись студента _____ / _____ /
ФИО

«__» _____ 20 г.

Приложение Б

(рекомендуемое)

Примерные варианты заданий к курсовому проектированию

1 Разработка системы автоматизации зерносушилки на комплексе КЗСВ-40

Зерноочистительно-сушильный комплекс КЗСВ-40 состоит из приемного отделения, очистительного отделения, сушильного отделения, системы внутреннего транспортирования зерна. Состав КЗСВ-40 приведен в таблице Б.1 [43, с. 110].

Таблица Б.1 – Состав зерноочистительно-сушильного комплекса КЗСВ-40

Наименование	Обозначение	Количество, шт.	Мощность двигателя, кВт
Приемный бункер с решетками	С-ПБ	1	–
Транспортер приемного ковша R1	КТIG 60 т/ч	1	7,5
Решетка приемного ковша	С-НПК 20	1	–
Навес над приемным ковшом	–	1	–
Нории:			
- нория подачи зерна на зерноочистку	РКА 60-01	1	9,2
- нория подачи зерна на зерносушилку	РКА 60-02	1	9,2
- нория подачи зерна из зерносушилки	РКА 60-03	1	9,2
- опорная конструкция норий	С-ОКН 10	1	–
- опорная конструкция норий	С-ОКН 21	1	–
Зерносушилка шахтная S618:			
- высыпной шнек	NORD SK42		5,5
Теплогенератор:		1	–
- вентиляторы	PGA-1800	8	5,5
Машинапредварительной очистки	КОМ 60	1	5,5
Установка зерноочистки:			
- машина предварительной и первичной очистки	CSA 50	2	3,7
- опорная конструкция зерноочистки	С-ОКЗ 10	1	–

Зерно, поступающее от зерноуборочных комбайнов с поля, загружается в приемный бункер (рисунок Б.1) непосредственно транспортным средством с боковой либо задней выгрузкой. Редлеры приемного ковша R1 и наклонного транспортера Rn, подают зерно в норию РК1, которая подает зерно в машину предварительной очистки КОМ-60 и далее в машины первичной очистки CSA-50, в которых происходит удаление сорных примесей, которые направляются в бункеры для отходов, расположенные под машинами очистки. Затем зерно поступает в норию РК2 загрузки сушилки. Подаваемое на сушку зерно заполняет сушилку

S618. Сушилка наполняется до тех пор, пока не сработает датчик верхнего уровня в надсушильной секции. После этого включается топочный агрегат, при сжигании топлива в котором образуется тепло, которое посредством вентиляторов, нагнетающих атмосферный воздух через теплообменник, подается в короба сушильных секций. Теплый воздух (агент сушки), поступающий в короба сушильных секций, проходит через слой зерна, отдавая ему свое тепло и тем самым нагревая его, приводя к испарению из него влаги. Пары влаги с отработанным агентом сушки поступают в отводящие короба, далее – в общий воздушный канал и затем выбрасываются в атмосферу. Нижние секции сушилки выполняют функцию охлаждения атмосферным воздухом с помощью вентиляторов, установленных непосредственно на шахте сушилки.

Регулирование расхода воздуха, подаваемого в камеры сушки и охлаждения зерна, осуществляется посредством дефлекторных заслонок.

В начальной стадии сушки зерна работа сушилки осуществляется в циклическом режиме с выпуском зерна из сушилки и обратным возвратом в надсушильную секцию до того момента, когда зерно достигает кондиционной влажности. После этого зерно из сушилки редлером РЗ может направляться в норию выгрузки РКЗ и далее в силос на хранение, либо на выгрузку в автотранспорт.

Одновременно с выгрузкой из сушилки высушенного зерна происходит ее загрузка сырым зерном – наступает непрерывный процесс сушки, при этом пропускная способность (производительность) сушилки устанавливается такой, чтобы при одном проходе из сушилки выходило зерно кондиционной влажности, достигается это скоростью выгрузки, либо температурой нагрева зерна.

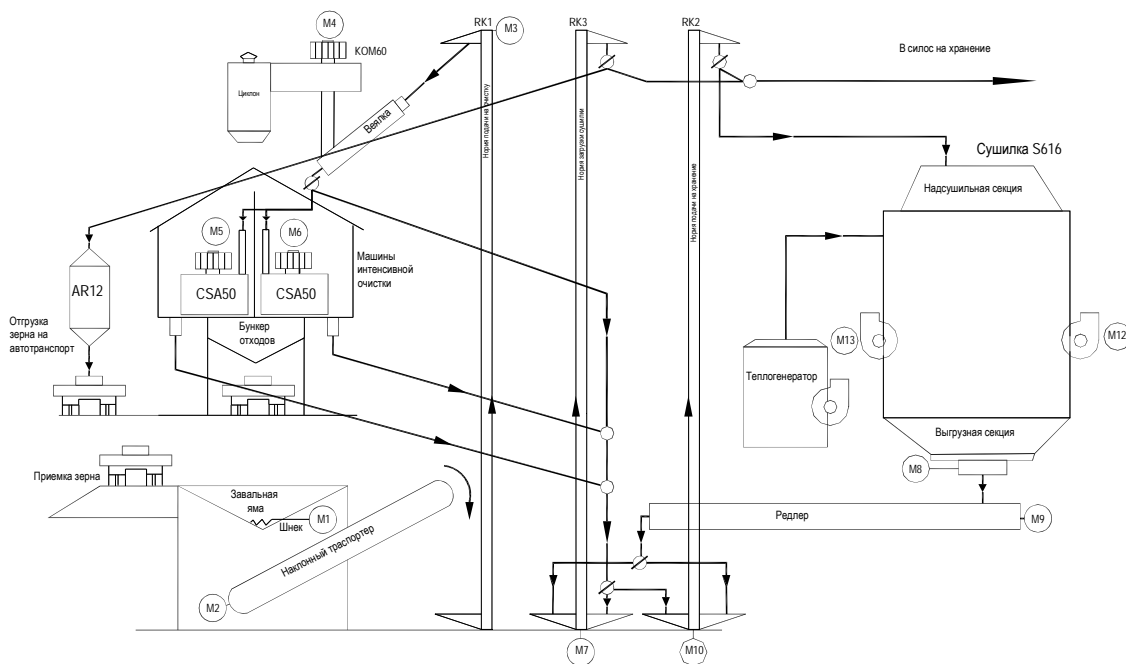


Рисунок Б.1 – Технологическая линия сушки зерновых

Технологические требования к процессу сушки зерновых: обеспечение влажности на выходе из сушилки – не более 14 %, обеспечение температуры в точке наибольшего нагрева – не более установленного технологами в зависимости от вида и типа зерновой культуры. СА должна обеспечить выполнение технологических требований. Также необходимо предусмотреть возможность контроля всех технологических параметров, визуализации процесса управления, регулирования и контроля.

2 Разработка системы автоматизации вентиляции силоса АР при длительном хранении зерна

Силос состоит из двух основных элементов – крыши и цилиндра (рисунок Б.2). Имеются: люк на крыше для визуального контроля, сетка для защиты от птиц, закрепленная между крышей и цилиндром, инспекционный люк во второй секции для доступа технического персонала, когда силос пуст.

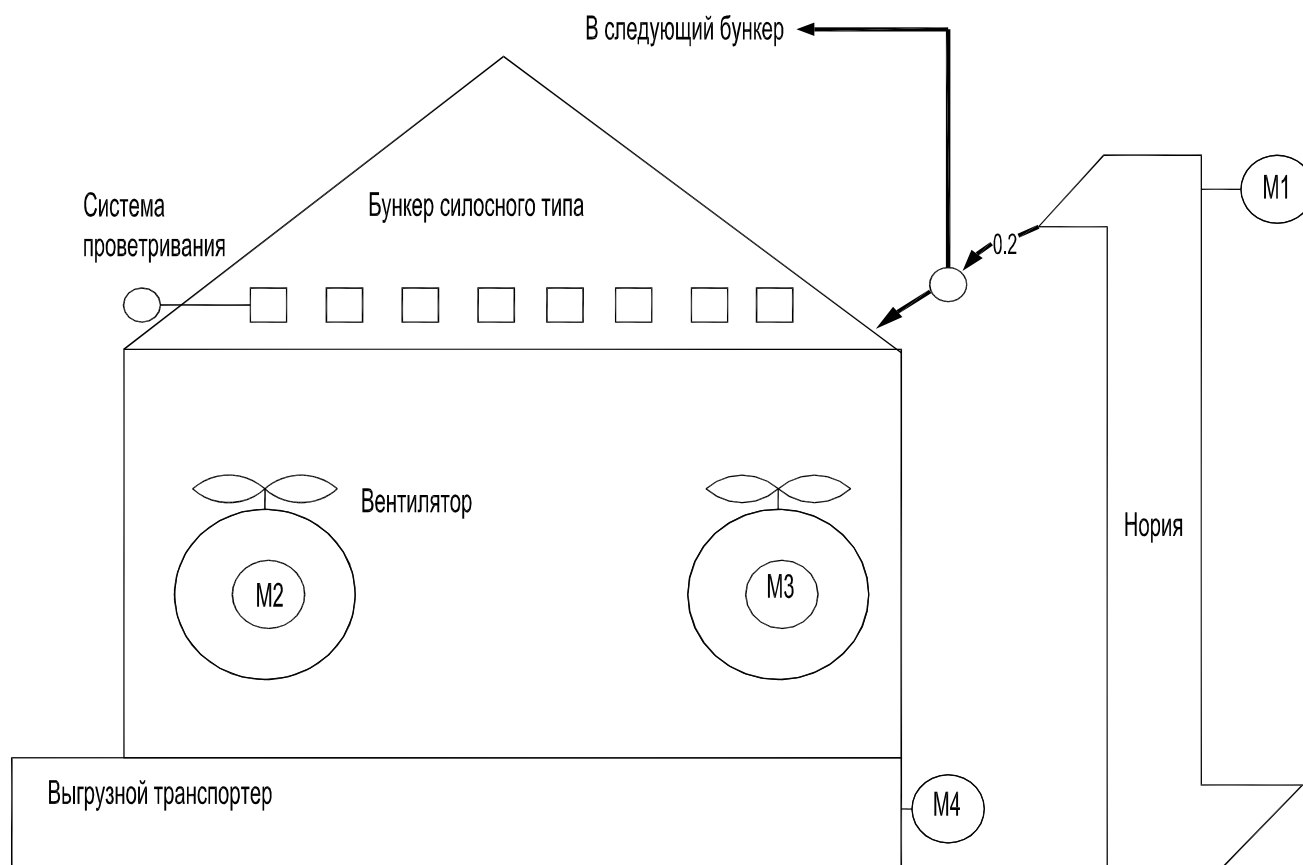


Рисунок Б.2 – Состав силоса АР в комплекте комплекса КЗСВ-30

В состав силосов также входят ковшовая нория, транспортер выгрузки, система вентиляции и система контроля температуры зерна в силосе. В состав системы вентиляции входят два вентилятора и система крышных проветривателей [44, с. 327].

СА должна обеспечить: нормальный режим хранения без самосогревания, а также аварийную сигнализацию в случае нарушения режима хранения. Также необходимо предусмотреть визуализацию управления в процессе хранения.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{H1} = 2,2$ кВт; $P_{H2} = P_{H3} = 5,5$ кВт; $P_{H4} = 3$ кВт.

3 Разработка системы автоматизации паровой котельной установки

Исходным сырьем парового котла (рисунок Б.3) служат топливо, дутьевой воздух и питательная вода [4, с. 512]. Полученная при сжигании топлива энергия передается питательной воде, в результате чего вырабатывается перегретый пар. Отходы – охлажденные дымовые газы – выбрасываются в атмосферу.

Топливо, как правило, мазут, поступает в смеси с воздухом через горелочное устройство в топку и горит в виде факела. Воздух нагнетается с помощью дутьевого вентилятора. Продукты горения – раскаленные дымовые газы, проходя через дымоходы, отдают тепло различным поверхностям теплопередачи и выбрасываются дымососом в дымовую трубу. Питательная вода, нагретая в водяном экономайзере, предварительно очищенная от накипеобразующих примесей и растворенного в ней воздуха, подается в барабан, вмурованный в топку котла. Вода испаряется в трубах, экранирующих топку изнутри. Насыщенный пар собирается в барабане над поверхностью воды и поступает в пароперегреватель, предназначенный для испарения брызг воды, содержащихся в насыщенном паре, и доведения его температуры до заданного значения.

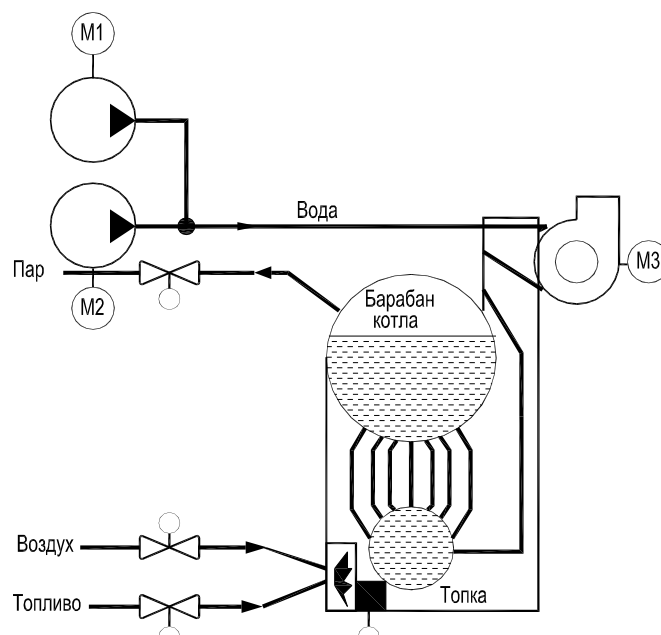


Рисунок Б.3 – Оборудование пароводогрейного котла

Пуск котла осуществляется переключателем, при обеспечении предварительного залива в котел воды и нормальных показаний давления воздуха, пара, разрежения в топке. При этом подается сигнал на открытие клапанов запальников и включение запального устройства. При благополучном загорании пламени, что требуется просигнализировать, должна быть открыта подача газа (вручную), которая удерживается электромагнитным клапаном-отсекателем, и с выдержкой времени отключаются клапаны запальников и запальное устройство. Если по каким-то причинам загорания пламени не произошло в течение определенного времени, следует включить аварийную сигнализацию и обесточить устройства зажигания.

В нормальном режиме работы безопасная работа котла обеспечивается датчиками, которые фиксируют основные технологические параметры. Автоматика безопасности должна действовать следующим образом. При нарушении, например, уровня в барабане котла, должны включаться световая сигнализация аварии и отключаться питание котла с выдержкой времени. В случае нарушения важных показателей отключение питания котла должно обеспечиваться сразу.

Требования к СА: должна обеспечивать безаварийный пуск котла, поддержание регулирующих параметров в процессе работы котла, аварийную сигнализацию. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы котла.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{H1} = P_{H2} = 3$ кВт; $P_{H3} = 1,5$ кВт.

4 Разработка системы автоматизации водогрейной котельной установки

При работе котла (рисунок Б.4) в водогрейном режиме основной регулируемый параметр – температура воды на выходе [45, с. 122]. Он поддерживается за счет изменения интенсивности процесса горения. Однако при изменении подачи топлива должна меняться подача воздуха в топку, а также должно поддерживаться разрежение в топке за счет включения дымососа.

Требования к СА: должна обеспечивать безаварийный пуск котла, поддержание регулирующих параметров в процессе работы котла, аварийную сигнализацию. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы котла.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{H1} = P_{H2} = 1,1$ кВт; $P_{H3} = 1,5$ кВт; $P_{H4} = 0,7$ кВт.

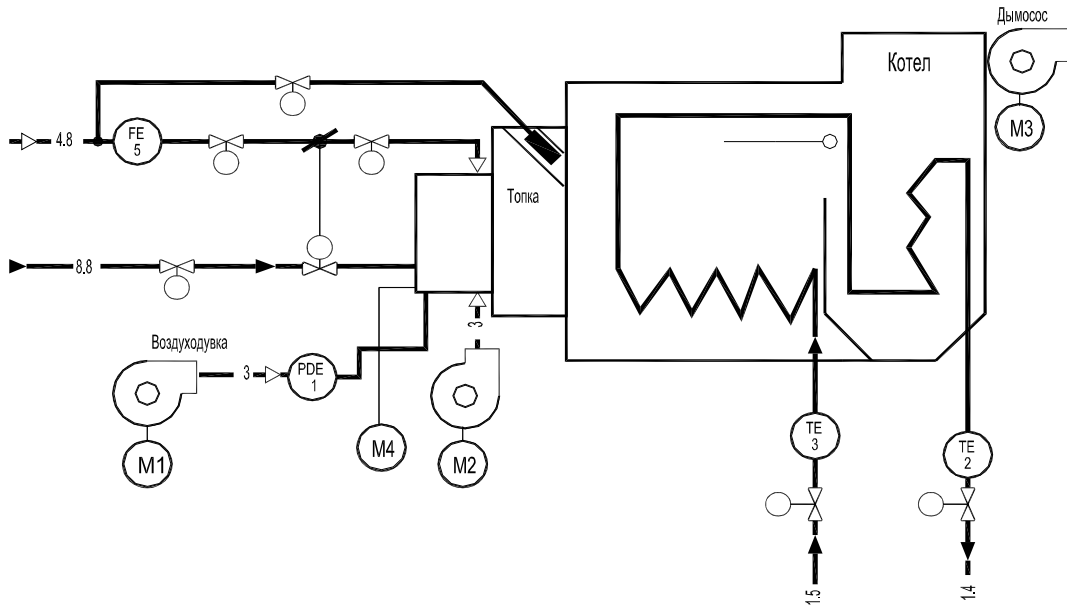


Рисунок Б.4 – Оборудование водогрейного котла

5 Разработка системы автоматизации универсального инкубатора

Универсальный инкубатор (рисунок Б.5) представляет собой климатический шкаф размерами 5280×2730×2230 мм с теплоизоляционными стенками, имеющий два вентиляционных отверстия (приточное – на задней стенке и вытяжное – в потолке передней части с регулирующей заслонкой Ø100 мм) [5, с. 298].

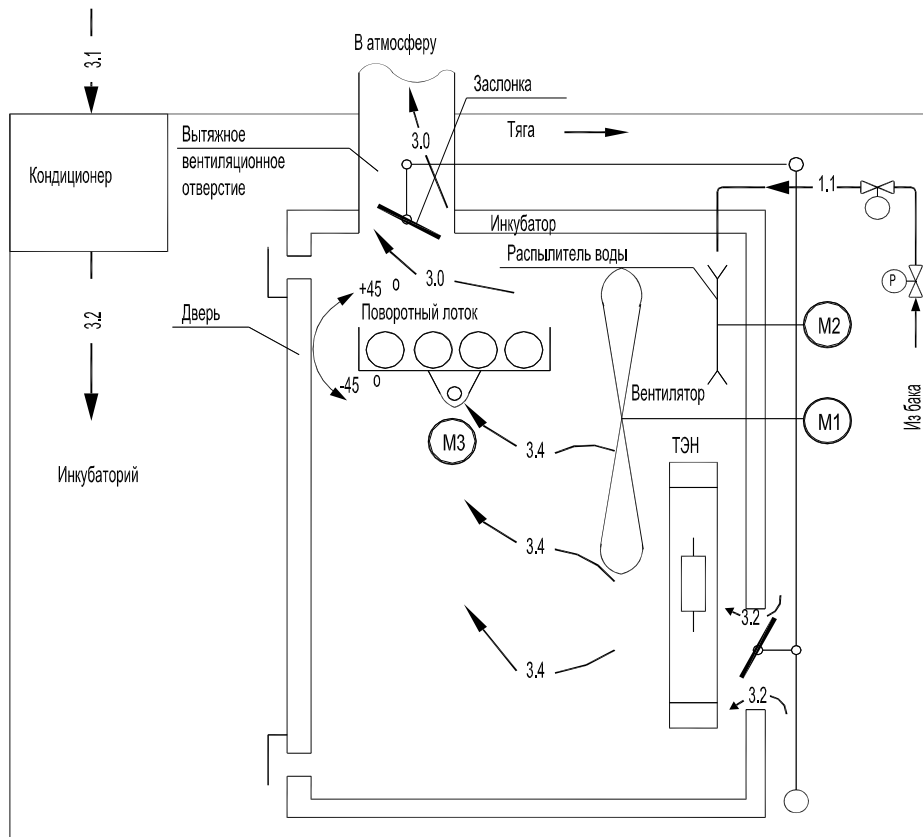


Рисунок Б.5 – Оборудование универсального инкубатора

Шкаф оборудован вентилятором, обеспечивающим равномерное перемешивание воздуха и равномерность температурно-влажностных полей, а также засасывание свежего воздуха в камеру через приточное отверстие и выброс загрязненного воздуха. Для поддержания требуемых параметров микроклимата в инкубаторе предусмотрены системы обогрева и увлажнения. В систему обогрева входят электронагревательные элементы мощностью 20 кВт. Для увлажнения и одновременно охлаждения воздуха на лопасти вентилятора разбрызгивают воду.

Вентилятор включен постоянно в процессе инкубации птицы. При открытых дверях вентилятор и нагревательные элементы отключаются конечным выключателем.

Поворот лотков осуществляется общим механизмом на три шкафа, приводимым в движение реверсивным электроприводом.

Требования к СА: должна обеспечивать требуемый температурно-влажностный режим в инкубационном шкафу, поворот лотков каждый час, аварийную сигнализацию. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы инкубатора.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{Н1} = 3$ кВт; $P_{Н2} = 1,1$ кВт; $P_{Н3} = 1,5$ кВт.

6 Разработка системы автоматизации холодильной машины с поршневым компрессором

Холодопроизводительность регулируется включением и отключением ЭД компрессора (рисунок Б.6).

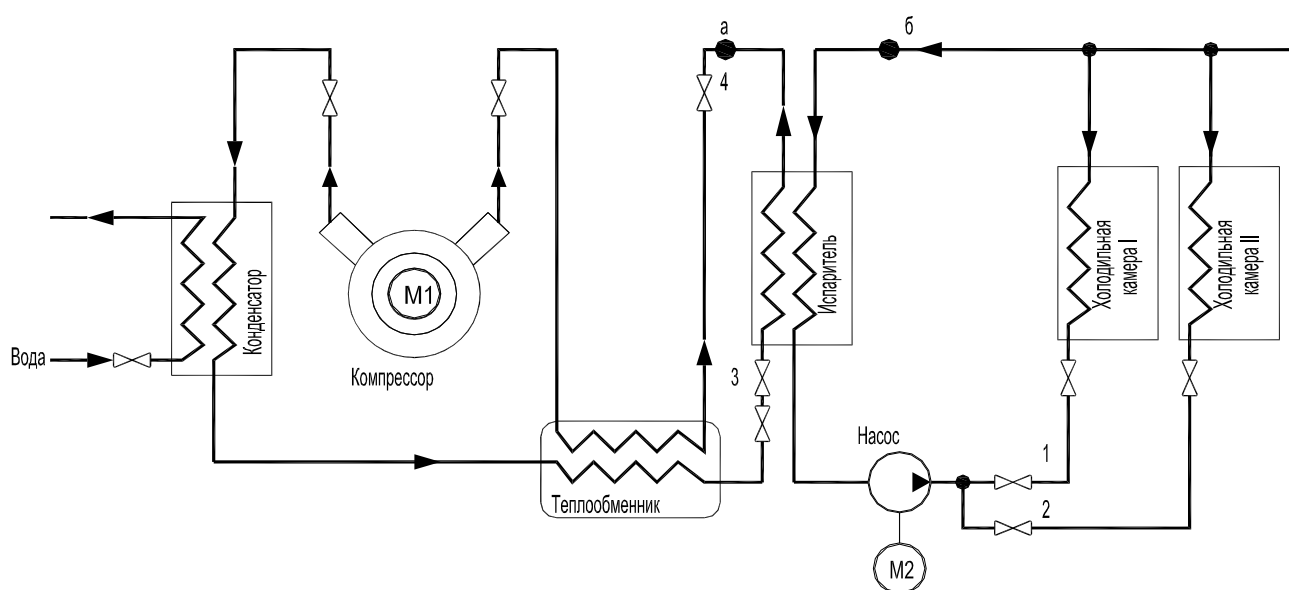


Рисунок Б.6 – Технологическая схема холодильной машины

При повышении температуры в камерах соленоидные вентили 1 и 2 открываются, при понижении – закрываются. Соленоидный вентиль 3 служит для предотвращения перетекания жидкого хладагента из конденсатора в испаритель. Он должен закрываться при остановке компрессора и открываться при его пуске. При низкой температуре в обеих камерах отключаются компрессор и насос. Кроме того, компрессор должен отключаться, когда соответствующие параметры превышают предельно допустимые значения на линии всасывания и перепад давлений в маслосистеме становится меньше допустимого (при этом требуется обеспечить автоматическую сигнализацию). Однако при пуске компрессора в течение первых 50 с данная защита должна быть отключена. Уровень заполнения холодильных систем испарителя поддерживается по перепаду температур в точках *a* и *б* терморегулирующим вентилем 4.

СА должна обеспечивать: поддержание заданной температуры в обеих камерах, аварийную и технологическую сигнализацию. Также необходимо предусмотреть визуализацию процесса.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{H1} = 15$ кВт; $P_{H1} = P_{H2} = 7,5$ кВт.

7 Разработка системы автоматизации микроклимата картофелехранилища насыпного типа

Различают лечебный, период охлаждения и основной период хранения картофеля [5, с. 272]. В лечебный необходимо поддерживать температуру около 15 °С при включенном основном вентиляторе и закрытом клапане (рисунок Б.7). В период охлаждения необходимо обеспечить постепенное снижение температуры до 2 °С–4 °С за счет продувания наружным воздухом, когда его температура ниже, чем температура внутри картофелехранилища.

В основной период хранения приточный вентилятор (*MI*) включается 4 раза в сутки для снятия перепадов температуры в массе продукта. При этом сигнал на включение *MI* подается, если температура наружного воздуха меньше температуры в массе продукта на 2 °С–3 °С, и если температура в массе за временной цикл работы *MI* не снижается, то *MI* продолжает работать. Однако при этом должна быть предусмотрена защита от замораживания (*MI* не должен включаться при отрицательной температуре воздуха в воздухораспределительном канале). Температурой воздуха в воздухораспределительном канале управляет исполнительный

механизм смесительного клапана, смешивающего наружный и внутренний воздух. При отключении $M1$ клапан должен закрываться.

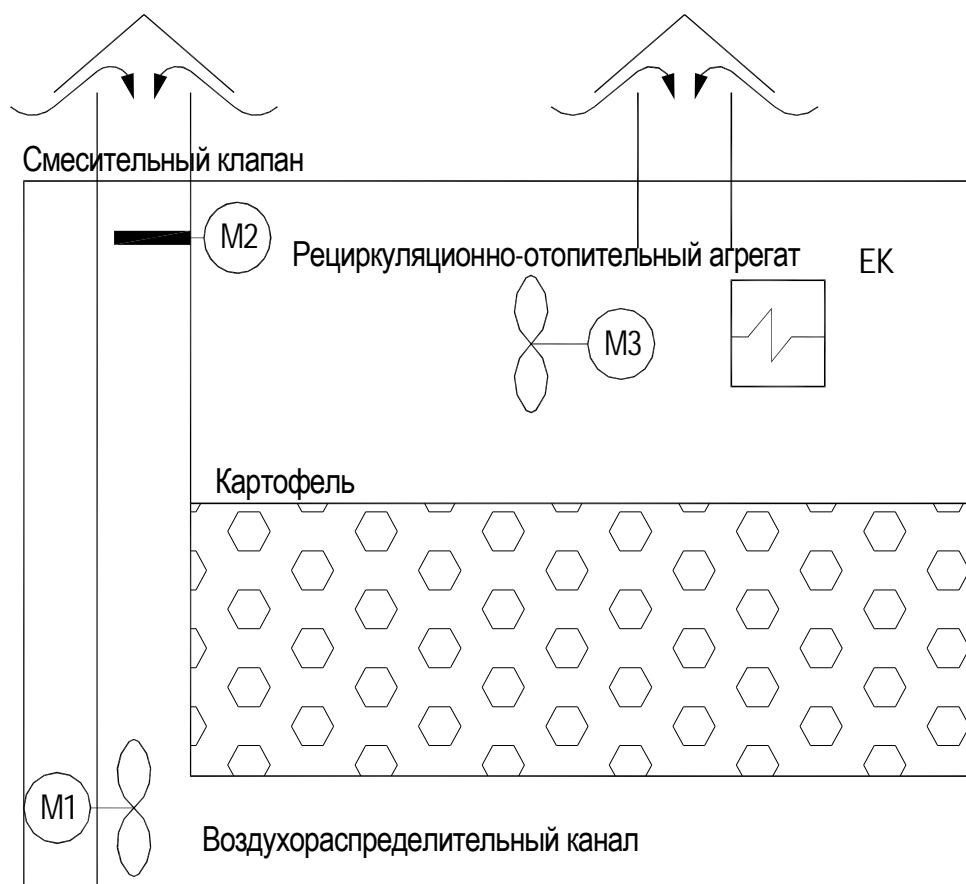


Рисунок Б.7 – Технологическая схема картофелехранилища

Когда температура в верхней части хранилища над продуктом оказывается ниже заданной, должен включаться рециркуляционно-отопительный агрегат, но при отключенном приточном вентиляторе.

СА должна обеспечивать необходимые режимы хранения. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{H1} = 15 \text{ кВт}$; $P_{H1} = P_{H2} = 1,1 \text{ кВт}$; $P_{H3} = 2,2 \text{ кВт}$.

8 Разработка системы автоматизации ангарной теплицы (управление температурным режимом)

Управление температурой воздуха в теплице [5, с. 265] осуществляется при помощи двух групп водяных калориферов КВ1 и КВ2, коньковой и боковой систем форточек (рисунок Б.8).

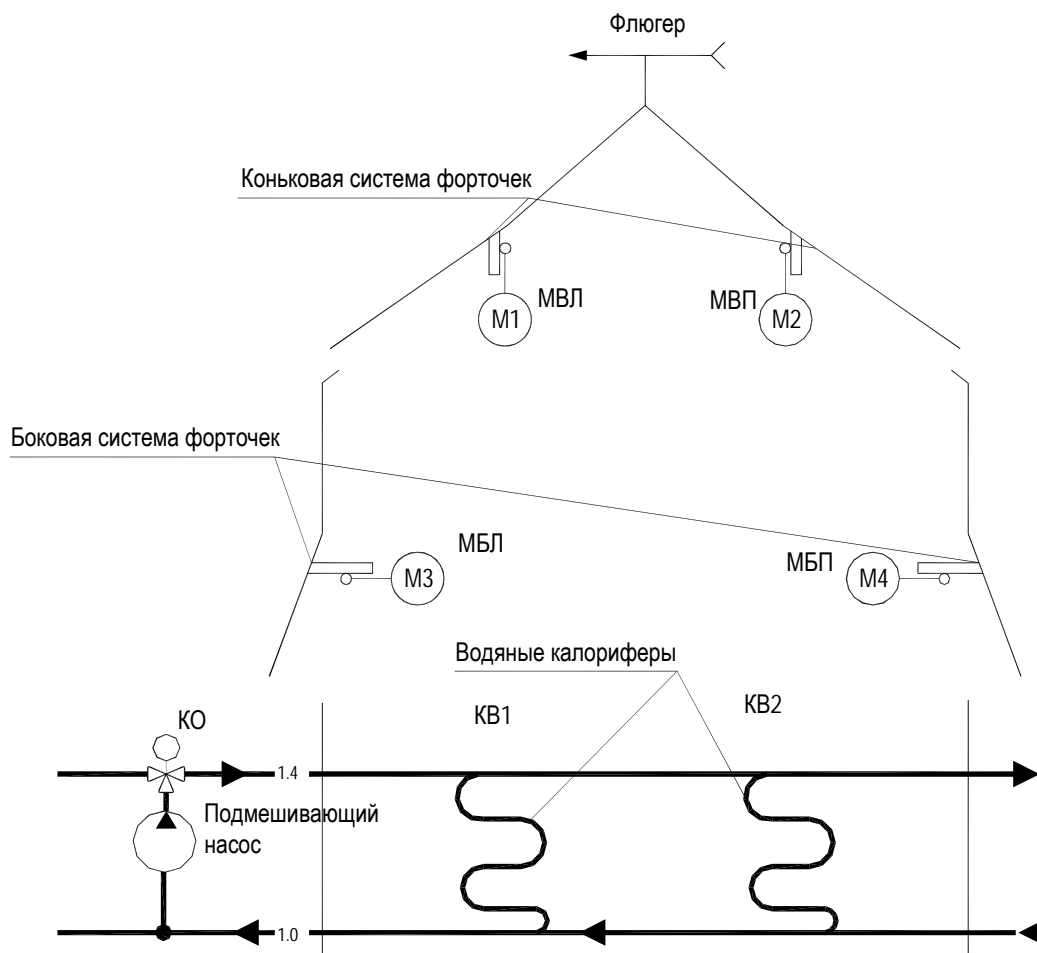


Рисунок Б.8 – Технологическая схема ангарной теплицы

Греющая вода из котельной подается в теплицу через клапан отопления (КО). Открытие и закрытие верхней и боковой форточек вентиляции осуществляются при помощи исполнительных механизмов верхней левой (МВЛ) и правой (МВП), а также боковых левой (МБЛ) и правой (МБП) систем вентиляции. При отклонении температуры от заданной на $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ клапан отопления открывается «шагами», на $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ – должна включаться аварийная сигнализация, $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ – открывается правая верхняя форточка, $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ – левая верхняя, $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ – правая боковая, $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – левая боковая, $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ – должна включаться аварийная сигнализация. Подмешивающий насос работает пока открыт клапан КО. Положение фрамуг ограничивают конечные выключатели. На заданное значение температуры влияет также величина освещенности.

СА должна обеспечивать необходимый температурный режим в теплице. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{Н1} = P_{Н2} = P_{Н3} = P_{Н4} = 1,1\text{ кВт}$; электродвигателя насоса – $7,5\text{ кВт}$.

9 Разработка системы автоматизации процесса полива в блоке ангарных теплиц

Полив дождеванием получил наибольшее распространение в теплицах промышленного типа [5, с. 267].

Система полива дождеванием (рисунок Б.9) состоит из насоса, водонагревателя-бойлера, магистрального водопровода, электромагнитных клапанов (ИМ1–ИМn) и трубопроводов оросителей. Из магистрального трубопровода вода поступает в тепличные секции через электромагнитные клапаны и разомкнутую гребенку из полихлорвинила, расположенную в верхней части теплицы. В конце оросителя находится сливной клапан, устраняющий утечку воды из форсунок до установления рабочего давления и после прекращения подачи воды.

В теплицах не поливают одновременно всю площадь. Сеть трубопроводов позволяют производить полив последовательно по группам секций.

Это дает возможность рационально использовать источник водоснабжения и не применять мощные насосы. Применяется многократный полив, что способствует рациональному распределению поливной нормы, увлажнению почвы без потерь поливной воды и меньшему уплотнению грунта.

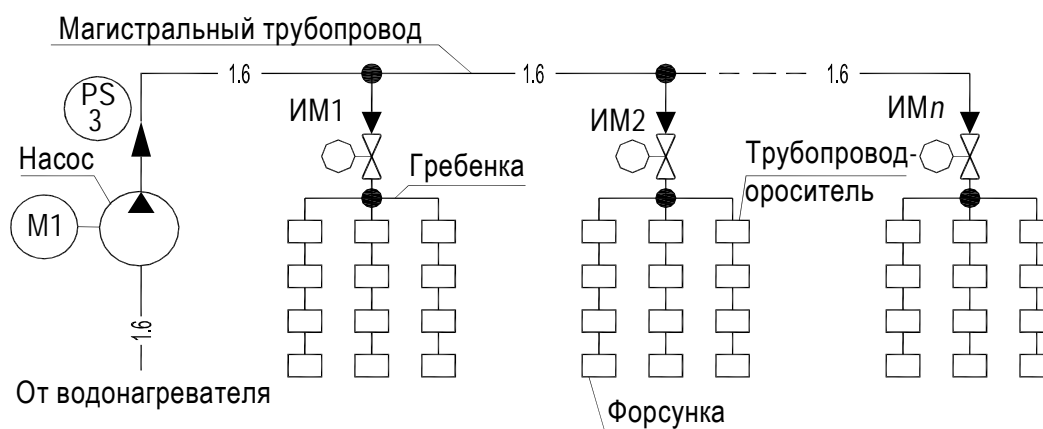


Рисунок Б.9 – Система полива дождеванием

СА должна обеспечивать поочередный полив в каждой секции теплицы 4–5 раз в сутки в расчете на определенное время работы. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

Для расчета принять мощность двигателя: $P_{н1} = 1,5$ кВт.

10 Разработка системы автоматизации процесса приготовления раствора минеральных удобрений

Концентрированный раствор минеральных удобрений готовят в специальном растворном баке Б1 с мешалками [5, с. 269], откуда повысительными насосами М2 и М3 подают его через регулирующий клапан в поливную воду (рисунок Б.10).

Концентрацию удобрений в поливной воде измеряют датчиком $QE(13a)$ кондуктометрического типа (по электропроводности раствора). Он имеет встроенный терморезистор, предназначенный для компенсации температурной погрешности. Датчик устанавливают в трубопровод за участком смешения концентрированного раствора и поливной воды. Его присоединяют через анализатор удобрений к регулирующему прибору $QC(13б)$, который настраивают на двухпозиционное управление исполнительным механизмом ИМ1. Если концентрация минеральных удобрений в поливной воде больше заданной, то регулятор 13б через реле $KV1$ включает ИМ1 на уменьшение пропуска клапаном концентрированного раствора и, наоборот, если концентрация меньше заданной, то через реле $KV2$ включает ИМ1 на увеличение пропуска раствора. Для улучшения качества двухпозиционного регулирования используется импульсный прерыватель, состоящий из реле $KV3$ и блока БД генератора импульсов с периодом 20 с. Включение ИМ1 возможно только в случае одновременно замкнутых контактов $KV3$ и $KV1$ или $KV3$ и $KV2$.

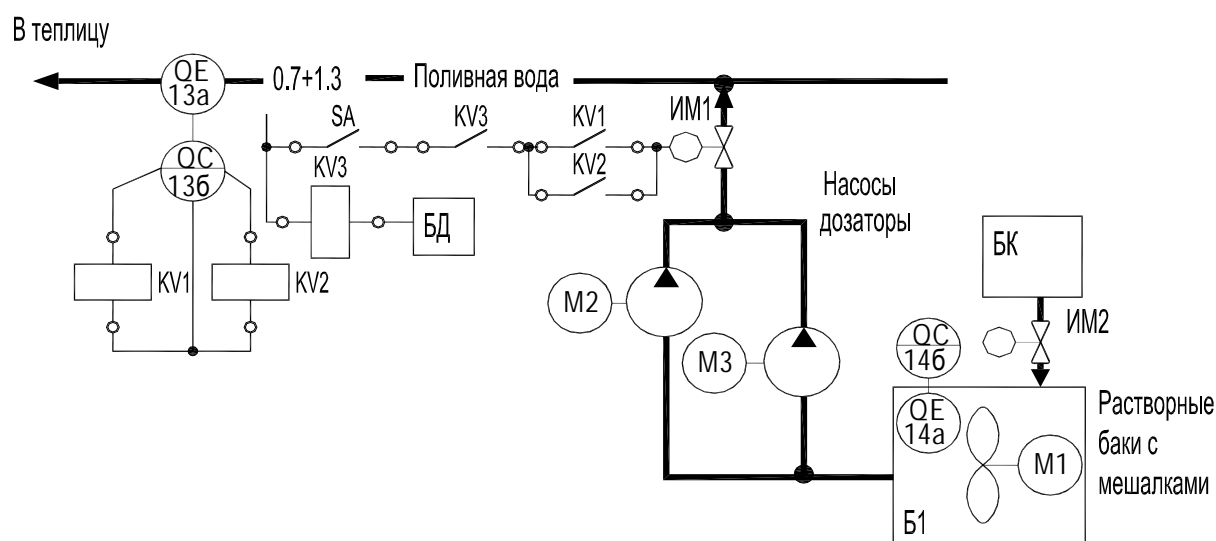


Рисунок Б.10 – Схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений

Одной из основных характеристик растворов минеральных удобрений является показатель величины рН (при $pH < 7$ реакцию считают кислой, при $pH > 7$ – щелочной). Для большинства растений оптимальное значение рН находится в пределах от 5 до 7 единиц рН. В процессе роста растений рН тепличной почвы изменяется, поэтому необходимо управлять значением рН питательного раствора. Значение рН определяют методами физико-химического анализа. Из экспрессных методов наиболее подходит электрометрический метод измерения, принцип действия которого основан на определении электродных потенциалов на электродах, помещенных в исследуемый раствор. Такой электродный датчик измеряет концентрацию водородных ионов рН в растворе и выдает на выходе сигнал в виде гальванического напряжения.

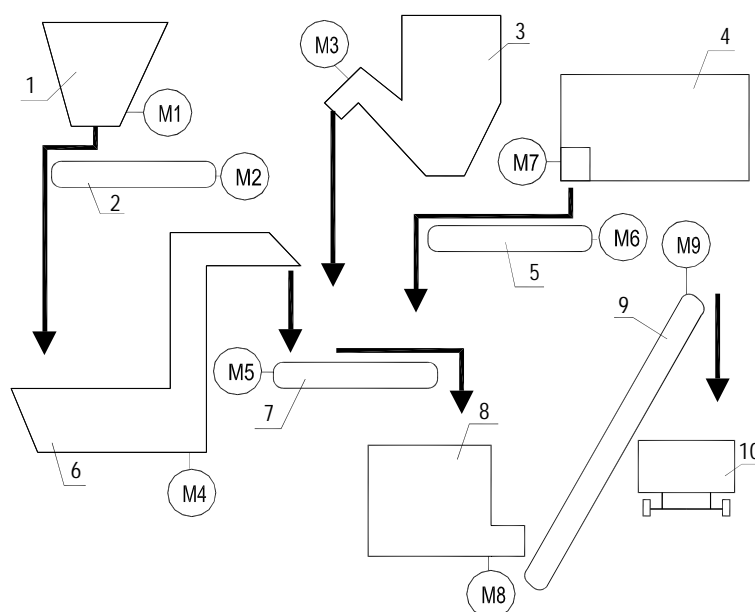
Датчик 14а измеряет рН с точностью до 0,1 рН и передает сигнал на регулятор 14б, управляющий исполнительным механизмом ИМ2, который изменяет степень открытия регулирующего клапана. Это приводит к изменению подачи из бака БК специального раствора, корректирующего значение рН раствора удобрений в растворном баке Б1. Мешалка с электродвигателем М1 обеспечивает выравнивание концентрации минеральных удобрений по всему объему раствора.

СА должна обеспечивать приготовление раствора необходимой концентрации в заданное время. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{Н1} = 0,75$ кВт; $P_{Н2} = P_{Н3} = 1,1$ кВт.

11 Разработка системы автоматизации линии приготовления кормосмеси для ферм КРС в кормоцеху

Цех предназначен для приготовления кормовых смесей для крупных ферм КРС [46, с. 251]. Когда кормораздатчик находится под выгрузным транспортером 9 (рисунок Б.11) и в накопителях имеется корм, а в водопроводе – вода, оператор вручную запускает технологическую линию приготовления кормов, при этом сначала подается предупредительная сигнализация, а затем в последовательности обратной движению материала запускаются агрегаты технологической линии. После заполнения кормораздатчика кормом до необходимой нормы все промежуточные транспортеры и измельчитель-смеситель освобождаются от корма, и линия останавливается.



- 1 – накопитель корнеклубнеплодов; 2, 5 – перегрузочные транспортеры;
 3 – питатель комбикорма; 4 – питатель грубых кормов;
 6 – мойка корнеклубнеплодов; 7 – сборный транспортер;
 8 – измельчитель-смеситель кормов; 9 – выгрузной транспортер;
 10 – мобильный кормораздатчик

Рисунок Б.11 – Технологическая линия приготовления кормосмесей для ферм КРС

СА должна обеспечить: работу линии в автоматическом, наладочных режимах, технологическую сигнализацию о работе оборудования; защиту от повторного включения после кратковременного прекращения подачи энергии.

При выборе пускозащитной аппаратуры и разработке щитов управления принять следующие мощности электроприводов: $P_{Н1} = P_{Н2} = P_{Н6} = 1,7$ кВт; $P_{Н3} = 0,7$ кВт; $P_{Н4} = 3,0$ кВт; $P_{Н5} = 2,8$ кВт; $P_{Н7} = 4,5$ кВт; $P_{Н8} = 60$ кВт; $P_{Н9} = 1,1$ кВт.

12 Разработка системы автоматизации линии раздачи кормосмеси в свинарнике

Линия раздачи кормосмеси в свинарнике (рисунок Б.12) состоит из мобильного кормораздатчика и питателей-дозаторов мятого картофеля, обраты и комбикормов [46, с. 310].

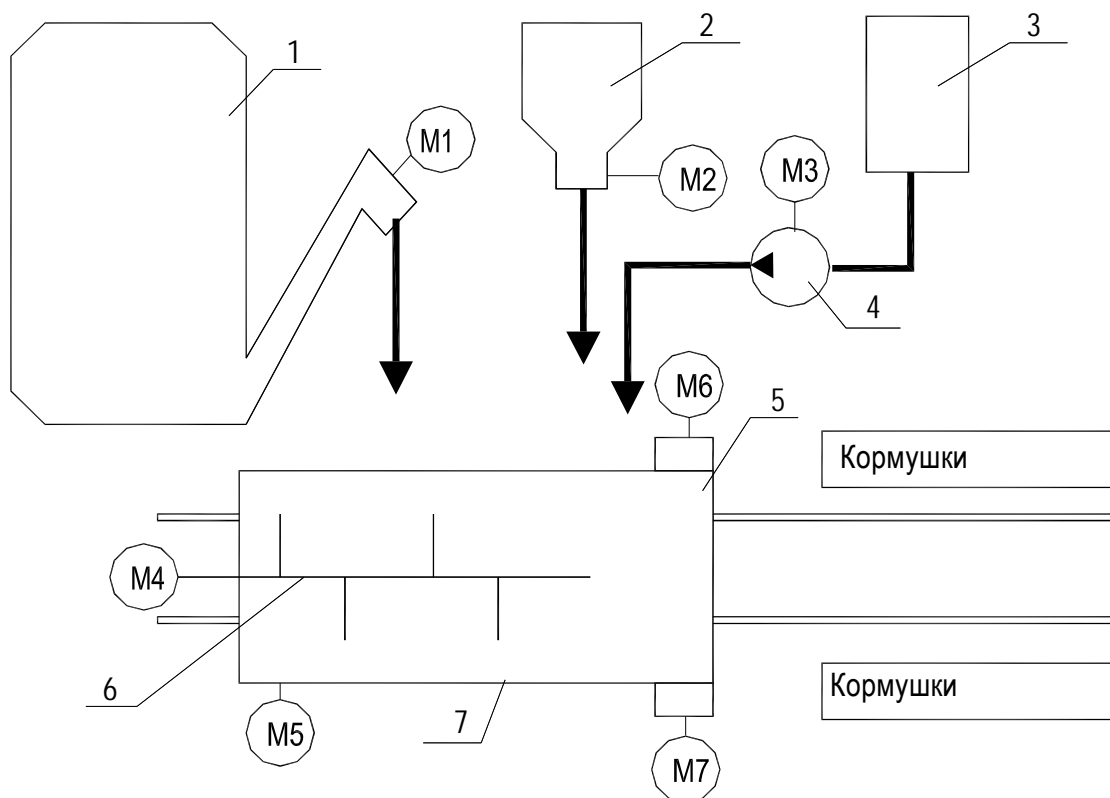
Если кормораздатчик-смеситель находится в исходном положении под питателями кормов, и в дозаторах-питателях имеется корм минимум на одну дачу, кратковременным срабатыванием контактов суточного реле времени включается линия загрузки, и кормораздатчик загружается кормом, после чего кормораздатчик перемещается к кормушкам, и происходит раздача кормосмеси.

После завершения раздачи кормораздатчик возвращается в исходное положение.

Включается привод смесителя, и происходит одновременная загрузка кормораздатчика-смесителя кормами. После завершения загрузки кормами кормораздатчик перемещается к началу кормушек, и если процесс смешивания завершен, при движении вдоль кормушек производится раздача корма. Если процесс смешивания незавершен, кормораздатчик останавливается до его завершения, а затем происходит раздача. В конце кормушек кормораздатчик останавливается, и с выдержкой времени, необходимой для выгрузки остатков корма и снятия инерционности от прямого движения раздатчика, включается реверс привода М5, и кормораздатчик возвращается в исходное положение. При раздаче корм выгружается в оба ряда кормушек.

СА должна обеспечить: работу системы в автоматическом и наладочном режимах и технологическую сигнализацию о ходе процесса.

При отсутствии компонентов корма в накопителях подается аварийная световая сигнализация.



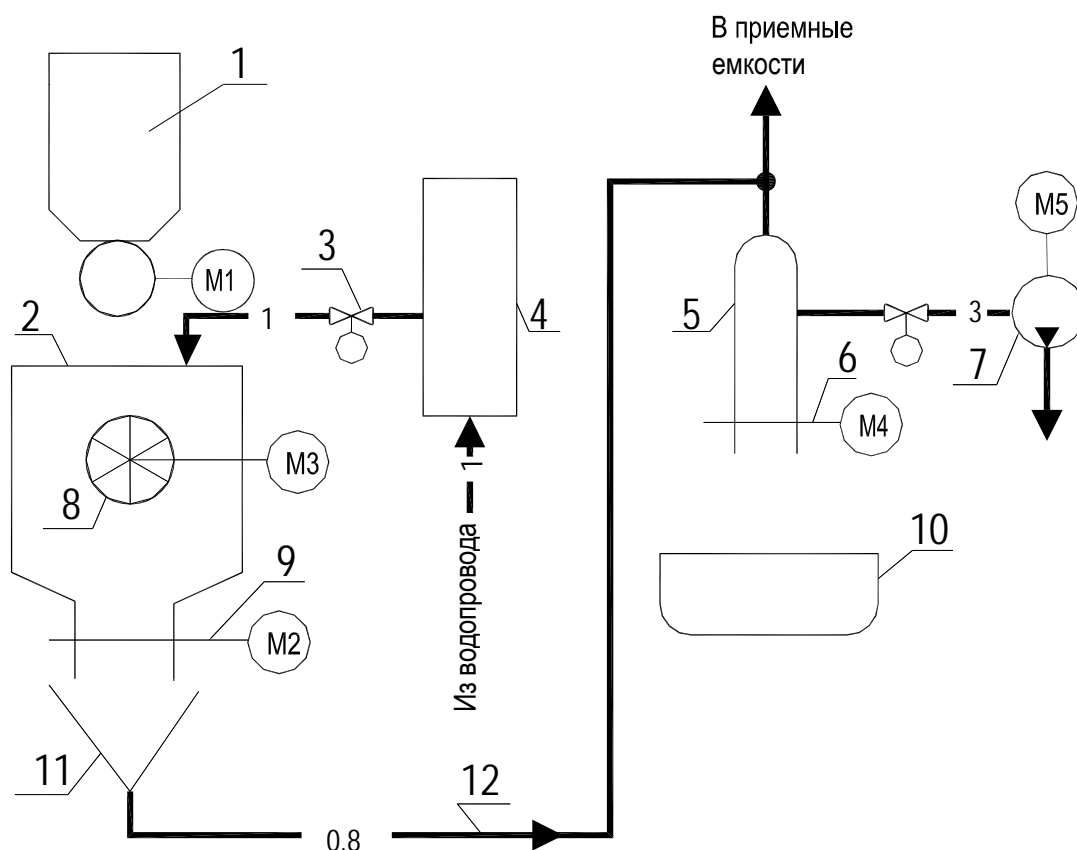
1 – запарник-питатель; 2 – дозатор-питатель концентрированных кормов;
 3 – емкость для обраты; 4 – насос; 5 – выгрузное устройство; 6 – мешалка; 7 – насос;
 М5 – привод кормораздатчика (кормораздатчик на рисунке показан в плане)

Рисунок Б.12 – Технологическая схема раздачи корма в свиарнике

При выборе пускозащитной аппаратуры и разработке щитов управления принять следующие мощности электроприводов: $P_{Н1} = 1,7$ кВт; $P_{Н2} = P_{Н3} = 0,7$ кВт; $P_{Н4} = 2,8$ кВт; $P_{Н5} = P_{Н6} = P_{Н7} = 1,1$ кВт.

13 Разработка системы автоматизации линии приготовления и раздачи жидких кормов в свиарнике с использованием вакуумных дозаторов

Запускается линия в работу по времени кормления [4, с. 455]. Если в питателе 1 имеется комбикорм (рисунок Б.13), а в проточном водонагревателе 4 нагретая до 80 °С вода, открывается клапан 3, и питатель-смеситель 2 заполняется до нормы водой. Затем при включенной мешалке 8 питатель дозагружается комбикормом. После завершения процесса смешивания открывается шиберная заслонка 9, и происходит выгрузка перезагрузка жидких кормов в приемный бункер 11. После его заполнения подается вакуум в вакуумный приемник 5 до заполнения его до нормы (по весу). После заполнения вакуумного приемника кормом шиберная заслонка открывается, и жидкий корм выгружается в кормушку 10.



- 1 – питатель концкормов; 2 – питатель-смеситель жидких кормов; 3 – клапан;
 4 – водонагреватель; 5 – вакуумный приемник жидких кормов; 6, 9 – шиберная заслонка;
 7 – вакуумный насос; 8 – мешалка; 10 – групповые кормушки; 11 – приемная емкость;
 12 – кормопровод

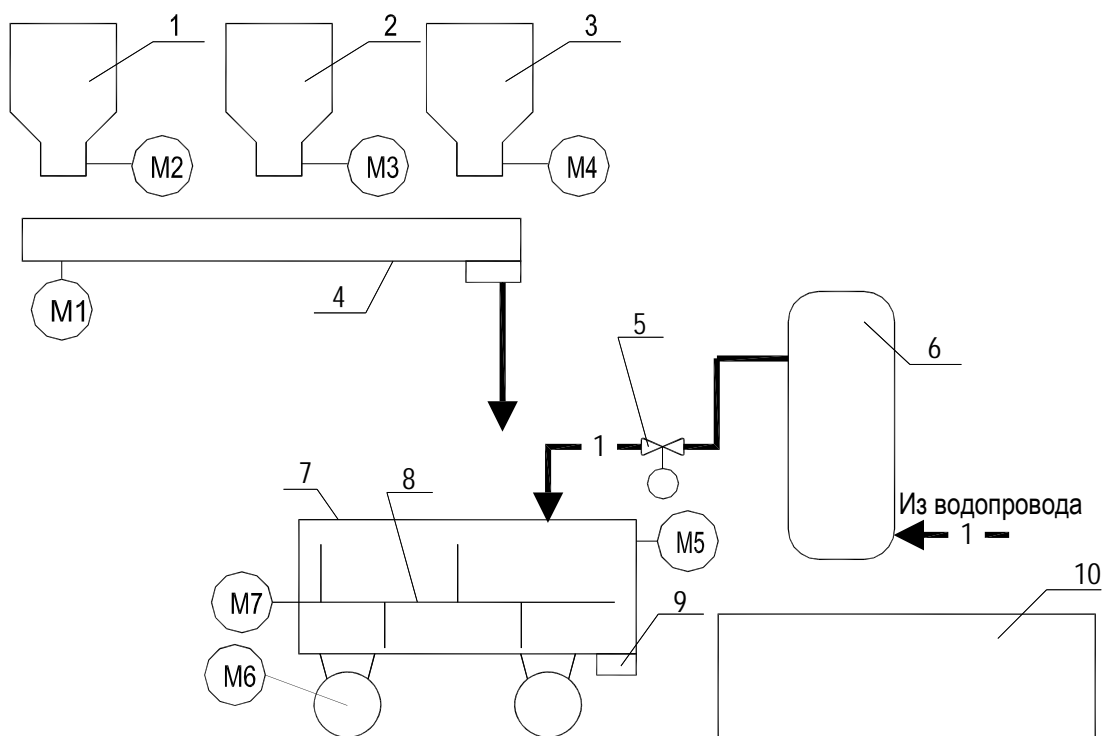
Рисунок Б.13 – Линия приготовления и раздачи жидких кормов

СА должна обеспечить: работу линии в автоматическом и наладочном режимах, сигнализацию о ходе технологического процесса.

При выборе пускозащитной аппаратуры и разработке щита управления принять следующие мощности электродвигателей: $P_{Н1} = P_{Н2}$; $P_{Н4} = 0,7$ кВт; $P_{Н3} = 4,5$ кВт; $P_{Н5} = 2,8$ кВт.

14 Разработка системы автоматизации линии приготовления и раздачи жидких кормов мобильным кормораздатчиком

Линия приготовления и раздачи жидких кормов включается по времени кормления [46, с. 305]. При наличии разовой загрузки компонентов в бункерах 1, 2 и 3 (рисунок Б.14) и горячей воды (90 °С) в водонагревателе 6, открывается клапан 5, и заполняется необходимое (по весу) количество воды в смеситель 7. После чего запускается линия смешивания и подачи концкормов при включенном приводе мешалки смесителя.



1, 2, 3 – дозаторы компонентов комбикорма; 4 – шнековый транспортер-смеситель; 5 – клапан; 6 – проточный водонагреватель; 7 – мобильный смеситель-кормораздатчик; 8 – мешалка; 9 – выгрузное устройство; 10 – групповые кормушки

Рисунок Б.14 – Линия приготовления и раздачи жидких кормов мобильным кормораздатчиком

После заполнения смесителя до необходимой нормы, линия подачи корма отключается. После завершения процесса смешивания и остывания приготовленного корма до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ включается привод кормораздатчика, корм начинает перемещаться к кормушкам. После раздачи всего корма в кормушки и кратковременной остановки, кормораздатчик возвращается в исходное положение.

СА должна обеспечить: работу линии в автоматическом и наладочном режимах, сигнализацию о ходе процесса и аварийном режиме.

При выборе пускозащитной аппаратуры и разработке щитов управления принять следующие мощности электродвигателей: $P_{H1} = 1,7\text{ кВт}$; $P_{H2} = P_{H3} = P_{H4} = 0,7\text{ кВт}$; $P_{H5} = P_{H6} = 1,1\text{ кВт}$; $P_{H7} = 4,5\text{ кВт}$.

15 Разработка системы автоматизации линии перекачки воды

Насосные станции в мелиорации отличаются высокой подачей и большой мощностью [5, с. 356]. Насосные агрегаты устанавливаются на уровне воды.

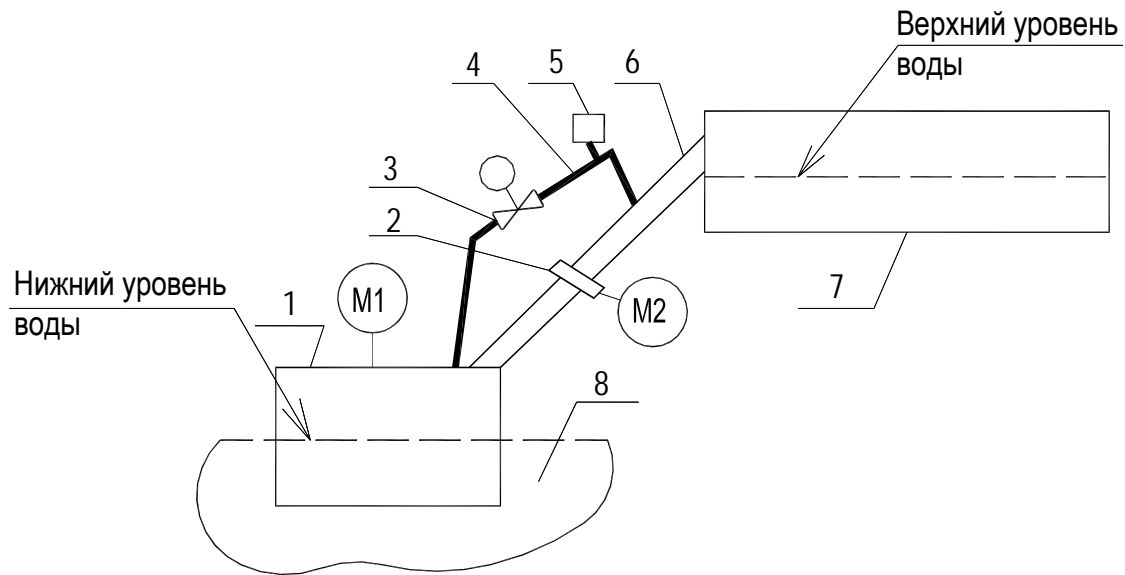
Пуск насоса возможен при предварительной заливке его водой из бака аккумулятора (рисунок Б.15).

Для облегчения пуска электродвигателя на напорных трубопроводах ставят электрофицированные задвижки. Насос запускается при закрытой задвижке, тогда

момент сопротивления воды минимальный. Задвижка открывается автоматически после разгона агрегата и установления заданного давления и так же автоматически закрывается при отключении электронасоса.

Пуск системы осуществляется автоматически при снижении верхнего уровня воды в водоприемном сооружении ниже допустимого. Если после запуска системы и открытия задвижки вода не поступает в водоприемное сооружение, задвижка автоматически закрывается, и подается аварийная сигнализация. Остановка насосного агрегата производится автоматически после заполнения водоприемного сооружения водой.

СА должна обеспечить: работу системы в автоматическом и ручном режимах и технологическую сигнализацию о работе системы.



- 1 – насосный агрегат; 2 – задвижка; 3 – перепускной клапан; 4 – перепускной трубопровод;
5 – бак-аккумулятор; 6 – напорный трубопровод; 7 – водоприемное сооружение;
8 – водохранилище

Рисунок Б.15 – Технологическая схема перекачки воды

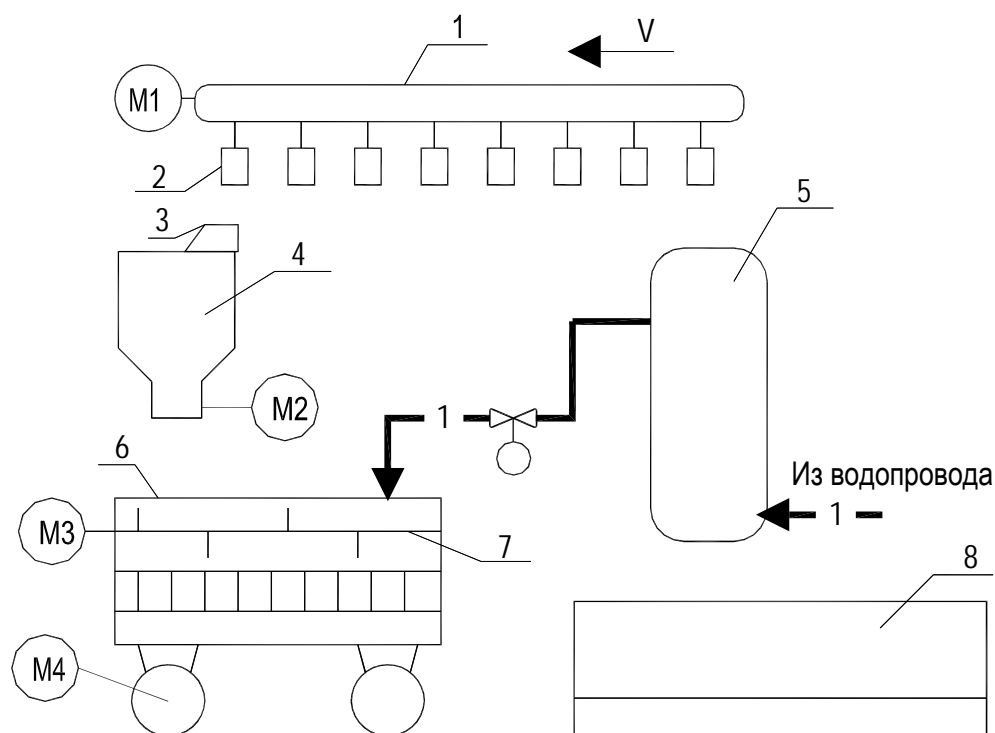
При выборе пускозащитной аппаратуры и разработке щита управления принять следующие мощности электродвигателей: $P_{н1} = 30$ кВт; $P_{н2} = 1,1$ кВт.

16 Разработка системы автоматизации линии приготовления заменителя молока

С целью экономии цельного молока телятам скармливают его заменитель [47]. Заменитель приготавливают из порошка заменителя молока, смешивая его с теплой водой. Приготавливают заменитель молока в кормоприготовительном помещении, в котором находятся накопитель-питатель заменителя молока и проточный

водонагреватель. Загрузка накопителя заменителем молока осуществляется с помощью конвейера 1 (рисунок Б.16). Мешки с заменителем молока 2 закрепляются на конвейере в складском помещении.

Пуск линии в работу осуществляет кратковременное срабатывание контактов суточного реле времени. Если кормораздатчик находится под накопителем 4, в накопителе имеется порошок заменителя молока, в водонагревателе имеется вода, нагретая до 80 °С, в выпоечную машину заливается норма воды, а затем включается мешалка и досыпается до полной нормы заменитель молока.



- 1 – конвейер; 2 – мешки с заменителем молока; 3 – резак; 4 – накопитель-питатель заменителя молока; 5 – проточный водонагреватель; 6 – выпоечная машина; 7 – мешалка; 8 – место выпойки заменителя молока

Рисунок Б.16 – Линия приготовления и раздачи заменителя молока телятам

После завершения процесса смешивания и остывания смеси до 40 °С выпоечная машина перемещается к месту выпойки и останавливается. После выпойки всего заменителя молока телятами выпоечная машина возвращается в исходное положение. Накопитель загружается порошком заменителя молока автоматически. Конвейер перемещает мешки в направлении, указанном стрелкой. Мешки разрезаются резак 3, и порошок заменителя молока высыпается в бункер накопителя-питателя.

СА должна обеспечить: работу линии в автоматическом и наладочном режимах, сигнализацию о ходе процесса и о незавершенности процесса. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

При выборе пускозащитной аппаратуры и разработке щита управления принять следующие мощности электроприводов: $P_{Н1} = P_{Н4} = 1,1$ кВт; $P_{Н2} = 0,7$ кВт; $P_{Н3} = 2,8$ кВт.

17 Разработка системы автоматизации линии приготовления и раздачи корма на свинокомплексе

Линия работает в двух режимах: кормораздачи и промывки [4, с. 455]. В режиме кормораздачи (для которого ведется разработка системы автоматического управления) линия должна работать следующим образом (рисунок Б.17).

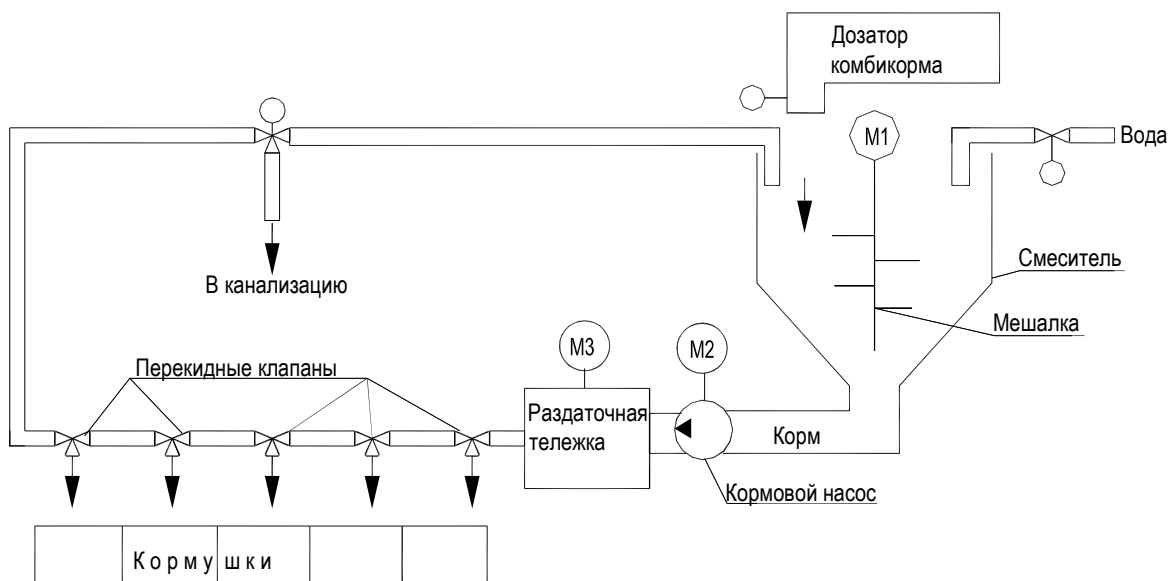


Рисунок Б.17 – Технологическая схема линии приготовления и раздачи корма на свинокомплексе

Сперва в смесителе идет приготовление смеси корма по сигналу от суточного реле времени. Для этого в смеситель заливается определенная доза питательной жидкости, после чего при включенной мешалке засыпается доза комбикорма и мешалка перемешивает смесь еще дополнительное время. После окончания смешивания корма включается движение раздаточной тележки, которая перемещается из исходного положения к первому перекидному клапану первой кормушки, где открывает клапан и останавливается. При этом срабатывает насос и выгружает дозу корма в первую кормушку (доза измеряется расходомером). После выгрузки дозы насос отключается и раздаточная тележка движется далее. Процесс загрузки кормушек повторяется. Когда обеспечена загрузка последней кормушки, следует обеспечить движение тележки в исходное положение и включение звуковой сигнализации завершения работы линии в режиме кормораздачи.

Необходимо предусмотреть необходимую сигнализацию, возможность управления ЭД в ручном режиме и разделение режимов работы.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{Н1} = 15$ кВт; $P_{Н2} = 2,2$ кВт; $P_{Н3} = 7,5$ кВт.

18 Разработка системы автоматизации линии сквашивания молока в процессе приготовления творога

Включает линию в работу оператор [48, с. 265]. При этом обеспечивается включение насоса ЦБ2 (рисунок Б.18), потом ЦБ1, и молоко из танка хранения поступает в секцию I пастеризатора, где нагревается до температуры 37 °С–40 °С, затем поступает в сепаратор-молокоочиститель и далее во вторую секцию пастеризатора, где нагревается до 75 °С–76 °С.

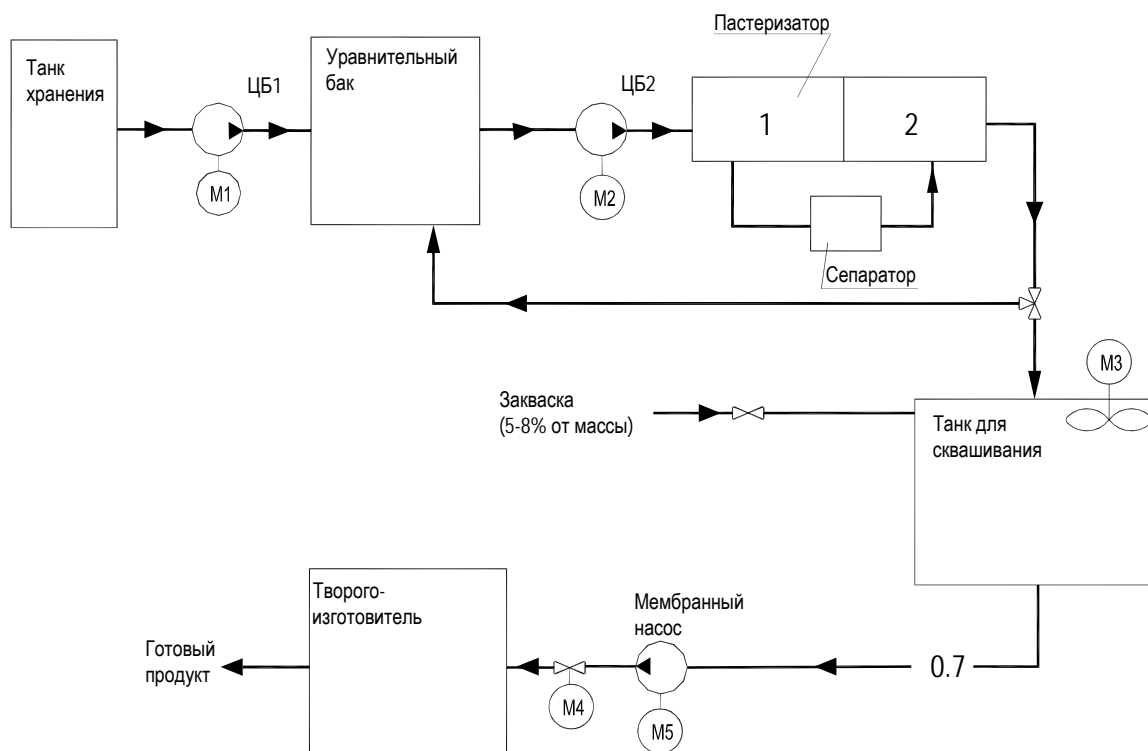


Рисунок Б.18 – Технологическая линия приготовления творога

Если температура молока выше 75 °С, то оно поступает в танк для сквашивания через переключной клапан, если ниже, то поступает в уравнительный бак. В танке каждые 20 минут с продолжительностью в одну минуту срабатывает мешалка и подается закваска. При выдержке в танке молока до 35 °С частично сквашенное молоко мембранным насосом подается в творогоизготовитель, в котором поддерживается требуемый уровень продукта вентилем, оборудованным исполнительным механизмом.

Необходимо предусмотреть соответствующую сигнализацию, возможность управления ЭД в ручном режиме и разделение режимов работы.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = P_{н2} = P_{н4} = 2,2$ кВт; $P_{н3} = 7,5$ кВт; $P_{н5} = 15$ кВт.

19 Разработка системы автоматизации сырной ванны

Ванна заполняется в течение определенного времени с использованием клапанов [48, с. 356]. По истечении 5 мин после заполнения ванны включается перемешивающий механизм (рисунок Б.19), для которого должно осуществляться плавное регулирование частоты вращения. В то же время в ванну автоматически подается закваска, а через 15 мин вносится сычужный фермент. Еще через 5 минут мешалка отключается и начинается процесс формирования сгустка, который продолжается 35–40 минут.

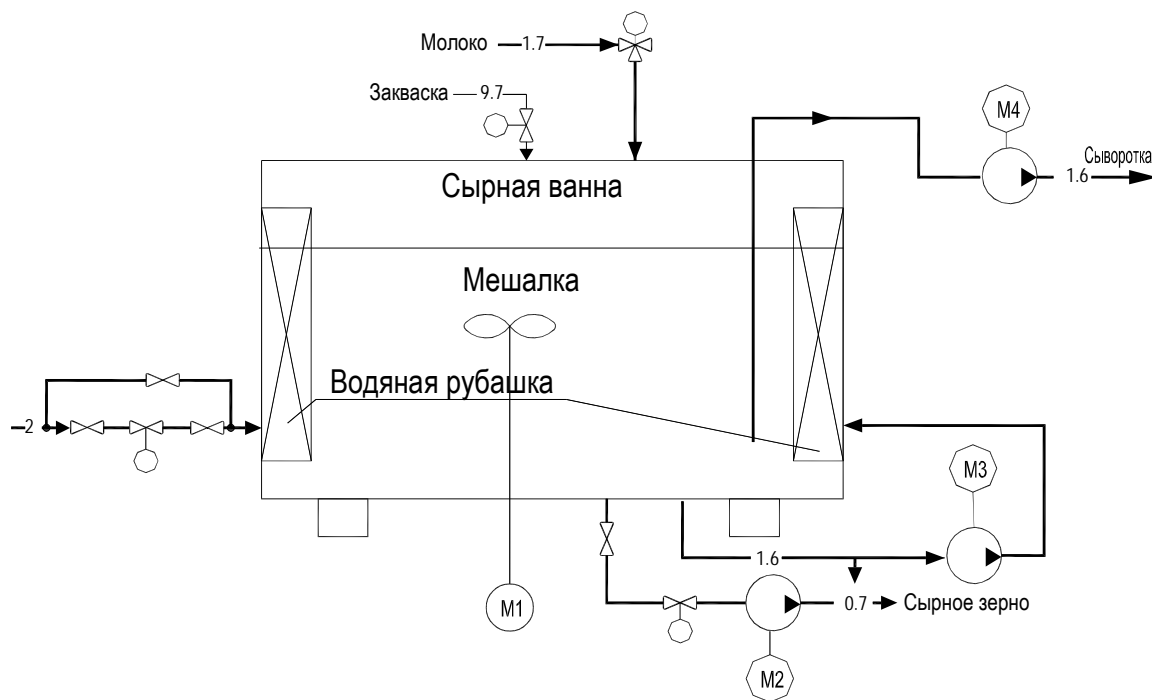


Рисунок Б.19 – Оборудование сырной ванны

Должно быть предусмотрено включение механизма для разрезания сгустка по истечении 40 мин после внесения сычужного фермента. В случае его готовности ранее установленного времени механизм разрезания сгустка должен включаться автоматически. Процесс разрезания сгустка должен происходить в течение 15–20 мин при частоте вращения электродвигателя $0,5–1,0$ мин⁻¹, что позволит избежать потери с сыророткой. После разрезания сгустка должна автоматически включаться мешалка для вымешивания зерна. При этом должен осуществляться контроль pH сыроротки (6,5).

Затем смесь зерна с сывороткой должна нагреваться. Нагревание должно происходить в течение 40 мин. При этом скорость изменения температуры должна постепенно возрастать.

В зависимости от нарастания кислотности (при 6,03) должна включаться мешалка. По истечении 1–2 мин должен включаться насос *M4* для удаления половины объема сыворотки.

При рН, равном 6,05, должен включаться насос *M2* для перекачивания зерна и оставшейся сыворотки.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = 2,2$ кВт; $P_{н2} = P_{н3} = P_{н4} = 1,5$ кВт.

20 Разработка системы автоматизации линии сбивания сливочного масла

Процесс производства сливочного масла методом сбивания [48, с. 356] включает операции: непрерывную подачу сливок, непрерывное сбивание, отделение пахты, обработку масляного зерна, вакуумную обработку, фасовку и упаковку.

Сливки из сливокосозревательного резервуара через уравнильный бак винтовым насосом подаются в цилиндр маслоизготовителя (рисунок Б.20). Образованное масляное зерно с пахтой поступает в первую камеру обработника, где зерно подвергается первой промывке и механической обработке шнеками. Пахта отделяется от масляного зерна в бак для пахты и далее насосом подается для дальнейшей обработки.

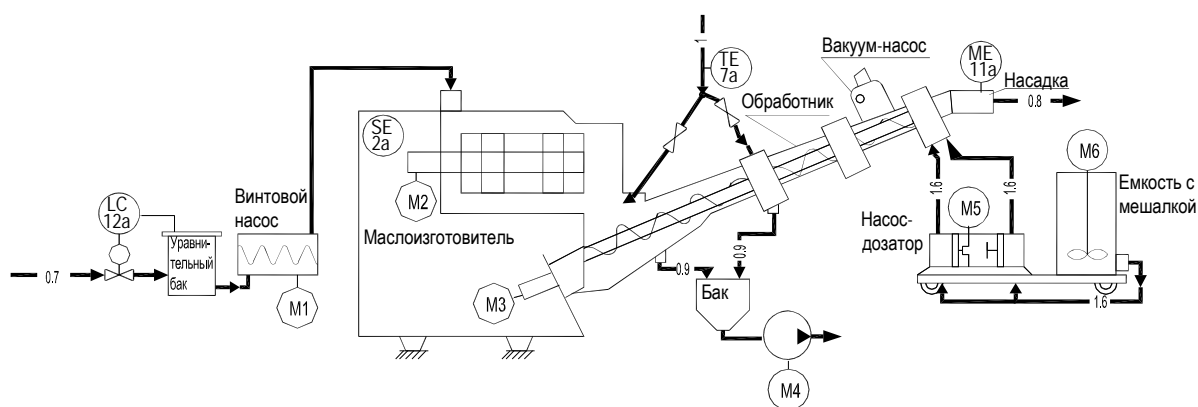


Рисунок Б.20 – Технологическая линия сбивания сливочного масла

Масляный пласт образуется в первой камере обработника. Во второй камере происходят окончательная промывка и дальнейшая обработка масляного зерна. В третьей камере вакуум-насосом создается разрежение для удаления воздуха. Далее масло продавливается через решетки с мелкими отверстиями, между которыми установлены ножи для перемешивания пласта масла. Масло, выходящее

из насадки маслоизготовителя, по транспортеру направляется на фасовку и упаковку. Емкость с мешалкой служит для перемешивания рассола при производстве соленого масла.

Для нормального течения процесса сбивания необходимо обеспечить равномерную подачу сливок, ледяную воду заданной температуры, поступающую для промывки зерна, давление в вакуумной линии, частоту вращения электродвигателя $M2$ по его загрузке. Кроме того, должна поддерживаться необходимая влажность масла на выходе за счет отделения пахты.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = 1,5$ кВт; $P_{н2} = P_{н3} = 2,2$ кВт; $P_{н4} = 1,1$ кВт; $P_{н5} = 0,75$ кВт.

21 Разработка системы автоматизации автомата промывки молокопровода на ферме КРС

Система промывки молокопровода состоит из автомата промывки и устройства для подключения доильных аппаратов к системе промывки [46, с. 449]. В комплект автомата промывки (рисунок Б.21) входит ванна, емкости для растворов и водонагреватель. Процесс промывки делится на две части: преддоильное прополаскивание (15 мин), промывка после доения (45 мин). Преддоильное прополаскивание осуществляют сперва теплой водой ($38\text{ }^{\circ}\text{C}$), затем моющей жидкостью со средством 1 и затем снова холодной водой. Последоильная промывка выполняется щелочным или кислым раствором. Сперва прополаскивают холодной водой, затем циркуляция теплой водой ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) с раствором (средство 2), затем снова прополаскивание и далее просушка.

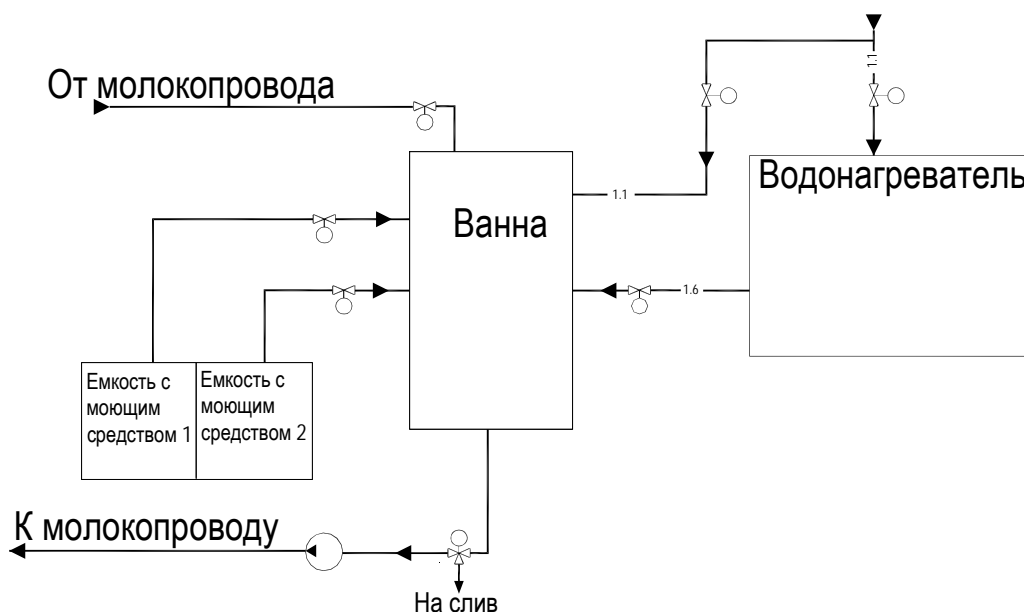


Рисунок Б.21 – Состав автомата промывки

Для расчета принять мощность двигателя насоса: $P_{н1} = 1,5$ кВт.

22 Разработка системы автоматизации процесса вентиляции фермы КРС

Для вентиляции коровников сегодня активно используются следующее оборудование (рисунок Б.22): светоаэрационные коньки; вентиляционные окна; вертикальные вентиляторы, горизонтальные вентиляторы, вентиляторы осевые, шторы [49].

Установка светоаэрационного конька обеспечивает больше свежего воздуха и увеличение освещенности внутри помещения. Вместе с установленным на крыше аэрационным световым коньком вентиляционные окна создадут оптимальные условия внутри помещения при условии регулирования степени открытия. Обеспечить требуемый воздухообмен позволяет установка вентиляторов. Горизонтальные вентиляторы имеют высокий показатель производительности и достаточно большую дальность выброса воздуха. А это не маловажно для коровников, которые, как правило, имеют достаточно большие площади, предназначенные для содержания большого поголовья крупного рогатого скота. Правильная установка предполагает снижение температуры за минимальный период времени и постоянное поддержание микроклимата помещения на должном уровне. Необходимое количество вентиляторов определяется конструкцией здания, плотностью посадки животных и климатическими особенностями региона, в котором расположена ферма.

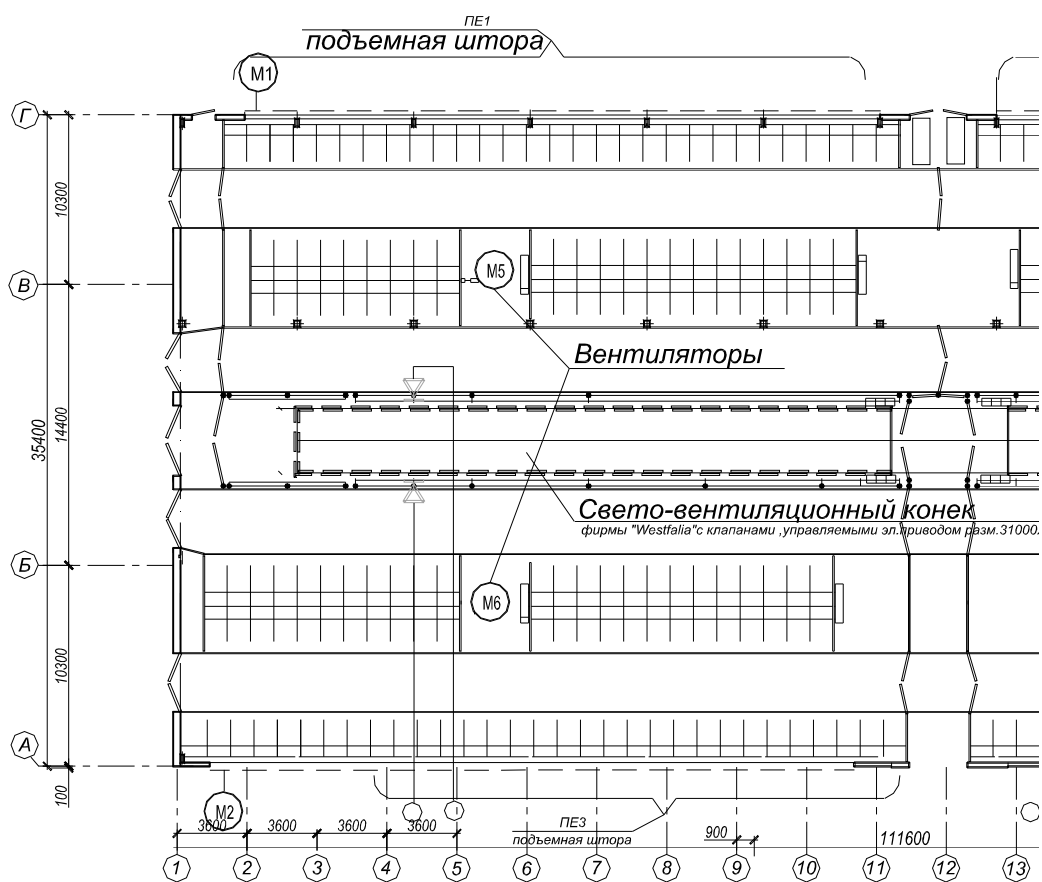


Рисунок Б.22 – Часть здания фермы КРС с расположением вентиляционного оборудования

Таким образом, оборудование обеспечения микроклимата фермы КРС представляет собой связную систему. Автоматизация управления данным оборудованием также должна обеспечивать связное управление скоростью и числом включенных вентиляторов, степенью открытия вентиляционных окон и углом поворота светового конька. Причем в качестве контролируемых параметров будут выступать температура и влажность в помещении. Но также необходимо учесть направление и скорость ветра снаружи.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = P_{н2} = P_{н3} = P_{н4} = 0,2$ кВт; $P_{н5} = P_{н6} = P_{н7} = P_{н8} = 5,5$ кВт.

23 Разработка системы автоматизации вытяжной системы вентиляции птичника

В систему вытяжной вентиляции птичника [50] входят 12 торцевых вентиляторов разделенных на группы (в здании с правой стороны) и систему жалюзи (с левой стороны здания) для обеспечения туннельного эффекта (рисунок Б.23).

Обогрев осуществляется с помощью теплогенератора. СА должна обеспечить за счет управления группами вентиляторов и жалюзи требуемый температурно-влажностный режим, управление теплогенератором в холодное время года, технологическую и аварийную сигнализации. Также необходимо предусмотреть визуализацию технологических параметров.

Для расчета принять мощности двигателей, указанные на рисунке Б.23.

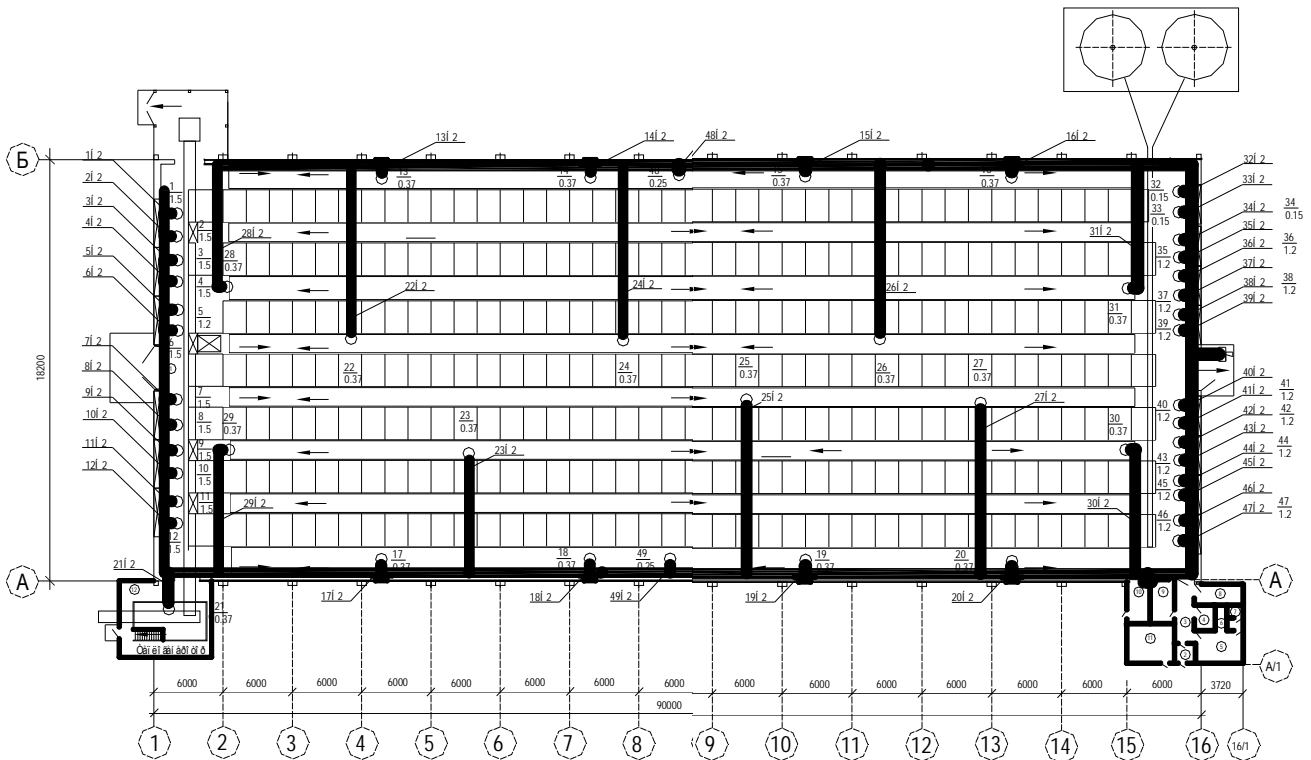


Рисунок Б.23 – Система вентиляции птичника

24 Разработка системы автоматизации управления микроклиматом шампиньонницы

При выращивании грибов помещения должны иметь хорошую вентиляцию, температуру воздуха около 16°C , влажность грунта – 40 %–45 %, относительную влажность воздуха – 85 %–90 % [51, с. 182]. Цикл выращивания грибов длится 84 дня и состоит из операций: заполнение стеллажей компостом, пастеризация и разогрев компоста, посев мицелия грибов, укладка слоя покровной почвы после прорастания мицелия, сбора шампиньонов, освобождения стеллажей от отработанного компоста и их стерилизация.

Управление температурой воздуха в камере шампиньонницы осуществляется за счет изменения соотношения подачи горячей и обратной воды, подаваемой насосом к установкам водотрубного обогрева (рисунок Б.24).

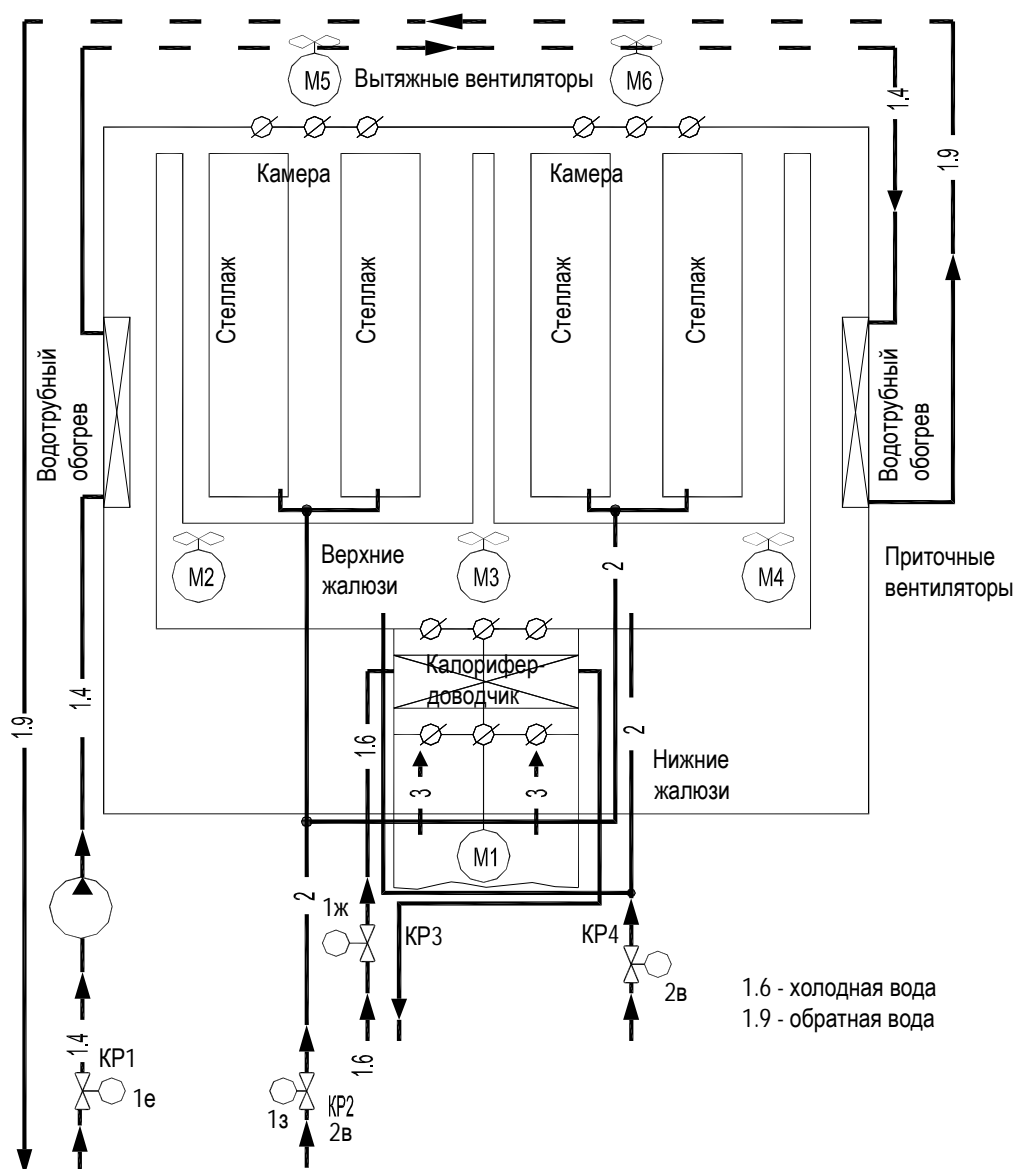


Рисунок Б.24 – Оборудование шампиньонницы

Для охлаждения воздуха увеличивают подачу холодной воды к калориферу-доводчику. Через калорифер и систему верхних жалюзи в камеру нагнетается свежий воздух, а через нижние жалюзи происходит его рециркуляция. Воздух предварительно обрабатывается в центральном кондиционере, где очищается от механических примесей, обеззараживается ультрафиолетовым облучением и нагревается до температуры 13 °С. Его относительная влажность доводится до 80 %. Установки охлаждения и доводки воздуха до кондиций имеют свою систему автоматизации.

Количество воздуха, проходящего через калорифер-доводчик, оператор управляет вручную при помощи привода *MI* системы двух механически связанных жалюзи: верхних и нижних. Воздух от кондиционера к калориферу подводится через воздуховод, расположенный между верхней и нижней системой жалюзи. При открытии верхних жалюзи нижние закрываются. При этом за счет работы приточных вентиляторов приток в камеру охлажденного воздуха увеличивается, а кратность обмена рециркуляционного воздуха через нижние жалюзи уменьшается.

Температуру в камерах снижают также включением системы вытяжных вентиляторов.

Пастеризацию компоста ведут за счет подачи пара через паропровод (заданная температура 55–60 °С).

Увлажняют воздух в шампиньоннице путем подачи пара на вход приточных вентиляторов, обеспечивающих всос пара и перемешивание его с воздухом в камере.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = 0,75$ кВт; $P_{н2} \dots P_{н6} = 1,1$ кВт.

25 Разработка системы автоматизации работа-подгребателя кормов

Данные роботы помимо подгребания кормов заданное количество раз также могут обеспечивать раздачу смеси кормов (силос, концентраты и минералы) либо концентрированных кормов [52]. Робот может загружаться кормом на кормокухне (одновременно происходит зарядка робота) и по металлической полоске от кормокухни перемещается в заданное время к коровнику. Там, ориентируясь по ультразвуковым датчикам, происходит движение робота вдоль стола (рисунок Б.25). Он с помощью юбки подгребает розданный корм (сенаж) и при запрограммированном варианте может дополнительно раздавать смесь либо концентрированный корм.

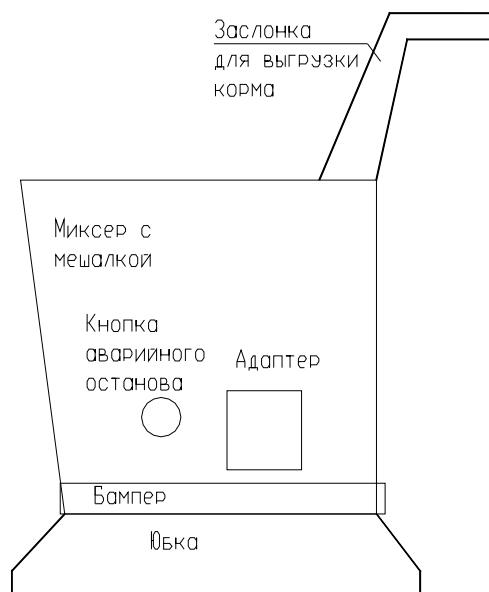


Рисунок Б.25 – Устройство робота-подгребателя

Для расчета принять мощности двигателей: привода колес и юбки – по 0,75 кВт, мешалки и выгрузки корма – 0,5 кВт.

26 Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка

Для водоснабжения поселка используется двухступенчатая схема (рисунок Б.26). Два основных насоса наполняют резервуар, из которого вода подается потребителям. В случае необходимости подключается резервный насос.

СА должна обеспечить поочередную работу основных насосов для заполнения резервуара, подключение в случае аварии резервного насоса, подачу воды из резервуара в зависимости от потребности потребителей (по величине давления). Также необходимо предусмотреть визуализацию технологических параметров.

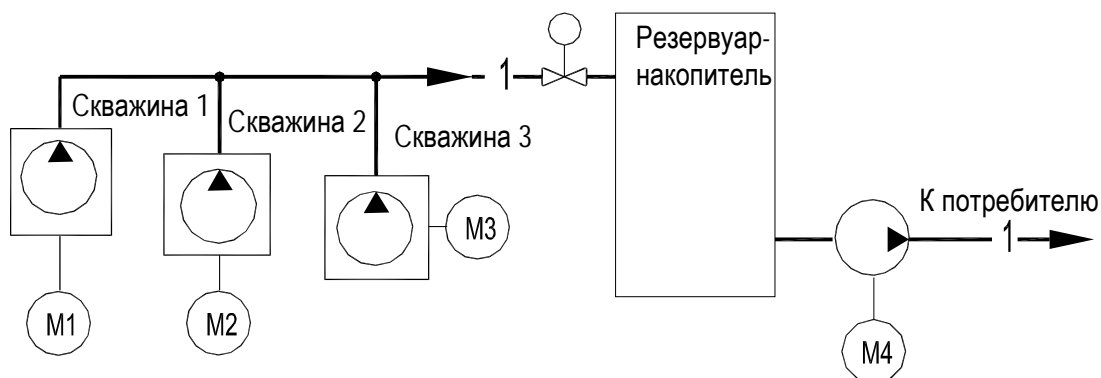


Рисунок Б.26 – Схема водоснабжения поселка

Для расчета принять мощности двигателей: основных и резервного насоса – 5,5 кВт, подающего насоса – 7,5 кВт.

Приложение В
(рекомендуемое)

Пример выполнения курсового проекта

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Агроэнергетический факультет

Кафедра АСУП

Курсовой проект

по дисциплине «Системы автоматизации сельскохозяйственного производства»

Вариант № 26

Тема: «Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка»

Студент 4 курса 9а группы
_____/ Иванов Е.Б. /
(личная подпись) (ФИО)
Шифр зачетной книжки

Руководитель
_____/ Петрова Е.С. /
(личная подпись) (ФИО)

Минск, 2021

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Агроэнергетический факультет
Специальность 1-53 01 01-09
(шифр)

«Утверждаю»
Зав. кафедрой

_____/_____/_____
(личная подпись) (ФИО)

«__» _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на курсовое проектирование

по дисциплине «Системы автоматизации сельскохозяйственного
производства»

Студенту Иванову Е.А.

1. Тема проекта «Разработка системы автоматизации станции водоснабжения
поселка»

вариант 26

Утверждена приказом по БГАТУ № _____ от _____

2. Срок сдачи студентом законченного проекта до 31.03.2021

3. Исходные данные к проекту:

1) задание;

2) научная литература по теме проекта;

3) описание изобретений по теме проекта;

4) ПУЭ;

5) ГОСТы и другие нормативные материалы

4. Перечень подлежащих разработке вопросов:

Введение

1 Технологические требования к процессу водоснабжения и анализ вариантов
реализации системы автоматизации насосной станции

2 Определение структуры системы автоматизации. Выбор технических средств
автоматизации

3 Разработка алгоритма, структуры и программы управления

4 Моделирование САР

5 Разработка средств визуализации управления

6 Разработка полной принципиальной схемы управления

7 Разработка схемы питающей и распределительной сети

8 Расчет надежности системы автоматизации. Средства обеспечения надежности

9 Разработка щита автоматики

10 Разработка монтажной документации

Заключение

5. Перечень графического материала

1. Схема автоматизации

2. Принципиальная электрическая схема управления

3. Принципиальная схема питающей и распределительной сети

4. Щит автоматики. Общий вид

5. Монтажная документация (таблицы соединений, таблицы подключений, схема соединений внешних проводок)

6. Календарный график работы над всем проектом на весь период проектирования

25 % проекта (вопросы 1–2 и чертеж 1) – 15.02.2021

50 % проекта (вопросы 3–7 и чертеж 2, 3) – 27.02.2021

75 % проекта (вопрос 8–9 и чертеж 4) – 12.03.2021

100 % проекта (вопрос 10, заключение и документация 5) – 30.03.2021

Дата выдачи задания «_1_» _____02_____ 2021 г. Руководитель _____
(подпись)

Задание принял к проектированию «_1_» _____02_____ 2021 г. _____
(подпись)

Реферат

Курсовой проект выполнен в объеме:

пояснительная записка на 53 страницах, таблиц – 7, рисунков – 17;

графическая часть на 19 листах, в том числе формата А2 – 1, формата А3 – 1, формата А4 – 17 листов;

18 источников.

Ключевые слова: автоматизация, водоснабжение, насос, система автоматического управления, контроллер, панель оператора.

В данной работе выбрано оборудование системы водоснабжения поселка; проанализированы требования к процессу управления погружными и подающим насосом; определен объем автоматизации и структура САУ; разработана программа и предложен вариант визуализации управления насосной станцией водоснабжения поселка. Разработаны схема автоматизации, полная принципиальная схема управления, программа управления, монтажная документация и документация на щит автоматизации. Рассчитана надежность системы автоматизации.

Содержание

Введение	7
1 Технологические требования к процессу водоснабжения и анализ вариантов реализации системы автоматизации насосной станции	8
2 Определение структуры системы автоматизации. Выбор технических средств автоматизации	12
3 Разработка алгоритма, структуры и программы управления	17
4 Моделирование САУ	27
5 Разработка средств визуализации управления	32
6 Разработка полной принципиальной схемы управления	34
7 Разработка схемы питающей и распределительной сети	35
7.1 Характеристика электроснабжения насосной станции	35
7.2 Расчет электрических нагрузок.....	35
7.3 Выбор аппаратуры управления и защиты.....	37
7.4 Расчет сечений проводов и кабелей.....	42
7.5 Решения по конфигурации питающей и распределительной сетей	44
8 Расчет надежности САУ. Средства обеспечения надежности.....	45
9 Разработка щита автоматики	47
10 Разработка монтажной документации.....	50
Заключение	51
Список использованных источников.....	52

						02.49.026.21 - ПЗ					
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Пояснительная записка			<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Иванов Е.А.</i>							<i>У</i>	<i>6</i>	<i>53</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>							БГАТУ №		
<i>Консульт.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>									
<i>Н. контр.</i>											
<i>Зав. каф.</i>											

Введение

Автоматизация насосных установок позволяет повышать надежность и бесперебойность водоснабжения, уменьшать затраты труда и эксплуатационные расходы, размеры регулирующих резервуаров [1].

На автоматических насосных станциях все операции пуска и остановки агрегатов, а также контроль за состоянием оборудования проводятся в установленной последовательности автоматическими устройствами без участия человека. Автоматизировано и включение резервных агрегатов при аварийном выключении рабочих установок. Автоматически с помощью приборов и реле осуществляется также контроль за основными параметрами работы станции, давлением в напорных трубопроводах, вакуумом (или давлением) во всасывающих линиях, температурой подшипников и т. п. Кроме того, предусматривается защита установок от перегрузок, короткого замыкания и других неполадок. При неполадках в работе оборудования срабатывает реле защиты и агрегат выключается из работы. Последующее включение его блокируется и становится возможным только после устранения неполадок.

Поэтому в курсовом проекте ставится цель – предложить систему автоматизации (СА) насосной станции, которая обеспечит требуемые режимы функционирования насосов, полную автоматизацию насосной станции, безопасность ее работы. Для этого необходимо проанализировать требования к СА, уяснить возможные режимы работы оборудования, предложить рациональный объем автоматизации насосной станции, алгоритм управления, реализовать его в программе управления для контроллера, рассчитать надежность СА и оформить проектную документацию.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		7

1 Технологические требования к процессу водоснабжения и анализ вариантов реализации системы автоматизации насосной станции

В сельском хозяйстве воду используют для нужд населения и поения животных, приготовления пищи и кормов, полива растений, тушения пожаров и для других производственных целей.

Для подъема и раздачи воды применяют водонасосные установки [2, с. 441], состоящие из водоприемников, очистительных сооружений, резервуаров чистой воды или водонапорных башен, соединительной водопроводной сети и электронасосов со станциями управления.

В сельском хозяйстве используют водонасосные установки трех типов: башенные с водонапорным баком, безбашенные с водонапорным котлом и с непосредственной подачей воды в водопроводную сеть. Почти в 90 % случаев используют башенные водонасосные установки с расходом воды до 30 м³/ч. Если расход воды составляет 30–65 м³/ч, то рекомендуют двухагрегатные насосные станции с водонапорным котлом. При расходе воды более 65 м³/ч экономически целесообразно использовать насосные установки с непосредственной подачей воды в распределительную сеть (оросительную систему).

На рисунке 1.1 показаны основные схемы насосных установок, питающие сельскохозяйственных потребителей воды.

Различают одно- и двухступенчатые схемы насосных установок.

Одноступенчатые схемы. Вода потребителям подается под давлением, которое обеспечивается непосредственно погружным насосом (рисунок 1.1, а и 1.1, б) напорно-регулирующим устройством, согласующим работу насоса с графиком расхода воды потребителями, служит пневматический котел (рисунок 1.1, а) или водонапорная башня (рисунок 1.1, б). В первом случае давление воздуха в котле воздействует на реле давления *PS*, которое через станцию управления СУ1 включает и отключает электронасос.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колоч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		8

В случае водонапорной башни для управления электронасосом применяются электродные датчики уровней LS , установленные в баке. Их сигналы через станцию управления $CY2$ воздействуют на электронасос так, что при снижении воды в баке до заданного нижнего уровня насос включается в работу, а после наполнения бака отключается от сети.

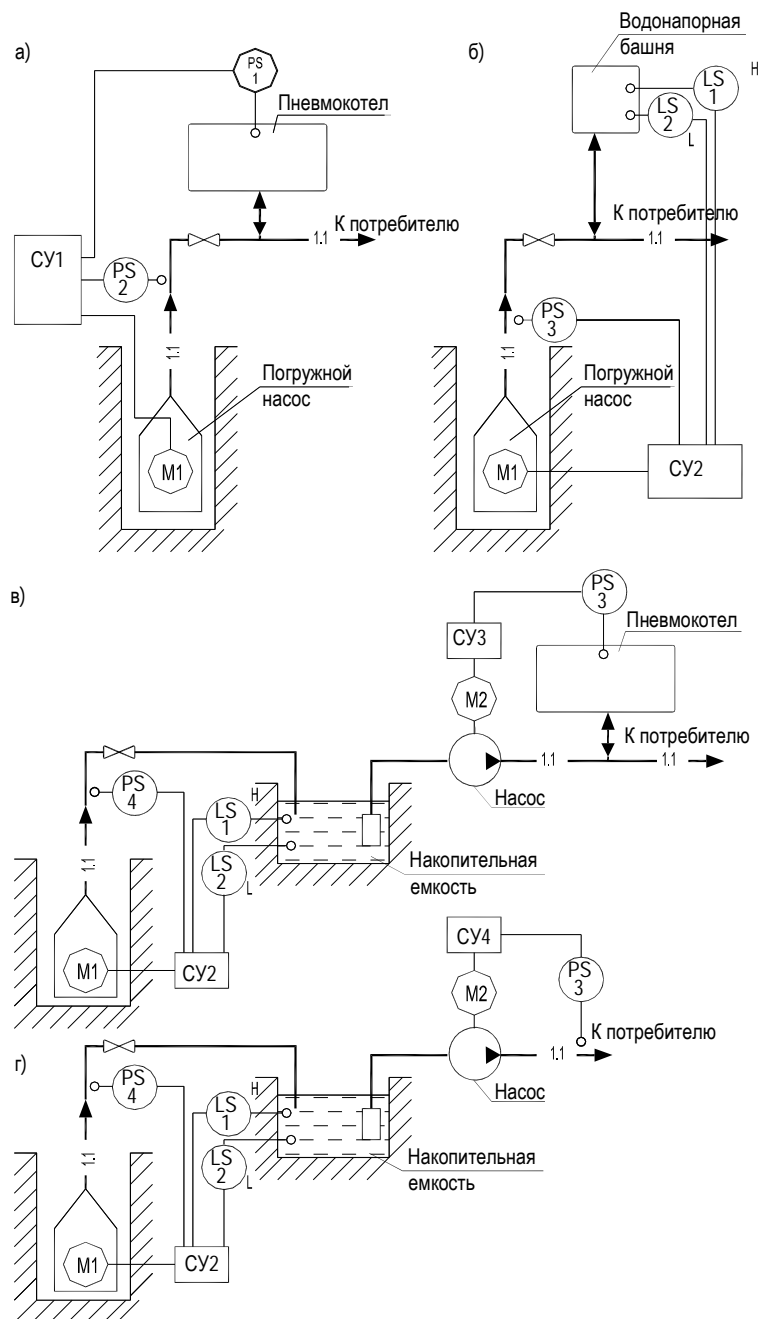


Рисунок 1.1 – Схемы водоснабжения: *а* – с пневматическим котлом;
б – с водонапорной башней; *в* – с наземным резервуаром и пневматическим котлом;
г – с наземным резервуаром и прямоточной работой насоса второго подъема

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

02.49.026.21 - ПЗ

Лист

9

Таким образом, требования к системе автоматизации насосной станции следующие: СА должна обеспечить поочередную работу основных насосов для заполнения резервуара, подключение в случае аварии резервного насоса, подачу воды из резервуара в зависимости от потребности потребителей (по величине давления), аварийную и технологическую сигнализацию.

Чтобы реализовать данные требования следует определить объем автоматизации насосной станции, который раскрыт на схеме автоматизации (лист 1 графической части).

Итак, в соответствии с принятой схемой водоснабжения насосы 1–3 наполняют резервуар, поэтому следует отслеживать уровень воды в резервуаре с помощью датчиков нижнего (*LS5*) и верхнего уровня (*LS6*). При этом в линии может возникать аварийная ситуация, поэтому следует предусмотреть датчики давления воды в трубопроводе первой ступени. Для обеспечения надежности показаний предусмотрим три датчика давления *PE1-3*. Четвертый насос подает воду потребителям. Отбор воды неравномерен. Поэтому следует предусмотреть регулирование подачи данного насоса в соответствии с потребностями потребителей по сигналу датчика давления в напорном трубопроводе *PE7*. В данном контуре целесообразно предусмотреть преобразователь частоты *SC13*, который также обеспечит некоторую экономию электроэнергии. В качестве устройства управления предусмотрим контроллер, который позволит реализовать каскадный режим управления насосами первого подъема (показан в прямоугольнике щита автоматики). К контроллеру может быть подключена панель оператора (*HMI*), с помощью которой можно оперативно отслеживать ход процесса. Контроллер, получая сигналы от датчиков на входы, по заданной программе управляет исполнительными механизмами через выходные сигналы: насосами 1–3 и насосом 4 через преобразователь частоты, а также задвижкой.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		11

клапан. При нормальном режиме работы срабатывают датчики давления. Если через некоторое время не сработают датчики давления, то должен быть введен в работу третий насос. Если и это не даст результата, то через определенное время сработает аварийная сигнализация. При нормальной работе насоса идет заполнение резервуара, срабатывают датчики нижнего, а затем верхнего уровня. Клапан закрывается и прекращает работу первый насос. При следующем опорожнении резервуара вступает в работу 2-й насос и открывается клапан. Включается датчик давления воды в трубопроводе 1, также включаются датчики верхнего и нижнего уровня, при этом отключая 2-й насос. Клапан закрывается. Выключаются датчики давления воды в трубопроводе 1 и 2, и датчики верхнего и нижнего уровня также отключаются. Четвертый насос работает в соответствии с сигналом от датчика давления в напорном трубопроводе, если в резервуаре есть вода.

Вид применяемой энергии: электрическая.

Параметры управления: работа двигателей насоса 1, 2, 3, 4 и клапана.

Параметры сигнализации: уровень в резервуаре, аварийная сигнализация.

Требования к надежности: вероятность безотказной работы должна быть $P(\tau) \geq 0,7$.

Требования к безопасности: система должна быть безопасна в эксплуатации.

Предложения по размещению пунктов управления, щитов и пультов: щитовая.

Экономические показатели: срок окупаемости системы.

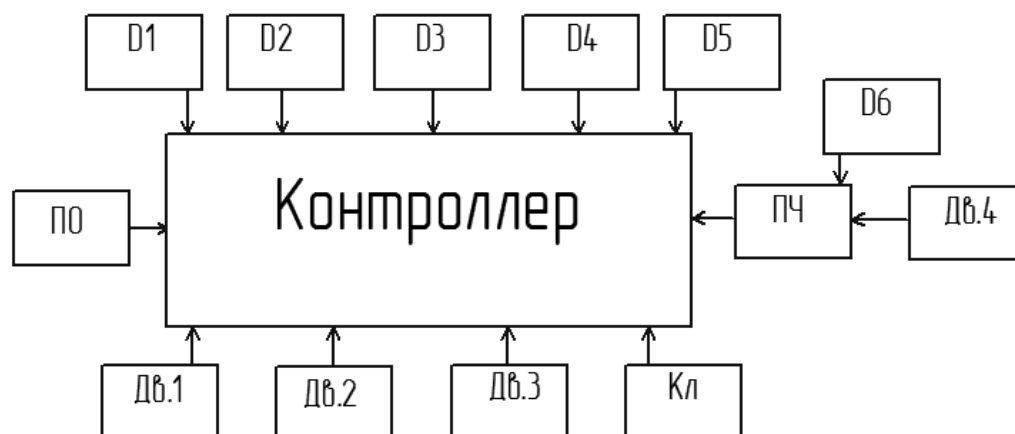
Таким образом, структуру системы составляет устройство управления – контроллер с подключенными к нему датчиками и исполнительными механизмами. К контроллеру также может быть подключена панель оператора, с помощью которой можно оперативно отслеживать ход процесса. Контроллер получает сигналы от датчиков на входы (верхнего и нижнего уровня, датчики давления воды в трубопроводе 1, датчик давления воды в трубопроводе 2) и по заданной программе управляет исполнительными механизмами

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		13

через выходные сигналы: насосами 1–3 и насосом 4 через преобразователь частоты, а также задвижкой.

В соответствии с данным составом технических средств автоматизации предложена структура СА (рисунок 2.1).

Анализируя работу данной линии, определяем вид автоматического управляющего устройства (АУУ), которое будет управлять объектом. Объект управления – сложный технологический процесс, состоящий из отдельных операций и механизмов, а цель управления – обеспечить определенную последовательность работы, переход с режима на режим при определенных условиях, поэтому в качестве АУУ используем автомат. Кроме того, целью управления является поддержание давления воды в напорном трубопроводе, поэтому устройство управления также будет выполнять функцию регулятора.



D1 – датчик верхнего уровня; D2 – датчик нижнего уровня; D3, D4, D5 – датчик давления воды в трубопроводе 1; D6 – датчик давления воды в трубопроводе 2;

ПЧ – преобразователь частоты; ПО – панель оператора; Дв.1 – двигатель насоса 1;

Дв.2 – двигатель насоса 2; Дв.3 – двигатель насоса 3; Дв.4 – двигатель насоса 4;

Кл – клапан

Рисунок 2.1 – Структура СА насосной станции

Реализовать структуру управления позволит контроллер, используемый в качестве устройства управления и регулирования, датчики уровня и давления и исполнительные механизмы.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		14

Выбор контроллера. Контроллер реализует функции управления, регулирования и контроля. Кроме функциональных возможностей определяющими параметрами при выборе контроллера является вид и количество необходимых входов и выходов. В данном случае для контроллера используется 9 цифровых выходов, 7 цифровых входов. Так как предполагается визуализировать процесс управления, то следует использовать контроллер, обеспечивающий возможность подключения панели оператора. Поэтому следует остановиться на линейке модульных контроллеров фирмы Mitsubishi. Выберем контроллер FX2N-32 MR-ES/UL [3]. В качестве панели оператора выберем GOT 1000.

Выбор датчиков. При выборе датчиков руководствуются следующими показателями: линейность и однозначность характеристик; стабильность характеристик во времени; высокая перегрузочная способность; высокие быстродействие и чувствительность; инерционность датчика должна быть значительно ниже инерционности объекта.

Датчики выбирают в два этапа:

- 1) по роду контролируемого параметра и условиям работы определяют разновидность датчика;
- 2) когда выбраны все элементы в САУ, находят типоразмер датчика.

Датчики уровня. Датчики уровня жидкости предназначены для контроля уровня жидкостей в различных резервуарах. В зависимости от типа приложения, где используется датчик, применяются контактный или бесконтактный метод измерений. При контактном измерении (датчики поплавкового типа) датчик располагается непосредственно на стенке резервуара и переключает контакты при достижении водой уровня его размещения. Измерения уровня жидкостей и твердых веществ могут осуществляться различными методами: магнитными измерениями, емкостными, оптическими, ультразвуковыми и др. [4].

Исходя из вышеизложенного, выбираем емкостной датчик уровня жидкости BC10-S30-Y0X [5].

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		15

Датчики давления воды в трубопроводе. Датчики давления необходимы для защиты от аварийных режимов работы погружных насосов и для регулирования подачи насоса 4.

В первом случае достаточно выбрать датчик с цифровым выходом. Во втором случае требуется датчик с унифицированным сигналом, который будет подключен на управляющие входы преобразователя частоты, с помощью которого устанавливается частота вращения двигателя насоса 4.

Выбираем для первого случая реле давления Д210-11 [6].

Выбираем для второго случая аналоговый датчик давления воды Danfoss [7]. Аналоговый датчик давления воды – датчик обратной связи, позволяющий автоматизировать работу системы «насос-инвертор» по сигналу от внешнего источника задания частоты напряжения, преобразующего значение статического давления в трубопроводе в токовый сигнал. Аналоговые датчики давления воды с микротоковым выходным сигналом 4–20 мА наиболее популярны в применении с частотными инверторами и насосным оборудованием.

Выбор частотного преобразователя. Частотный преобразователь должен плавно регулировать частоту вращения электродвигателя, защищать его от перегрузок и иметь аналоговый токовый вход для управления. Исходя из этих требований, выбираем преобразователь частоты Hitachi SJ100 [8] для регулирования скорости вращения двигателя насоса. Частотный преобразователь выбираем в соответствии с мощностью электродвигателя: SJ100-075HFE.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		16

3 Разработка алгоритма, структуры и программы управления

Из анализа описания работы линии и технических требований для реализации предложенного варианта автоматизации насосной станции, приведенных в разделе 2, необходимо предусмотреть следующий объем технических средств автоматики: два датчика уровня, четыре датчика давления: три на трубопроводе подачи воды в резервуар (необходимы с учетом обеспечения надежности методом резервирования) и один в подающем трубопроводе.

При опорожнении резервуара по сигналам датчиков верхнего и нижнего уровня срабатывает первый насос и открывается клапан. При нормальном режиме работы срабатывают датчики давления. Если через некоторое время не сработают датчики давления, то должен быть введен в работу третий насос. Если и это не даст результата, то через определенное время сработает аварийная сигнализация. При нормальной работе насоса идет заполнение емкости, срабатывают датчики верхнего и нижнего уровня. Клапан закрывается и прекращает работу первый насос. При следующем опорожнении резервуара вступает в работу 2-й насос и открывается клапан. Включается датчик давления воды в трубопроводе 1, также включаются датчики верхнего и нижнего уровня, при этом отключая 2-й насос. Клапан закрывается. Выключаются датчики давления воды в трубопроводе 1 и 2, и датчики верхнего и нижнего уровня также отключаются.

Четвертый насос работает в соответствии с сигналом давления в напорном трубопроводе, если в резервуаре есть вода. Отбор воды неравномерен. Поэтому следует предусмотреть регулирование подачи данного насоса в соответствии с потребностями потребителей по сигналу датчика давления в напорном трубопроводе.

В качестве устройства управления целесообразно предусмотреть контроллер, который позволит реализовать каскадный режим управления насосами

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		17

первого подъема. К контроллеру может быть подключена панель оператора, которая позволит оперативно отслеживать ход процесса.

На основании описанного словами выше алгоритма управления, составим символическую запись алгоритма управления. Для этого примем следующие обозначения: X_1 – привод насоса 1; X_2 – привод насоса 2; X_3 – привод насоса 3; X_4 – привод насоса 4; X_5 – звуковая сигнализация; X_6 – световая сигнализация; X_7 – клапан; Z_1 – реле времени (программное); z'_1 – контакт реле времени Z_1 ; Z_2 – реле времени (программное); z'_2 – контакт реле времени Z_2 ; b_1 – датчик верхнего уровня; b_2 – датчик нижнего уровня; b_3 – датчик давления 1 воды в трубопроводе 1; b_4 – датчик давления 2 воды в трубопроводе 1; b_5 – датчик давления 3 воды в трубопроводе 1; b_6 – датчик давления воды в трубопроводе 2; a – сигнал «Пуск».

Символическая запись алгоритма приведена на рисунке 3.1.

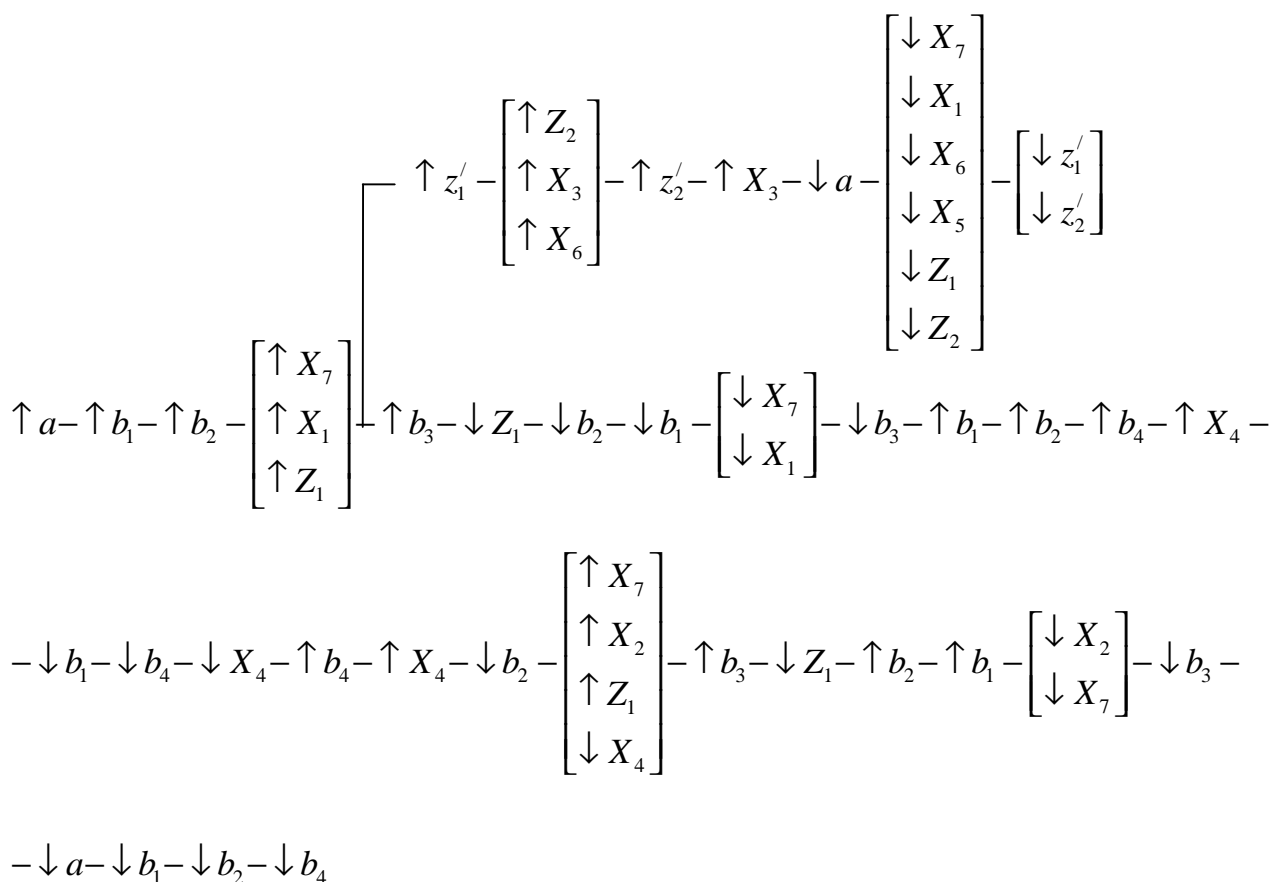


Рисунок 3.1 – Алгоритм управления оборудованием насосной станции

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		18

Составленный алгоритм следует проверить. Для проверки алгоритма на реализуемость, каждому его элементу присваиваем свой вес. Вес первого элемента равен единице, вес каждого последующего элемента равен весу предыдущего умноженного на два. Вес схемы вычисляется сложением веса элемента при его срабатывании и вычитанием – при его отпускании. Проверку символической записи алгоритма по двум ветвям и сведем в таблицу 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Проверка алгоритма (первая дополнительная ветвь)

Такт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вес	1	2	4	8/16/32	64	128/256/ 512	1024	2048	1	8/16/256/ 512/ 2048/32/ 128	64/ 1024
Алгоритм	$\uparrow a$	$\uparrow b_1$	$\uparrow b_2$	$\begin{bmatrix} \uparrow X_7 \\ \uparrow X_1 \\ \uparrow Z_1 \end{bmatrix}$	$\uparrow z'_1$	$\begin{bmatrix} \uparrow Z_2 \\ \uparrow X_3 \\ \uparrow X_6 \end{bmatrix}$	$\uparrow z'_2$	$\uparrow X_5$	$\downarrow a$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_7 \\ \downarrow X_1 \\ \downarrow X_6 \\ \downarrow X_5 \\ \downarrow Z_1 \\ \downarrow Z_2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \downarrow z'_1 \\ \downarrow z'_2 \end{bmatrix}$
Весовое состояние	1	3	7	63	127	1023	2047	4095	4094	1094	6

Таблица 3.2 – Проверка алгоритма (вторая основная ветвь)

Такт	1	2	3	4	5	6	7	8
Вес	1	2	4	8/16/32	64	32	4	2
Алгоритм	$\uparrow a$	$\uparrow b_1$	$\uparrow b_2$	$\begin{bmatrix} \uparrow X_7 \\ \uparrow X_1 \\ \uparrow Z_1 \end{bmatrix}$	$\uparrow b_3$	$\downarrow Z_1$	$\downarrow b_2$	$\downarrow b_1$
Весовое состояние	1	3	7	63	127	95	91	89

Продолжение таблицы 3.2

Такт	9	10	11	12	13	14	15	16
Вес	8/16	64	2	4	128	256	2	128
Алгоритм	$\begin{bmatrix} \downarrow X_7 \\ \downarrow X_1 \end{bmatrix}$	$\downarrow b_3$	$\uparrow b_1$	$\uparrow b_2$	$\downarrow b_4$	$\uparrow X_4$	$\downarrow b_2$	$\downarrow b_4$
Весовое состояние	65	1	3	7	135	391	389	261

Продолжение таблицы 3.2

Такт	17	18	19	20	21	22	23	24
Вес	256	128	256	4	256/512/32/8	64	32	4
Алгоритм	$\downarrow X_4$	$\uparrow b_4$	$\uparrow X_4$	$\downarrow b_2$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_4 \\ \uparrow X_2 \\ \uparrow Z_1 \\ \uparrow X_7 \end{bmatrix}$	$\uparrow b_3$	$\downarrow Z_1$	$\uparrow b_2$
Весовое состояние	5	133	389	385	681	745	713	717

Окончание таблицы 3.2

Такт	25	26	27	28	29	30	31
Вес	2	512/8	64	1	2	4	128
Алгоритм	$\uparrow b_1$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_2 \\ \downarrow X_7 \end{bmatrix}$	$\downarrow b_3$	$\downarrow a$	$\downarrow b_1$	$\downarrow b_2$	$\downarrow b_4$
Весовое состояние	719	199	135	134	132	128	0

Вывод:

1) алгоритм составлен верно, так как конечное весовое состояние равно нулю;

2) алгоритм реализуем, так как повторений значений весового состояния на протяжении цикла алгоритма нет.

Структурная схема управления является основанием для разработки программы управления и принципиальной электрической схемы. Структурная схема управления составляется на основе алгоритма управления (рисунок 3.1).

Для составления структурной схемы управления насосами составляем частные таблицы включений для каждого исполнительного элемента и катушки реле времени на основании символической записи алгоритма. В частную таблицу включений исполнительного элемента входят, во-первых, сам элемент (это исполнительный элемент, он обводится кружком) и все те командные и промежуточные элементы, от которых этот элемент срабатывает или отключается и те командные аппараты, которые обеспечивают дополнительные условия срабатывания исполнительного элемента.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		20

Разработка структурных схем начинается с исполнительного элемента, который срабатывает в алгоритме первым. Вводим условное обозначение тактов. Тактом срабатывания элемента называется такт, предшествующий такту включения исполнительного элемента. Тактом отпуская элемента называется такт, предшествующий такту выключения исполнительного элемента.

Из структурной теории релейных средств известна общая форма формулы для определения первоначальной структуры какого-либо элемента X [2, с. 57]:

$$f(X) = f_{\text{ср}}(X) + x \cdot \overline{f_{\text{отп}}(X)}, \quad (3.1)$$

где $f_{\text{ср}}$ – логическое произведение контактов элементов в тактах срабатывания, обеспечивающее замкнутую цепь элемента, для которого определяется структурная формула (контакт ИЭ в $f_{\text{ср}}$ не входит);

$f_{\text{отп}}$ – логическое произведение контактов элементов в такте отпуская, обеспечивающее в этом такте замкнутую цепь элемента, для которого определяется структурная формула (контакт этого элемента в $f_{\text{отп}}$ не входит);

x – контакт ИЭ.

Разработаем структурную формулу контактов для исполнительного механизма X_1 , учитывая, что на его работу влияют датчики уровня b_1 и b_2 . Для этого составим таблицу включений – таблица 3.3.

Таблиц 3.3 – Таблица включений ИЭ X_1

Элемент	Вес	Такт					
		1	2	3	4	5	6
b_1	1		+		–		
X_1	2			+			–
b_2	4	+				–	
Весовое состояние		4	5	7	6	2	0

$$f_{\text{сп}}(X_1) = b_1 b_2.$$

$$f_{\text{отп}}(X) = \overline{b_1} \cdot \overline{b_2}.$$

$$f(X_1) = b_1 b_2 + x_1 \cdot \overline{\overline{b_1 b_2}} = b_1 b_2 + x_1 \cdot (b_1 + b_2). \quad (3.2)$$

На основании полученной формулы получим структурную схему в соответствии с рисунком 3.2.

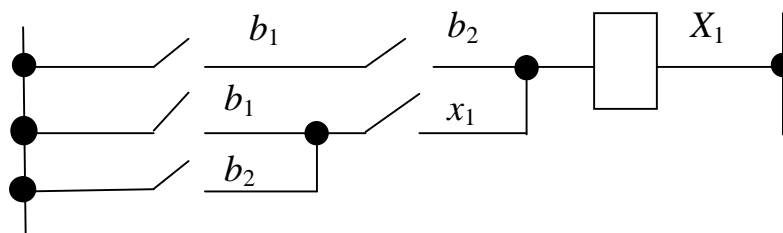


Рисунок 3.2 – Схема управления элементом X_1

Проведем минимизацию структурной формулы управления с помощью таблицы покрытий – таблица 3.4.

Таблица 3.4 – Таблица покрытий ИЭ X_1

Структурная формула	Такт		
	2	3	4
$b_1 b_2$	X	X	–
$b_1 x_1$	–	X	–
$b_2 x_1$	–	X	X

Как видно из таблицы 3.4, замкнутая цепь в тактах 2, 3 и 3, 4 реализуется структурной формулой:

$$f(X_1) = b_1 b_2 + x_1 b_2 = b_2 (b_1 + x_1). \quad (3.3)$$

Таким образом, в соответствии с формулой управления (3.3) схема управления будет иметь вид, соответствующий рисунку 3.3. Однако следует учесть, что при составлении алгоритма исходное состояние датчиков b_1 и b_2 – «включено», поэтому на схеме рисунка 3.4 они показаны в нормализованном состоянии (инверсированы).

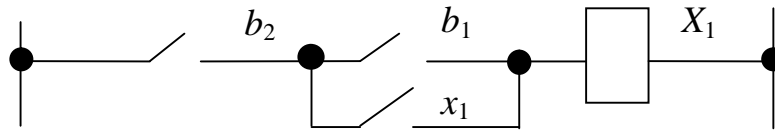


Рисунок 3.3 – Структурная схема управления исполнительным элементом X_1

Аналогично получаем структурные формулы управления для других исполнительных элементов и на основании их получим полную структурную схему – рисунок 3.4. При ее составлении произведем минимизацию схемы управления. Также добавим элементы Y_1 и Y_2 , отвечающие за очередность срабатывания насосов. При опорожнении резервуара срабатывает первый насос (элемент X_1). Если в трубопроводе за время программной выдержки Z_1 не появилось давление, то срабатывает аварийная сигнализация (X_6) и подключается третий насос (X_3). Если и эти меры не привели к требуемому результату (наполнению резервуара), то после программной выдержки Z_2 срабатывает звуковая сигнализация X_5 . Отбор воды потребителям производится насосом X_4 , если в резервуаре обеспечен нижний уровень воды (b_2) по сигналу датчика давления b_4 .

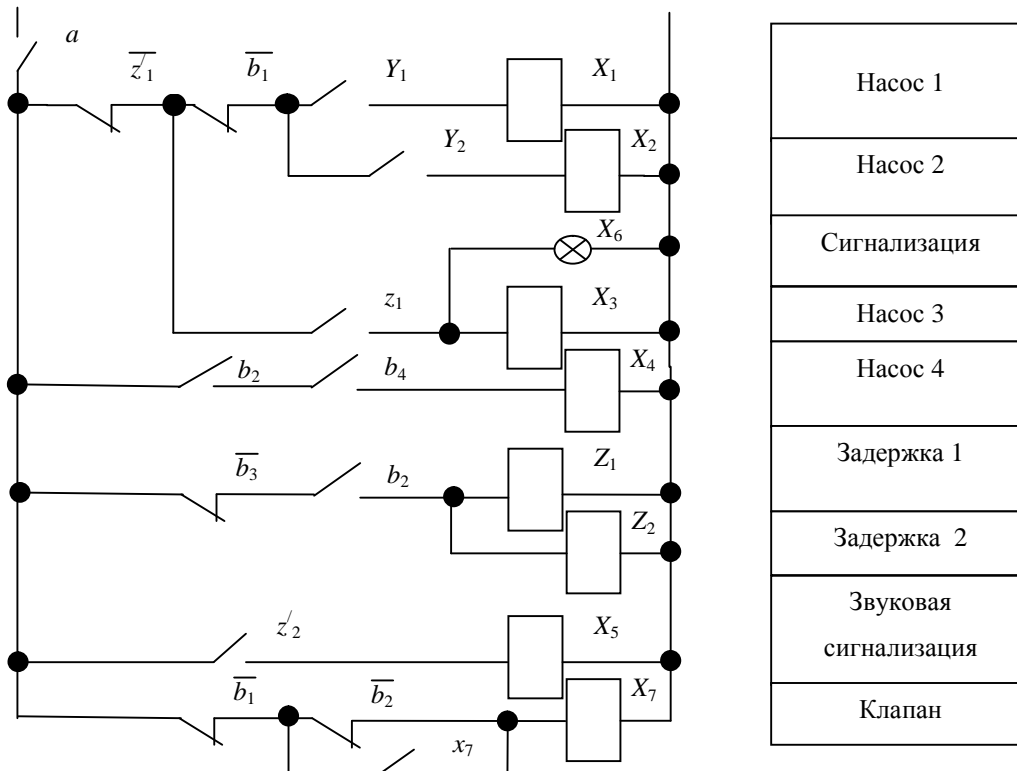


Рисунок 3.4 – Полная структурная схема управления оборудованием насосной станцией

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Выбранный контроллер FX2N-32 MR-ES/UL фирмы Mitsubishi программируется на языке релейно-контактной логики (лестничных диаграмм LD) [9]. Программа на языке релейной логики имеет наглядный и интуитивно понятный графический интерфейс, представляющий логические операции, как электрическую цепь с замкнутыми и разомкнутыми контактами [9].

Основными элементами языка релейно-контактной логики являются контакты, которые можно образно уподобить паре контактов реле или кнопки. Различаются нормально замкнутые и нормально разомкнутые контактные элементы, которые можно сопоставить с нормально замкнутыми и нормально разомкнутыми кнопками в электрических цепях.

Приведем пример обозначений, необходимых для составления программы контроллера:

- | |— нормально-разомкнутый контакт (обозначает вход);
- | / |— нормально-замкнутый контакт;
- ()— итог логической цепочки называется катушка (обозначает выход);
- M – маркер (память для промежуточных результатов);
- D – регистр данных (хранит информацию о данных);
- K – десятичная константа (определяет значение десятичного числа);
- T – таймер (память для реализации временных параметров);
- RD3A – чтение аналоговых входных значений;
- FROM – считывание данных из специального модуля;
- TO – запись данных в специальный модуль;
- CMP – сравнение числовых данных.

Приведем распределение сигналов входов и выходов ПЛК в таблице 3.5. Сама программа приведена на рисунках 3.5 и 3.6. Составлена программа на основании структурной схемы – рисунок 3.4.

На рисунке 3.6 в начале программы организуется промежуточный сигнал для организации управления по сигналам датчиков уровня (цепь 0). Далее ведется управление основными насосами № 1 и № 2 (в каскадном режиме

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		24

работы – цепи 5–30). Далее организуется считывание сигналов датчиков давления и управление аварийной сигнализацией (цепи 33–66, 78–82), а также подключение насоса № 3 (цепь 71). Далее организуется сигнал на включение подающего насоса, клапана и звуковой сигнализации (цепь 84).

Таблица 3.5 – Распределение входов и выходов контроллера

Вход	Сигнал	Выход	Сигнал
X000	Автоматический режим управления	Y000	Первый насос
X001	Ручной режим управления	Y001	Второй насос
X002	Датчик верхнего уровня	Y002	Третий насос
X003	Датчик нижнего уровня	Y003	Сигнал на включение насоса № 4
X004	Датчик давления воды в трубопроводе 1	Y004	Клапан
X005	Датчик давления воды в трубопроводе 1	Y005	Звуковая сигнализация
X006	Датчик давления воды в трубопроводе 1	Y010	Аварийная сигнализация
		Y011	Аварийная сигнализация
		Y012	Аварийная сигнализация

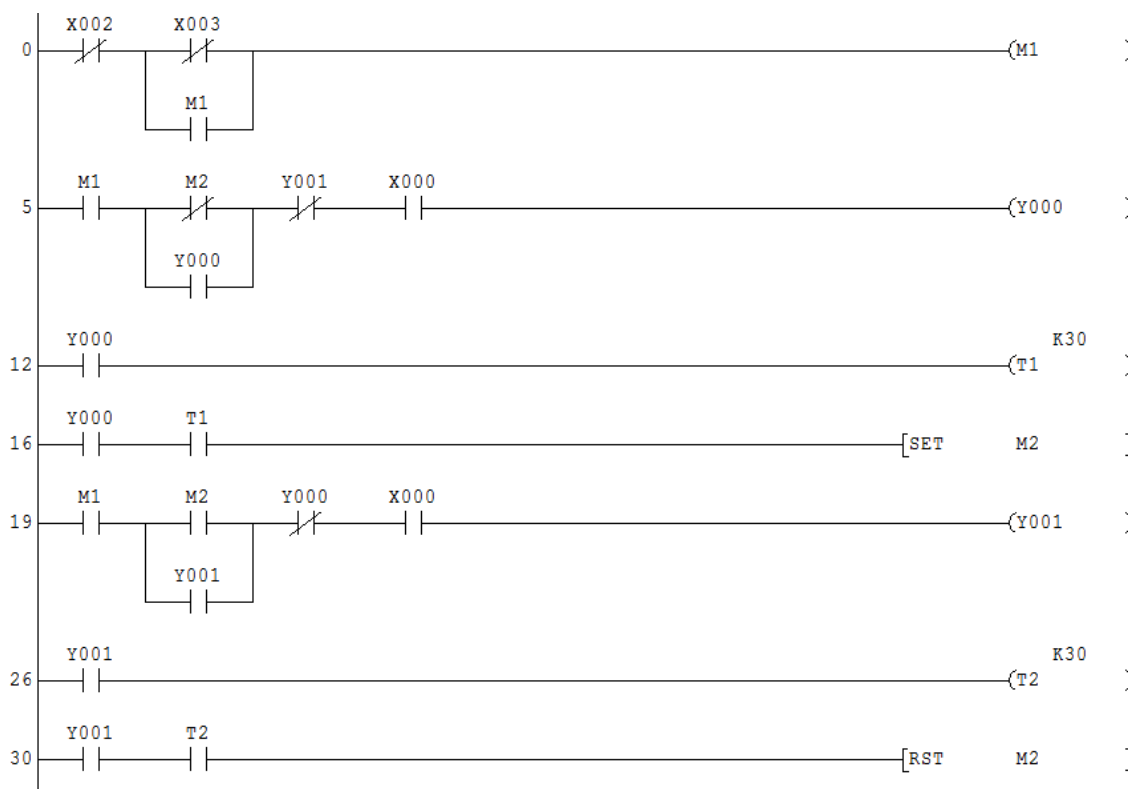


Рисунок 3.5 – Программа управления (начало)

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

02.49.026.21 - ПЗ

Лист

25

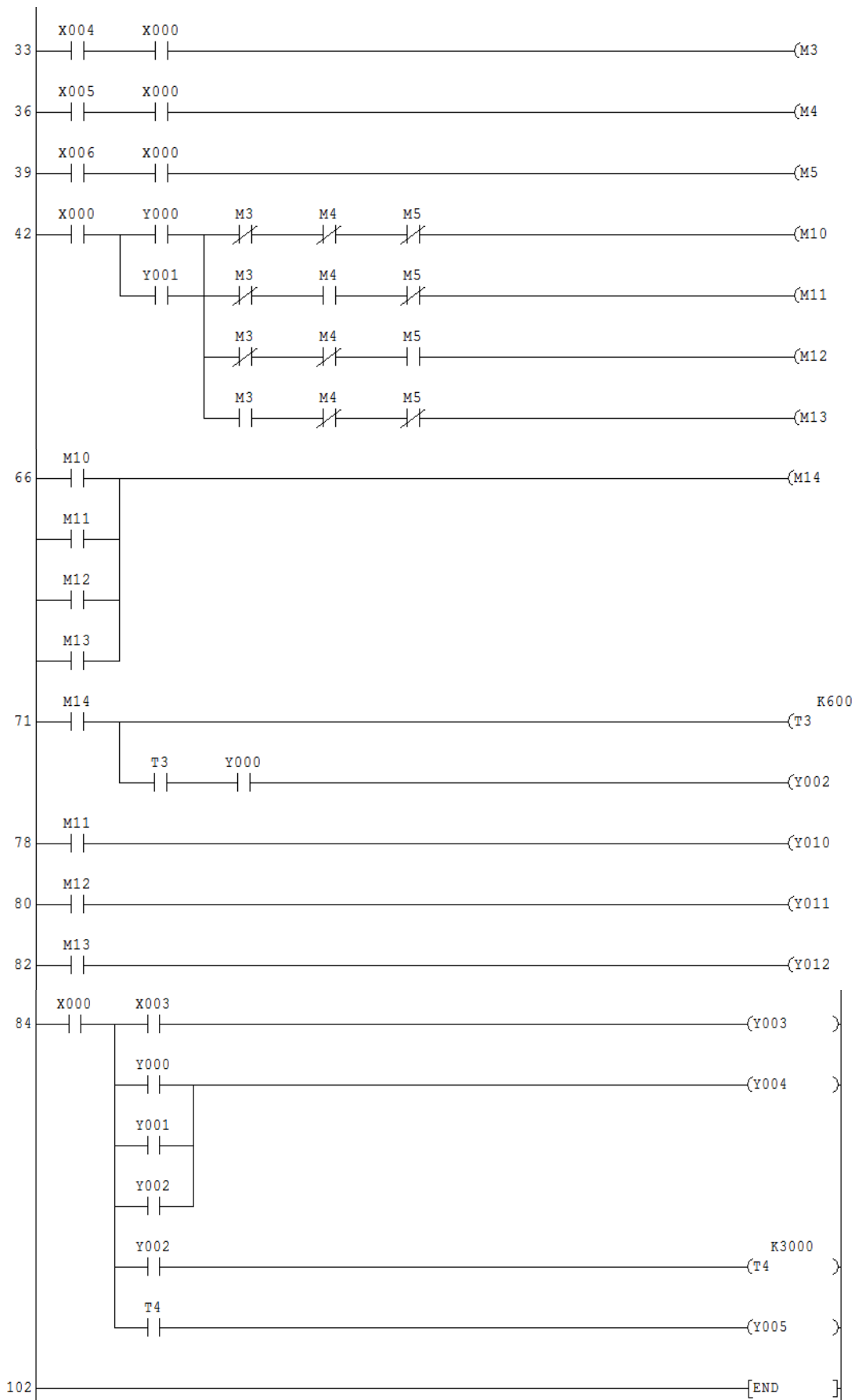


Рисунок 3.6 – Программа управления (окончание)

4 Моделирование САР

Так как насосом № 4 следует управлять по показаниям аналогового датчика давления, установленного в трубопроводе подачи воды потребителям, то нужно предусмотреть контур управления. В его состав помимо датчика давления входит преобразователь частоты, выполняющий функцию регулирования, электродвигатель насоса (исполнительный механизм), сам насос (регулирующий орган) и объект регулирования – трубопровод. Преобразователь частоты позволяет реализовать плавный закон регулирования. К таким законам относят пропорциональный (П), интегральный (И), изомный (ПИ), пропорционально-дифференциальный (ПД), а также изомный с предварением (ПИД) законы регулирования. Перечислим их основные достоинства и недостатки.

При выборе и обосновании закона регулирования прежде всего выбирают непрерывное или позиционное регулирование. При этом учитывают, что позиционные регуляторы, как правило, проще по устройству в эксплуатации и дешевле регуляторов плавного действия. Кроме того, имеют в виду, что непрерывное регулирование может быть реализовано только на объектах, регулирующей орган которых обеспечивает плавное изменение своего положения.

Основное условие выбора принципа регулирования определяется соотношением запаздывания регулирующего воздействия τ и постоянной времени объекта управления T . Считается, что если $\tau/T < 0,2$, то может быть использовано позиционное регулирование, а при $\tau/T > 1$ требуются особо чувствительные, например импульсные, регуляторы. В промежутке между указанными пределами (от 0,2 до 1,0) применяется плавное регулирование.

Трубопровод, как объект автоматического регулирования, представляет собой апериодическое звено второго порядка (рисунок 4.1) [4, с. 63].

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		27

Для перевода функциональной схемы в структурную алгоритмическую каждое звено функциональной схемы необходимо описать математически (обычно в виде передаточной функции). Передаточная функция объекта управления, как указывалось выше, представляет собой апериодическое звено первого порядка. Передаточные функции остальных элементов [11]:

– датчика:

$$W_d(P) = \frac{R_d(P)}{\theta(P)} = \frac{k_d}{T_d \cdot P + 1},$$

где $k_d = 1$;

$$T_d = 15 \text{ с};$$

– клапана:

$$W_k(P) = k_k,$$

где $k_k = 1 \text{ с}$.

По известным нам данным составим структурную алгоритмическую схему САР регулирования подачи насоса по давлению в сети (рисунок 4.3), адаптированную для анализа в прикладном пакете MATLAB и все дальнейшие преобразования и оптимизацию системы проведем также в этом пакете [12].

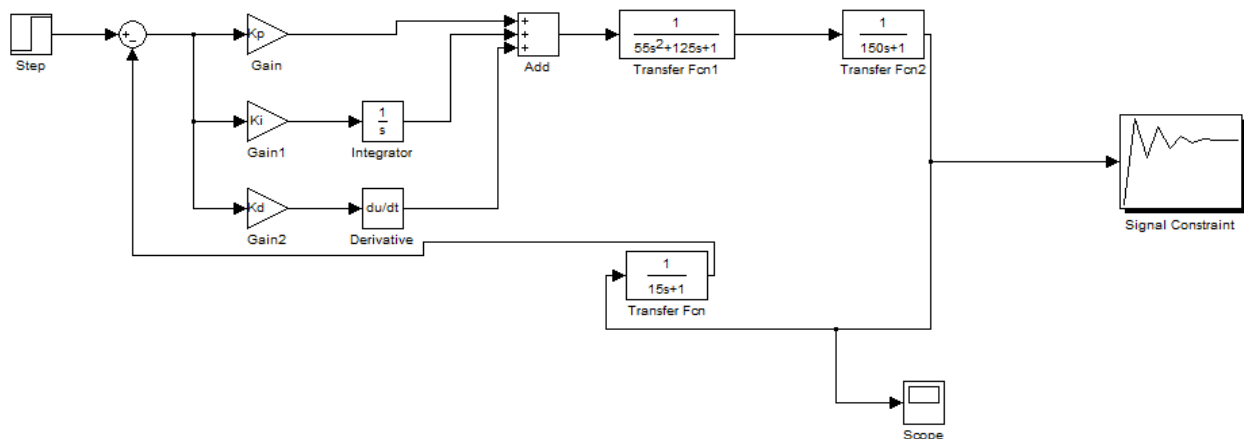


Рисунок 4.3 – Структурная алгоритмическая схема САР

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

02.49.026.21 - ПЗ

Лист

29

После нажатия кнопки старта происходит подбор параметров с одновременным построением графиков (рисунок 4.5). После вхождения графика в заданные границы в окне оптимизации вычислены оптимальные изменяемые параметры, а в окне Score показан график оптимизированной САР (рисунок 4.6).

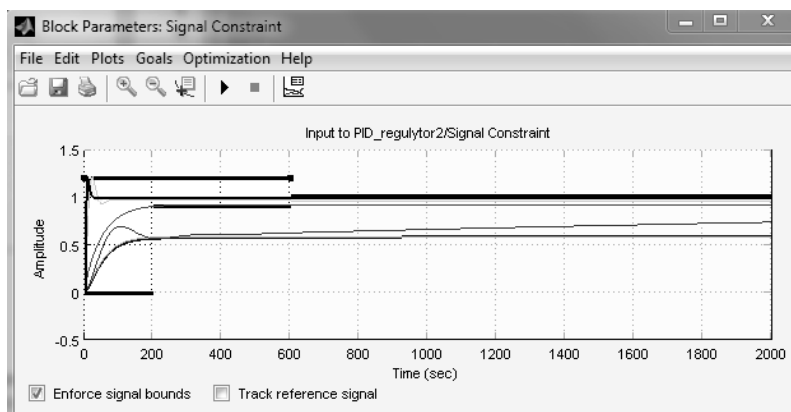


Рисунок 4.5 – Подбор параметров и построение графиков САР

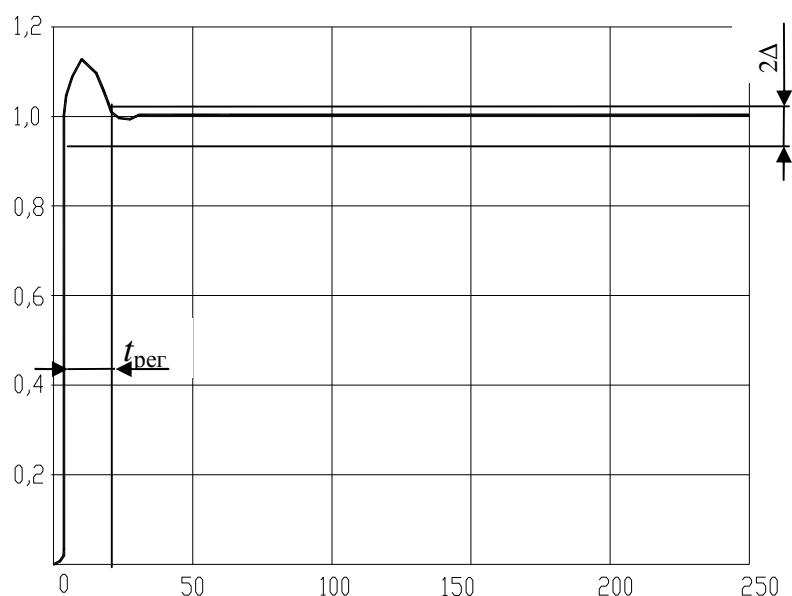


Рисунок 4.6 – График переходного процесса оптимизированной САР

Оптимальные параметры для ПИД-регулятора следующие: $k_p = 149,9$; $k_i = 0,0075$; $k_d = 4419,7$. Данные параметры необходимы для настройки программного блока регулирования преобразователя частоты. При этом качество регулирования определяется следующим: перерегулирование $\sigma = 17\%$, статическая ошибка $e = 0$ и время регулирования $t_{\text{пер}} = 20$ с.

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

Также необходимо предусмотреть элементы управления для ручного включения насосов. Поэтому в нижней части окна организуем область ручного управления с переключателями.

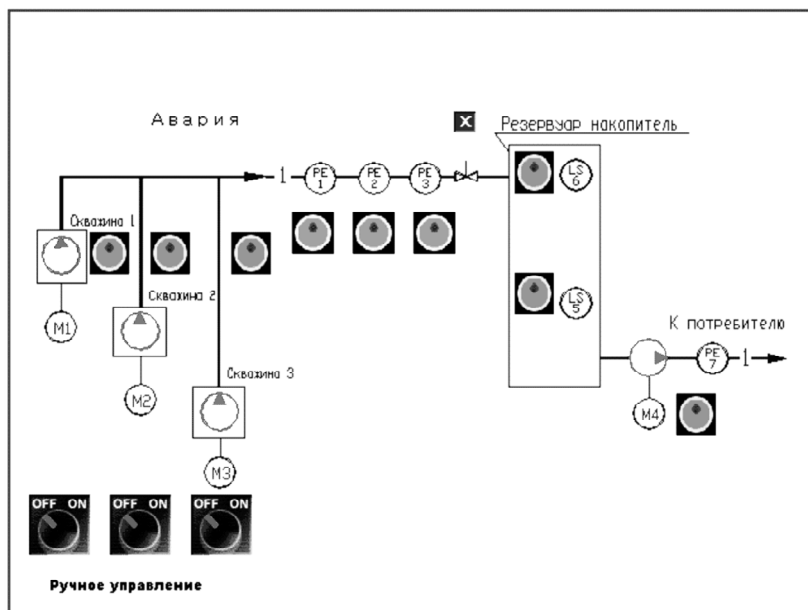


Рисунок 5.2 – Основное окно панели оператора (режим аварийной сигнализации)

Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

02.49.026.21 - ПЗ

Лист

33

6 Разработка полной принципиальной схемы управления

Принципиальные схемы управления состоят из силовых цепей или цепей главного тока и из вспомогательных цепей управления и защиты. При многообразии принципиальных электрических схем управления они представляют определенным образом составленное сочетание отдельных, элементарных электрических цепей и типовых функциональных узлов, в заданной последовательности выполняющих ряд стандартных операций. Под стандартными операциями следует понимать передачу командного сигнала к органам управления, усиление или размножение командных сигналов, их сравнение, блокировка сигналов и т. п. Принципиальная электрическая схема управления должна обеспечить: безопасность людей; надежную работу технологической линии; удобство в эксплуатации; быть экономически целесообразной. Полная принципиальная электрическая схема приведена в графической части (лист 2 и 3).

Работой всех механизмов управляют со щита управления. Необходимый режим задают при помощи переключателя SA1. При опорожнении резервуара по сигналам датчиков верхнего и нижнего уровня контроллер A1 подает сигнал на выход Y0, срабатывает пускатель KM1 и включает первый насос. Также срабатывает лампочка сигнализации HL2 и открывается клапан Y1. При нормальном режиме работы срабатывают датчики давления. Если через некоторое время не сработают датчики давления, то должен быть введен в работу третий насос. Если и это не даст результата, то через определенное время сработает аварийная сигнализация HA1. При нормальной работе насоса идет заполнение емкости, срабатывают датчики верхнего и нижнего уровня. Клапан закрывается и прекращает работу первый насос. При следующем опорожнении резервуара вступает в работу 2-й насос и открывается клапан. Включается датчик давления воды в трубопроводе 1, также включаются датчики верхнего и нижнего уровня, при этом отключая 2-й насос. Клапан закрывается. Выключаются датчики давления воды в трубопроводе 1 и 2 и датчики верхнего и нижнего уровня. Четвертый насос работает в соответствии с сигналом давления в напорном трубопроводе, если в резервуаре есть вода.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		34

7 Разработка схемы питающей и распределительной сети

7.1 Характеристика электроснабжения насосной станции

Насосная станция в отношении требований к надежности электроснабжения относится ко второй категории [13].

Электроприемники категории 2 – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов, нарушению нормальной жизнедеятельности. Электроприемники категории 2 в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного источника питания допустим на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной бригады [14].

Питание электрооборудования насосной станции предусматривается напряжением 400/230 В переменного тока от вводно-распределительного устройства, установленного на станции, а питание вводно-распределительного устройства от отдельно стоящей трансформаторной подстанции.

Выбираем вводно-распределительное устройство типа ВРУ-1. Способ установки устройства – напольный. Климатическое исполнение – УХЛ-3, степень защиты – IP54.

7.2 Расчет электрических нагрузок

Расчетную мощность на вводе в объект принимают по нормативным данным или определяют путем составления сменных графиков электрических нагрузок (для смены с наибольшим максимумом) [14, с. 16]. Исходные

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		35

данные для расчета нагрузки на вводе в насосную станцию приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Характеристика электроприемников насосной станции

№	Наименование технологического оборудования	Количество	Установленная мощность, кВт	Длительность рабочего процесса
1	ЩА – щит автоматики	1	9,15	Автоматически
2	ЩО – щит освещения	1	5	Автоматически
Итого:			14,15	

Так как в нашем случае нельзя точно определить время работы оборудования (оно работает автоматически), то определим нагрузку расчетом по формуле [15, с. 21]:

$$P_p = P_{\max} = K_{\max} K_{\text{исп}} \sum_i^n P_{\text{уст}}, \quad (7.1)$$

где $\sum_i^n P_{\text{уст}}$ – суммарная установленная мощность электроприемников, за исключением резервных;

K_{\max} – коэффициент максимума нагрузки;

$K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования.

Коэффициенты использования и максимума нагрузки могут быть определены по таблице 2 [10].

$$P_p = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 14,15 = 11,5 \text{ кВт.}$$

Коэффициент мощности из таблицы 5.2 [14, с. 18]:

$$\cos \varphi = 0,8.$$

Полная мощность определяется следующим образом:

$$S = \frac{P_p}{\cos \varphi} = \frac{11,5}{0,8} = 14,4 \text{ кВА.} \quad (7.2)$$

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		36

Расчетный ток линии ввода:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{14,4}{1,73 \cdot 0,4 \cdot 0,8} = 26 \text{ А.}$$

7.3 Выбор аппаратуры управления и защиты

Для разработки схем питающей и распределительной сети необходимо выбрать аппаратуру защиты.

Коммутационный аппарат на вводе в ВРУ является переключателем-разъединителем.

Номинальный ток переключателя, А:

$$I_{н.п} \geq I_{н.уст}, \quad (7.3)$$

где $I_{н.уст}$ – номинальный ток уставки, в данном случае расчетный ток на вводе в распределительный пункт, А.

$$250 \text{ А} \geq 26 \text{ А.}$$

Принимаем переключатель ВР32 на 250 А.

Выбор автоматического выключателя. Будем использовать модульные автоматические выключатели типа ВА47-29.

Автоматические выключатели выбираем по следующим условиям [16, с. 141]:

1. Номинальное напряжение автомата:

$$U_{н.авт.} \geq U_c, \quad (7.4)$$

где $U_{н.авт.}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя, В;

U_c – номинальное напряжение сети, В.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		37

2. Номинальный ток автомата:

$$I_{н.авт} \geq I_{дл}, \quad (7.5)$$

где $I_{н.авт}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{дл}$ – длительный рабочий ток электроприемника или линии, А.

Для группы токоприемников:

$$I_{дл} = \frac{S_{расч}}{\sqrt{3} \cdot U_n}; \quad (7.6)$$

$$S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2}; \quad (7.7)$$

$$P_{расч} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{потi} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_{ни}}{\eta_{ни}} \cdot k_{зи}; \quad (7.8)$$

$$Q_{расч} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_{расчи}; \quad (7.9)$$

$$Q_{расчи} = \frac{P_{ни}}{\eta_{ни}} \left[m (1 - k_z^2) + k_z^2 \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n}}{\cos \varphi_n} \right], \quad (7.10)$$

где $S_{расч}$ – полная расчетная мощность линии, ВА;

U_n – номинальное напряжение линии, В;

$P_{расч}$ – расчетная активная мощность группы токоприемников, Вт;

$Q_{расч}$ – расчетная реактивная мощность группы токоприемников, Вар;

$P_{ни}$ – мощность i -го электродвигателя, Вт;

$\eta_{ни}$ – номинальный КПД;

m – коэффициент, зависящий от значения предыдущего коэффициента, определяется по диаграмме (приложение 2 [4, с. 168]);

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		38

$k_{зи}$ – коэффициент загрузки электроприемника;

$\cos\varphi_n$ – номинальный коэффициент мощности.

3. Номинальный ток расцепителя:

$$I_{н.р.} \geq k_{нм} \cdot I_{дл}, \quad (7.11)$$

где $I_{н.р.}$ – номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя, А;

$k_{нм}$ – коэффициент надежности, учитывающий разброс по току срабатывания теплового расцепителя, принимается в пределах от 1,1 до 1,3.

4. Ток отсечки электромагнитного расцепителя:

$$I_{о.э-м} \geq k_{н-э} \cdot I_{кр}, \quad (7.12)$$

где $I_{о.э-м}$ – ток отсечки электромагнитного расцепителя, А;

$k_{н-э}$ – коэффициент надежности, учитывающий разброс по току электромагнитного расцепителя и пускового тока электродвигателей,

$I_{кр}$ – максимальный ток короткого замыкания в месте установки автомата, А.

Для группы электроприемников:

$$I_{кр} = \sqrt{I_{наиб}^2 + \left(\sum I_n\right)^2}, \quad (7.13)$$

где $I_{наиб}$ – пусковой ток электродвигателя или группы одновременно запускаемых электродвигателей, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшего значения, А;

$\sum I_n$ – сумма номинальных токов электродвигателей без учета тока пускаемого электродвигателя, А.

5. Предельный отключаемый ток:

$$I_{пред.откл} \geq I_{дл}, \quad (7.14)$$

где $I_{пред.откл}$ – предельно отключаемый автоматом ток, А.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		39

Выберем автоматический выключатель QF1 (вводной в щит автоматики).

Автоматический выключатель защищает группу электродвигателей.

Принимаем коэффициенты загрузки электродвигателей:

$$k_{31} = k_{32} = k_{33} = k_{34} = 1,0.$$

$$P_{\text{расч}} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{\text{пот}i} = 3 \cdot \frac{0,55}{0,69} \cdot 1 + \frac{7,5}{0,86} \cdot 1 = 11,1 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{расч}} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_{\text{расч}i} = 3 \cdot \frac{0,55}{0,69} (0,71 \cdot (1-1^2) + 1^2 \cdot \frac{\sqrt{1-0,68^2}}{0,68}) +$$

$$+ 3 \cdot \frac{7,5}{0,86} (0,74 \cdot (1-1^2) + 1^2 \cdot \frac{\sqrt{1-0,83^2}}{0,83}) = 6,6 \text{ кВт.}$$

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{11,1^2 + 6,6^2} = 12,9 \text{ кВА.}$$

Определим силу тока в защищаемой цепи.

$$I_{\text{дл}} = \frac{12,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 18,4 \text{ А.}$$

Определяем максимальный ток короткого замыкания в месте установки.

$$I_{\text{кр}} = \sqrt{(16 \cdot 7,5)^2 + (3 \cdot 1,8)^2} = 120 \text{ А.}$$

Ток срабатывания теплового расцепителя:

$$I_{\text{ср.расц}} = 18,4 \text{ А.}$$

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{ср.эл-маг.расц}} = 1,25 \cdot I_{\text{дл}} = 1,25 \cdot 120 = 150 \text{ А.}$$

На основании приведенных расчетов для защиты цепи на вводе в щит автоматики выбираем автоматический выключатель ВА47-29-3Р-В с номинальным током $I_n = 63 \text{ А}$ и током расцепителя $I_p = 25 \text{ А}$.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		40

Аналогично выбираем остальные автоматические выключатели.

Выбор магнитных пускателей. Электромагнитные пускатели выполняют функции аппаратов дистанционного управления и отключения токоприемников при понижении напряжения, блокировку и реверсирование.

Выбираем магнитный пускатель по рабочему напряжению, по степени защиты от условий окружающей среды, по комплектности. Выбираем магнитный пускатель серии ПМЛ открытого исполнения (IP54) без кнопок и сигнальной арматуры.

Магнитный пускатель выбираем по условиям:

$$U_{н.п} \geq U_{н.л}; \quad (7.15)$$

$$I_{н.п} \geq I_{дл}, \quad (7.16)$$

где $I_{н.п}$ – длительно допустимая величина тока в цепи силовых контактов пускателя, А.

Так для двигателей М1-М3 с номинальным (длительным) током 1,8 А выбираем магнитный пускатель ПМЛ-1160М с $I_n = 10$ А. Для двигателя М4 с номинальным током 16 А выбираем магнитный пускатель ПМЛ-2160М с $I_n = 25$ А.

Тепловые реле. Тепловые реле применяют для защиты электродвигателей от перегрузки [16, с. 141]. Условия выбора следующие:

$$U_{н.р} \geq U_{н.л}; \quad (7.17)$$

$$I_{н.р} \geq I_{дл}. \quad (7.18)$$

Так, для двигателей М1-М3 с номинальным (длительным) током 1,8 А выбираем тепловое реле РТЛ-1007 с $I_{н.р} = 1,5-2,6$ А. Двигатель М4 защищает преобразователь частоты, поэтому тепловое реле не предусмотрено.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		41

7.4 Расчет сечений проводов и кабелей

Задачей расчета электропроводок является выбор сечений проводников. При этом сечения проводников любого назначения должны быть наименьшими и удовлетворять следующим требованиям: допустимому нагреву; электрической защите отдельных участков сети; допустимым потерям напряжения; механической прочности.

Рассчитаем сечение кабеля для линии 1Н1.

Определим допустимый ток проводника:

а) по условию нагревания длительным расчетным током:

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{K_{\text{п}}}, \quad (7.19)$$

где $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей.

Принимаем $K_{\text{п}} = 1,00$ [4].

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{1,8}{1} = 1,8 \text{ А};$$

б) по условию соответствия сечения провода выбранному току срабатывания защиты аппарата:

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{K_{\text{п}}}, \quad (7.20)$$

где k_3 – кратность допустимого тока проводника по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата;

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		42

I_3 – ток срабатывания отсечки защитного аппарата, А. Принимаем $k_3 = 1,00$ [4].

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{1 \cdot 2}{1} = 2 \text{ А.}$$

Выбираем сечение кабеля по большему току [17]:

$$I_{\text{табл}} = 6 \text{ А} \geq I_{\text{пр.расч}} = 4 \text{ А.}$$

Принимаем сечение жилы, равным $F = 0,5 \text{ мм}^2$. Однако по условиям обеспечения механической прочности сечение жилы алюминиевого кабеля не должно быть меньше $2,5 \text{ мм}^2$, принимаем кабель АВВГ 4х2,5.

Потеря напряжения на участке составит:

$$\Delta U \geq \frac{P \cdot l}{C \cdot F}, \quad (7.21)$$

где l – длина участка, м;

C – постоянный для данного числа проводов коэффициент, зависящий от материала провода, числа фаз и напряжения сети ($C = 46$ для проводов из алюминия, $C = 77$ для проводов из меди). Поскольку для этого случая проводка выполняется из алюминиевого кабеля, то расчет ведем так же, как для кабелей с алюминиевыми жилами.

$$\Delta U \geq \frac{0,55 \cdot 39}{46 \cdot 2,5} = 0,2 \% < 4 \%.$$

Полученное падение напряжения меньше допустимого, следовательно, сечение кабеля выбрано верно.

На остальных участках расчет ведем аналогично. Результаты расчета приведены на принципиальной схеме распределительной сети (лист 2 графической части).

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		43

7.5 Решения по конфигурации питающей и распределительной сетей

Питающая сеть строится с учетом требований обеспечения надежности. Так как объект имеет вторую категорию надежности электроснабжения, то предусмотрено два ввода.

Распределительная сеть строится по радиальному принципу.

Принимаем, что электроприемники запитываются от щита автоматики, который в свою очередь запитывается от вводно-распределительного устройства, установленного в электрощитовой. Щиток освещения запитывается непосредственно от вводного устройства.

В соответствии с выбранной аппаратурой и конфигурацией сети отображаем схему распределительной и питающей сети – лист 6 графической части.

						02.49.026.21 - ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

8 Расчет надежности САУ. Средства обеспечения надежности

В зависимости от этапов проектирования расчеты надежности делятся на прикидочные (ориентировочные), выполняемые в процессе разработки вариантов схем, и окончательные, выполняемые после завершения проектирования. Если при проектировании не были применены специальные методы обеспечения надежности и к системам не предъявлялись определенные требования по надежности, то можно ограничиться прикидочным расчетом.

Проведем прикидочный расчет и сведем его в таблицу 8.1. Основные расчетные формулы принимаем в соответствии с [16, с. 334].

Таблица 8.1 – Таблица интенсивности отказов элементов САУ

Элемент схемы	Количество элементов, n шт.	Интенсивность отказов, $\lambda_i \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Общая интенсивность $\lambda = \lambda_i \cdot n \cdot 10^{-6}$, 1/ч
1	2	3	4
Панель оператора	1	0,05	0,05
Контроллер	1	0,01	0,01
Преобразователь частоты	1	1	1
Датчик давления	2	40	80
Датчик уровня	2	1,64	3,28
Звонок	1	1,25	1,25
Лампы сигнальные	8	0,8	6,4
Пускатель магнитный	4	0,03	0,12
Реле тепловое	3	0,4	1,2
Аналоговый входной модуль	1	0,01	0,01
Электродвигатель	4	9	36
Выключатель автоматический	5	0,3	1,5
Клапан	1	0,5	0,5
Сумма:			201,32

Интенсивность отказов:

$$\Lambda = \sum \lambda_i \cdot n_i, \quad (8.1)$$

где λ_i – интенсивность отказов отдельного элемента системы;

n_i – количество единиц элементов для определенного значения λ_i .

Согласно расчету, приведенному в таблице 8.1: $\Lambda = 201,32 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		45

Тогда наработка до первого отказа системы равна

$$T_{cp} = 1/\Lambda = 1/211,32 \cdot 10^{-6} = 4,97 \cdot 10^3 \text{ ч.} \quad (8.2)$$

Вероятность безотказной работы за 1000 ч:

$$P(\tau) = (1 - \Lambda t) = (1 - 201,32 \cdot 10^{-6} \cdot 1000) = 1 - 0,201 = 0,799. \quad (8.3)$$

Вывод: наиболее наглядным показателем является вероятность безотказной работы системы за определенный интервал времени $P(\tau)$. По результатам вычислений из 1000 элементов в течении 1000 часов проработают безотказно 799 и 201 откажут. Значение вероятности $P(\tau) = 0,799$ говорит о том, что надежность не достаточно высокая, поэтому применим специальные методы обеспечения надежности. Из таблицы 8.1 видно, что наименее надежны датчики-реле давления, поэтому применим резервирование и на напорном трубопроводе для обеспечения надежности установим три датчика давления.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Коллич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		46

9 Разработка щита автоматики

С целью защиты аппаратуры от внешних воздействий ее следует устанавливать в щит. Основанием для разработки щита автоматики является полная принципиальная схема управления, контроля и сигнализации, представленная на листах 2 и 3 графической части проекта. В соответствии с данным чертежом устанавливаем состав аппаратов, устанавливаемых на фасаде (двери) щита, внутри щита и вне его. Аппаратура в щите автоматики компоуется согласно размерам монтажных зон аппаратов в пределах монтажной зоны плоскости щита в соответствии с рекомендуемыми размерами по высоте установки [18, с. 190].

Предварительно выписываем размеры аппаратов и их монтажных зон, способ крепления аппаратов на монтажных рейках в таблицы исходных данных для компоновки (таблицы 9.1–9.2). Производим компоновку аппаратов, устанавливаемых на задней стенке щита автоматики, на двери с учетом рекомендаций по их размещению. Подсчитываем монтажную зону, занимаемую аппаратами, и по большему значению выбираем щит шкафной малогабаритный типа ЩШМ-ЗД-1-1000×600×500 IP44 ОСТ 36.13–90. После этого производим окончательную компоновку.

На двери в верхней зоне размещаем 8 сигнальных ламп, ниже панель оператора, ниже вольтметр, еще ниже располагаем пакетный переключатель.

На задней стенке щита располагаем автоматические выключатели, магнитные пускатели, контроллер. В нижней части щита устанавливаем блоки зажимов.

Таблица 9.1 – Исходные данные для компоновки аппаратов на фасаде щита

Наименование прибора	Тип	Группа	Размер от края до оси прибора	Размеры по фланцу		Размеры монтажной зоны				Обозначение монтажного чертежа
				В	Н	В1	В2	Н1	Н2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HL1-HL8	СКЛ 14	3	90	19	19	25	25	25	25	ТМ4-1117-90

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		47

Окончание таблицы 9.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A2 – панель оператора	GOT1000	15	150	86,4	34,5	150	150	120	120	TM4-1148-90
PV1 – вольтметр	M42301	12	120	60	60	100	100	100	100	TM4-1248-90
SA1	Переключатель NEF30-Pcc	21	80	20	21	35	35	25	25	TM4-1224-90
Итого требуемая площадь $S_f = 1355 \text{ см}^2$										
Монтажная площадь фасада щита ЩШМ 1000×600 $S_{щ} = 5318,4 \text{ см}^2$										

Таблица 9.2 – Исходные данные для компоновки аппаратуры внутри щита

Условное наименование	Рисунок	Аппарат	Количество (N)	Монтажная зона аппарата, мм						Габариты и установленные размеры аппарата, мм						Максимальное количество в щите	Установочная конструкция	Необходимая для аппарата площадь, см ²	
				L	B	h		hl		L1	H	B1	A	A1					
						min	max	min	max					min	max				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
-	6	A1 – Контроллер FX2N-32 MR-ES/UL	1	130	90	100	100	100	100	124,6	52	90	-	-	-	-	-	DIN-рейка	260
6	1	KK1-KK3 – реле электротепловое токовое РТЛ-1007	3	120	76	65	65	65	65	91	64	75	-	-	-	-	-	DIN-рейка	468
237	2	KM1...KM3 – пускатель магнитный ПМЛ-1160МБ	3	65	74	70	130	70	70	44	67	74	50	64	104	-	-	DIN-рейка	273
240	2	KM4 – пускатель магнитный ПМЛ-2160МБ	1	80	90	70	130	75	56	77	89	74	50	64	104	-	-	DIN-рейка	116
281	2	QF1-QF5 – выключатель ВА 47-29-3P-B, 400 В, 50 Гц,	5	55	119	100	160	100	100	35	143,5	119	110	124	164	-	-	DIN-рейка	715

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		48

Окончание таблицы 9.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
275	6	SF1 – выключатель АЕ2031М-20Н-20У3-А	1	18	75	65	65	65	65	17,5	74,4	75					-	DIN-рейка	23,4
-	2	UZ1 – преобразователь частоты	1	200	150	200	150	200	150	250	300	120	200					ТКЗ-286-90	400
1		ХТ1-ХТ4	11																400
Итого требуемая площадь: 1012,4 см ²																			
Внутренняя монтажная зона щита ЩШМ: 4420 см ²																			

Документация на щит автоматики приведена листах 7–11 графической части проекта.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		49

10 Разработка монтажной документации

К монтажной документации относятся таблицы соединений (раскрывает соединения между аппаратами) и подключений (раскрывает подключения к аппаратам в щите автоматики), а также схемы соединений внешних проводов, раскрывающие внешние соединения со щитом автоматики. Разработка этой документации подчиняется требованиям [16, с. 256–267]. Схема соединений внешних проводов приведена на листе 12 графической части, таблицы соединений – на листах 13–16 и таблицы подключений – на листах 17–19.

						02.49.026.21 - ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

Заключение

В курсовом проекте проанализированы требования к системе автоматизации насосной станции, определен объем автоматизации насосной станции, вид автоматического устройства управления – автомат. Алгоритм управления предусматривает реализацию каскадного режима работы насоса № 1 и 2, в случае аварийного режима подключение насоса № 3, а работа подающего насоса организуется в зависимости от величины давления в напорной сети. Алгоритм управления реализован в структуре управления, реализованной в программе управления на базе контроллера FX2N-32MR-ES/UL, к которому подключена панель оператора GOT. На основной экран панели оператора контроллера вынесены контролируемые параметры и предусмотрена возможность ручного управления насосами.

Показатели качества в контуре регулирования: $t_{\text{рег}} = 20$ с, $Y_{\text{уст}} = 1$, перерегулирование около 17 %, что говорит о приемлемом качестве регулирования.

Вероятность безотказной работы равна 0,799 (за 1000 часов), поэтому для обеспечения более высокой надежности применен метод резервирования: предусмотрена установка трех датчиков давления в напорном трубопроводе.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		51

Список использованных источников

1. Альбом типовых решений для систем водоснабжения и водоотведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.plcsystems.ru. – Дата доступа : 29.09.2021.

2. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2007. – 592 с.

3. Программируемые логические контроллеры MitsubishiElectric серии FX2N(C). – Режим доступа : http://www.es-electro.ru/market/goods/seriya_fx2n_c. – Дата доступа : 25.10.2021.

4. Якубовская, Е. С. Проектирование и САПР систем автоматизации : практикум / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2008. – 204 с.

5. Поставщик современных систем и средств автоматизации для всех отраслей промышленности [Электронный ресурс] // Автоматика-север. – Режим доступа : <http://www.avtomatika.info>. – Дата доступа : 15.09.2021.

6. Датчик уровня воды [Электронный ресурс] // РусАвтоматизация. Подбор и поставка оборудования для автоматизации. – Режим доступа : <http://rusautomation.ru/poplavkovye>. – Дата доступа : 25.10.2021.

7. Аналоговые датчики давления воды Danfoss [Электронный ресурс] // REINOLDS. – Режим доступа : http://reinolds.com.ua/equipment/chastotniki/datch_danfoss.php. – Дата доступа : 25.10.2021.

8. Преобразователи частоты HITACHI : руководство пользователя. – HITACHI, 2007. – 151 с.

9. Программируемый контроллер MELSEC FX: программирование. – MITSUBISHI, 2008. – 701 с.

10. Технология и генеральный план насосной станции [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.0zd.ru/fizika_i_energetika/elektrosnabzhenie_nasosnoj_stancii.html. – Дата доступа : 25.09.2021.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колоч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		52

11. Сидоренко, Ю. А. Теория автоматического управления : учебное пособие / Ю. А. Сидоренко. – Минск : БГАТУ, 2007. – 124 с.

12. Дьяконов, В. П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с. – (Серия «Библиотека профессионала»).

13. Нормы проектирования электрических сетей внешнего электро-снабжения напряжением 0,4–10 кВ сельскохозяйственного назначения : ТКП 385–2012 (02230). – Введ. 19.04.2012. – Минск : Минскэнерго, 2009. – 102 с.

14. Основы проектирования энергооборудования : методические рекомендации к курсовому проекту / сост.: В. Е. Шестерень, И. Н. Шаукат, А. А. Дацук. – Минск : БГАТУ, 2005. – 56 с.

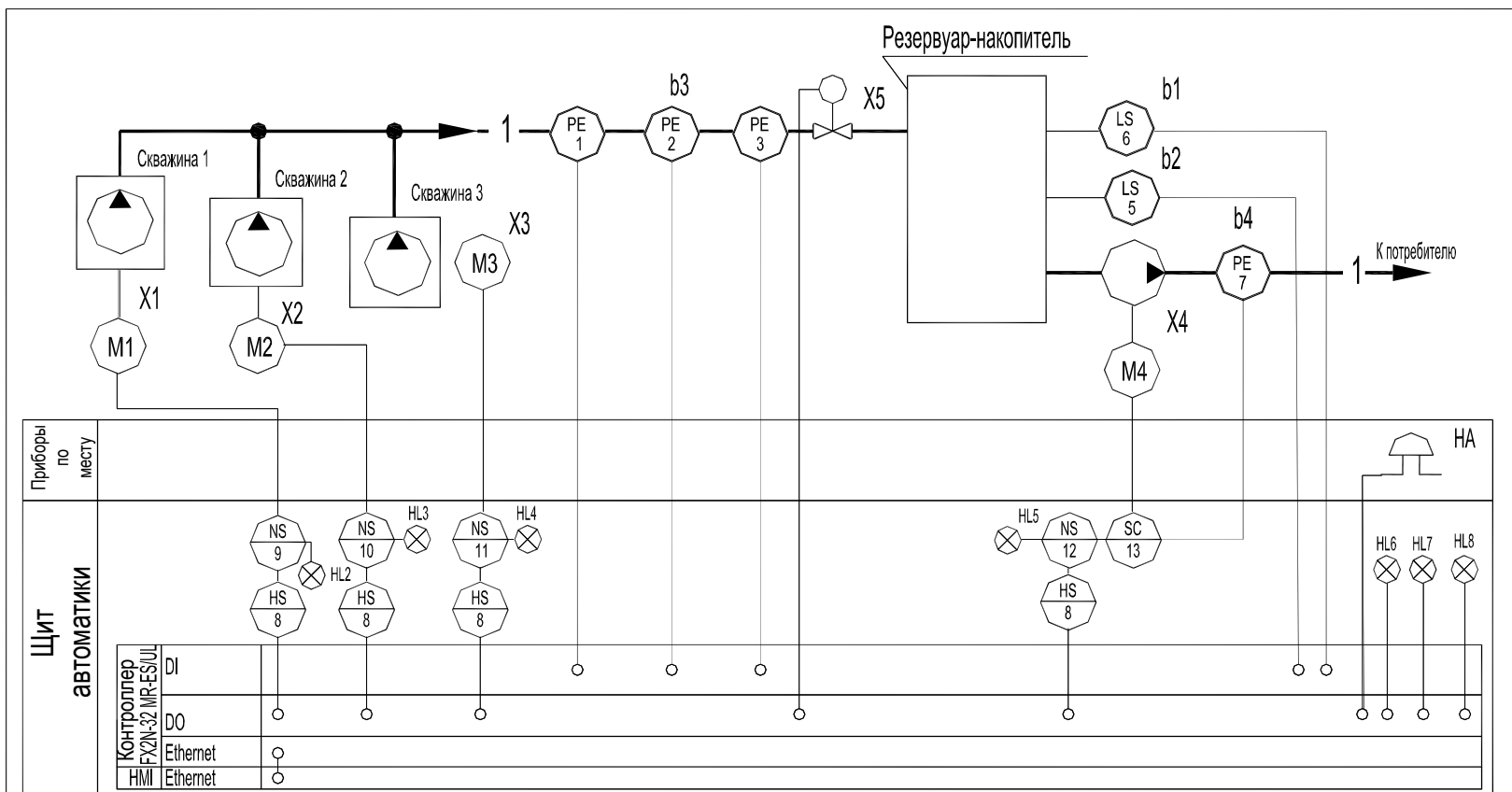
15. Кардашов, П. В. Проектирование электроустановок. Практикум : учебно-методическое пособие / П. В. Кардашов, Н. И. Павликова, О. В. Бондарчук. – Минск : БГАТУ, 2019. – 144 с.

16. Якубовская, Е. С. Проектирование систем автоматизации : учебное пособие / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2018. – 360 с.

17. Правила устройства электроустановок. – 6 изд., перераб. и доп. – Минск : Дизайн ПРО, 2007. – 720 с.

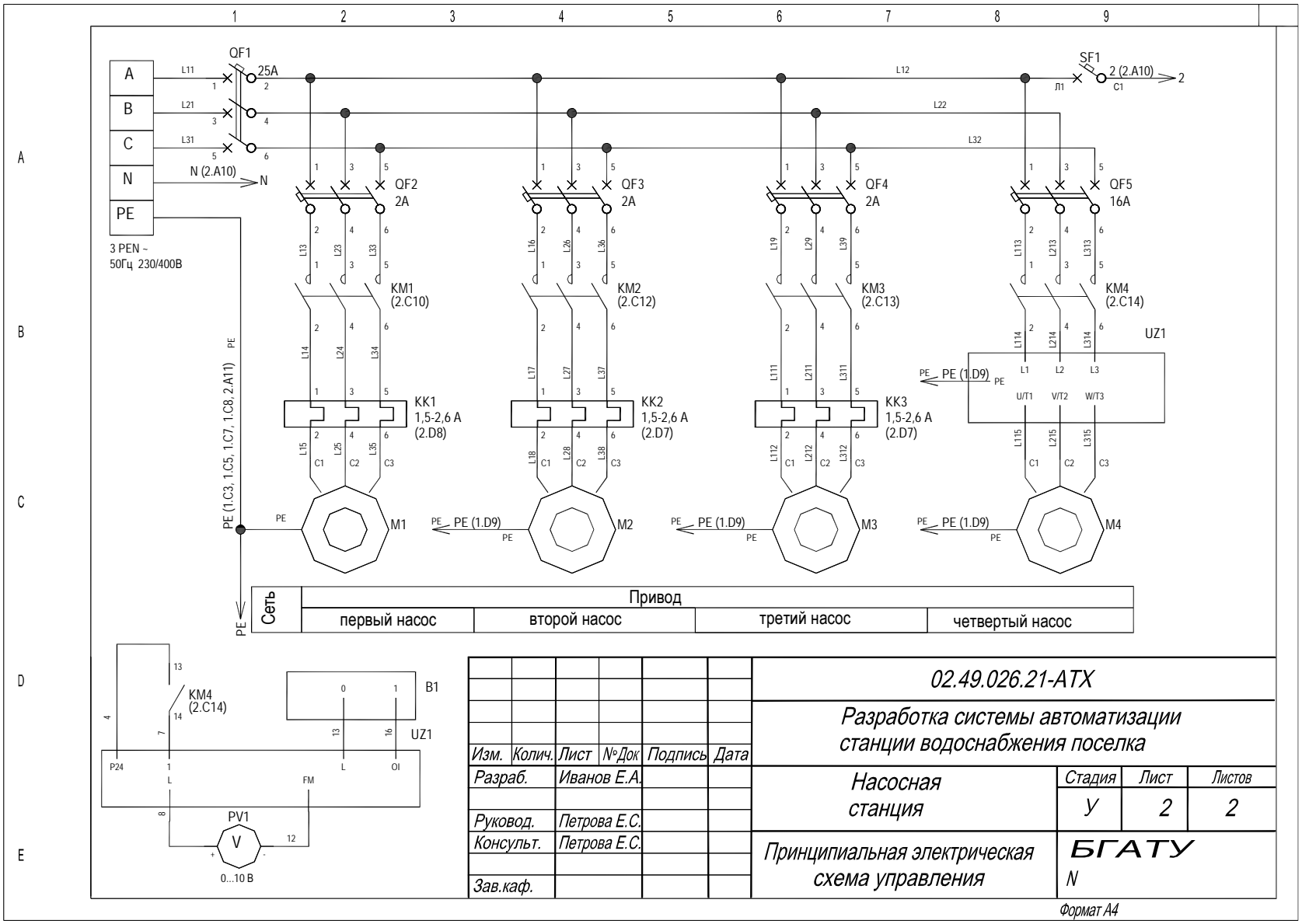
18. Якубовская, Е. С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / Е. С. Якубовская, С. Н. Фурсенко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 312 с.

						02.49.026.21 - ПЗ	Лист
Изм.	Колич.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		53



					02.49.026.21-АТХ					
					Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка					
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№-Док</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Насосная станция		<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Иванов Е.А.</i>						<i>У</i>		1
<i>Руковод.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>				Схема автоматизации		БГАТУ		
<i>Консульт.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>								
<i>Зав.каф.</i>						БГАТУ		N		

Формат А4



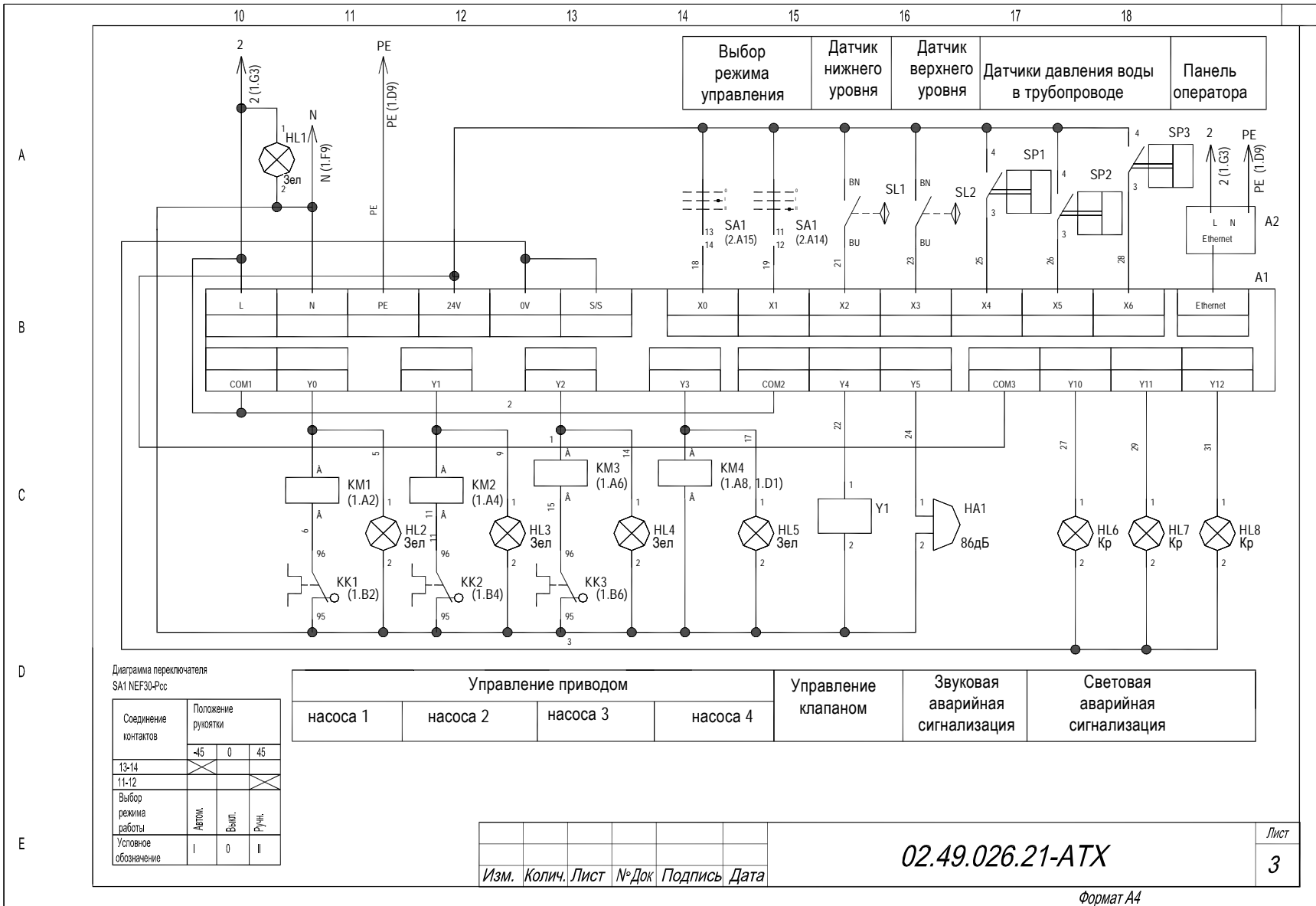


Диаграмма переключателя SA1 NEF30-Rcc

Соединение контактов	Положение рукоятки		
	-45	0	45
13-14			
11-12			
Выбор режима работы	Автом.	Выст.	Ручн.
	I	0	II
	Условное обозначение		

Управление приводом				Управление клапаном	Звуковая аварийная сигнализация	Световая аварийная сигнализация
насоса 1	насоса 2	насоса 3	насоса 4			

Изм.	Колич.	Лист	№ Док	Подпись	Дата

02.49.026.21-АТХ

Лист
3

Формат А4

Позиц. обозна- чения	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>По месту</u>		
B1	Реле давления воды Danfoss	1	
HA1	Звонок ЗВП220УХЛ5, 220 В, 50 Гц, IPX5 ТУ16-425047-85	1	
M1...M3	Двигатель АИР71В6У3, 0,55 кВт, 400 В, 50 Гц, 1000 об/мин		
	ТУ РБ-05755950-420-93	3	
M4	Двигатель АИР132S4У3, 7,5 кВт, 400 В, 50 Гц, 3000 об/мин		
	ТУ РБ-05755950-420-93	1	
SL1, SL2	Емкостной датчик BC10-S30-Y0X	2	
SP1...SP3	Реле давления Д210-11	3	
Y1	Электромагнит гидрораспределителя, 24 В	1	
	<u>Щит автоматики</u>		
A1	Базовый модуль FX2N-32 MR-ES/UL 141274	1	
A2	Панель оператора GOT1000	1	
HL1	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-220, зеленый ЕНСК.433137.014 ТУ	1	
HL2...HL5	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-24, зеленый ЕНСК.433137.014 ТУ	4	
HL6...HL8	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-24, красный ЕНСК.433137.014 ТУ	3	
02.49.026.21-АТХ			
<i>Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Док</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Иванов Е.А.</i>		
<i>Руковод.</i>	<i>Петрова Е.С.</i>		
<i>Консульт.</i>	<i>Петрова Е.С.</i>		
<i>Зав.каф.</i>			
Насосная станция		<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>
		У	4
Перечень элементов		БГАТУ	<i>Листов</i>
		N	2

Формат А4

Принципиальная схема питающей сети

Магистраль	Участок сети 1 Аппарат отходящей линии (ввода): I _{ном} , А, расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети 2 Аппарат ввода в распределительное устройство или пусковой аппарат: обозначение, тип, I _{ном} , А, расцепитель или плавкая вставка, А	Кабель, провод				Труба		Распределительное устройство или электроприемник					
			Участок сети Обозначение	Марка	Кол-во и сечение жил	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Р _{уст} или Р _{ном} , кВт	I _{уст} или I _{ном/прот.} , А	Наименование, тип, обозначение чертежа принципиальной схемы		
ВРУ ВРУ-1-11-54- М-УЗІР54		QF1 ВА-47-29-3Р-В 63 25	-											
			2	ЩАН1	АВВГ	5x4	20	Т	-	ЩА	9,2	18,4 150	Щит автоматики	
				1	В1	АВВ6ШВ	4x25	**	в траншее	**	норм.	9,2	18,4 150	Ввод N1 от ТП
		QS1 ВР32 250		-										
				-					авар.	14,2	26			
				1	В2	АВВ6ШВ	4x25	**	в траншее	**	норм.	5,0	9	Ввод N2 от ТП
		QS1 ВР32 250		-										
				-					авар.	14,2	26			
			QF ВА-47-29-3Р-В 63 12	-										
				2	ЩОН1	АВВГ	5x4	10	ск.	10	ЩО	5,0	9	Щиток электроосвещения
				-										

Принципиальная схема распределительной сети

Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (ввода): обозначение, тип, $I_{ном}$, А, расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети I	Пусковой аппарат: обозначение, тип, $I_{ном}$, А, расцепитель или плавкая вставка, А	Кабель, провод				Труба		Электроприемник				
				Участок сети 2	Участок сети	Обозначение	Марка	Концы и сечение жил	Длина, м	Обозначение на плане: - в трубах - Т, - на скобах ск	Длина, м	Обозначение	Р _{уст} или Р _{ном} , кВт	Иванс или $I_{ном}/I_{уст}$, А
Щит ЩШМ $P_y = 9,2$ кВт $I_p = 18,4$ А	QF2 ВА-47-29-3P-B 63 2	KM1 ПМЛ-1160	1	1Н1	АВВГ	4x2,5	2	ск	2	1	0,55	$\frac{1,8}{8,1}$	Насос 1	
			2	1Н2	АВВГ	4x2,5	37	Т	37					
	QF3 ВА-47-29-3P-B 63 2	KM2 ПМЛ-1160	1	2Н1	АВВГ	4x2,5	2	ск	2	2	0,55	$\frac{1,8}{8,1}$	Насос 2	
			2	2Н2	АВВГ	4x2,5	38	Т	38					
	QF4 ВА-47-29-3P-B 63 2	KM3 ПМЛ-1160	1	3Н1	АВВГ	4x2,5	2	ск	2	3	0,55	$\frac{1,8}{8,1}$	Насос 3	
			2	3Н2	АВВГ	4x2,5	40	Т	40					
	QF5 ВА-47-29-3P-B 63 16	KM4 ПМЛ-2160 UZ1	1	4Н1	АВВГ	4x2,5	2	ск	2	4	7,5	$\frac{16,0}{120,0}$	Насос 4	
			2	4Н2	АВВГ	4x2,5	37	Т	37					

** Длины трасс перед нарезкой уточнить

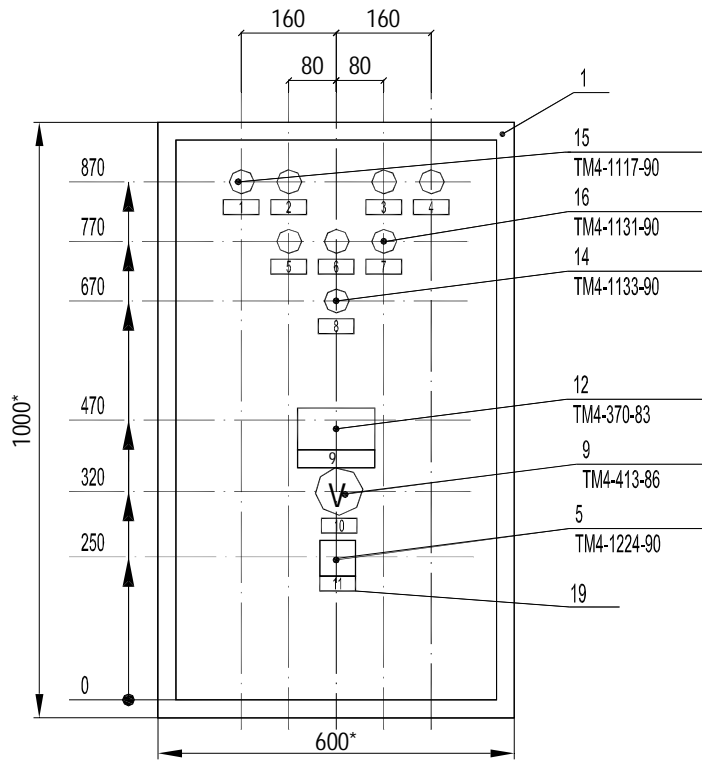
						02.49.026.21-АТХ		
						Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка		
Изм.	Колич.	Лист	№ Док	Подпись	Дата	Насосная станция		
Разраб.		Иванов Е.А.						
Руковод.		Петрова Е.С.				У	6	1
Консульт.		Петрова Е.С.				Принципиальная схема питающей и распределительной сети		
Зав.каф.								

Формат А2

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
		<u>Документация</u>				
	02.49.026.21-АТХ	Таблица соединений	1			
	02.49.026.21-АТХ	Таблица подключений	1			
		<u>Стандартные изделия</u>				
1		Щит ЩШМ-ЗД-1-1000х600х500	1			
2		Din-рейка	1,8	м		
3		Угольник УР15 ТКЗ-246-90	2			
		УХЛЗ.1 ОСТ 36.13-90				
		<u>Прочие изделия</u>				
4	SF1	Выключатель АЕ2033М-20Н-20У3-А 230 В, 50 Гц, 16 А, 12In ТУ16-522.148-80	1			
5	SA1	Кнопка поворотная NEF30-Рсс, I-0-II (stable/stable/stable), красный, XY, XY	1			
6	QF1	Выключатель ВА 47-29-3Р-В, 400 В, 50 Гц, 40 А ТУ-2000 АГИЕ.641.235.003	1			
7	QF2...QF4	ВА 47-29-3Р-В, 400 В, 50 Гц, 2 А	3			
02.49.026.21-АТХ						
Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка						
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№Док</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	
<i>Разраб.</i>		<i>Иванов Е.А.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>				
<i>Консульт.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>				
<i>Зав.каф.</i>						
			Насосная станция	<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
				У	7	5
			Щит автоматики. Общий вид	БГАТУ		
				N		

Формат А4

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
8	QF5	ВА 47-29-3Р-В, 400 В, 50 Гц, 16 А	1		
9	PV1	Вольтметр М42301, непосредственный способ включения, 0...10 В	1		
10	UZ1	Преобразователь частоты Hitachi SJ100-075HFE	1		
11	A1	Базовый модуль FX2N-32 MR-ES/UL 141274	1		
12	A2	Панель оператора GOT1000	1		
13		Пускатель магнитный ПМЛ-1160М Б, 230 В, 50 Гц ТУ~У~3.11-05814256-097-97	4		
14	HL1	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-220, зеленый ЕНСК.433137.014 ТУ	1		
15	HL2...HL5	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-24, зеленый ЕНСК.433137.014 ТУ	4		
16	HL6...HL8	Светодиодная индикаторная лампа СКЛ 14. В-Л-2-24, красный ЕНСК.433137.014 ТУ	3		
17	KK1...KK3	Реле электротепловое токовое РТЛ-100704, In = 1,5-2,6 А ТУ~16-523.549-82	3		
18	ХТ1...ХТ4	Áëî è çàæè î à Á324-Ï 16-Â/ÂÓÇ-10	4		
19		Рамка 66x26	11		
<u>Материалы</u>					
20		Провод ПВЗ, 1, красный, ГОСТ 6323-79	23,4	м	
21		Провод ПВЗ, 1, черный, ГОСТ 6323-79	17,2	м	
22		Провод ПВЗ, 2,5, красный, ГОСТ 6323-79	14,4	м	
23		Провод ПВЗ, 16, черный, ГОСТ 6323-79	11,2	м	
				Лист	
02.49.026.21-АТХ				8	
Изм.	Колич.	Лист	№ док	Подпись	Дата



1. * Размеры для справок
 2. Покрытие - вариант 2 ОСТ36.13-90

Изм.	Колич.	Лист	№ Док	Подпись	Дата

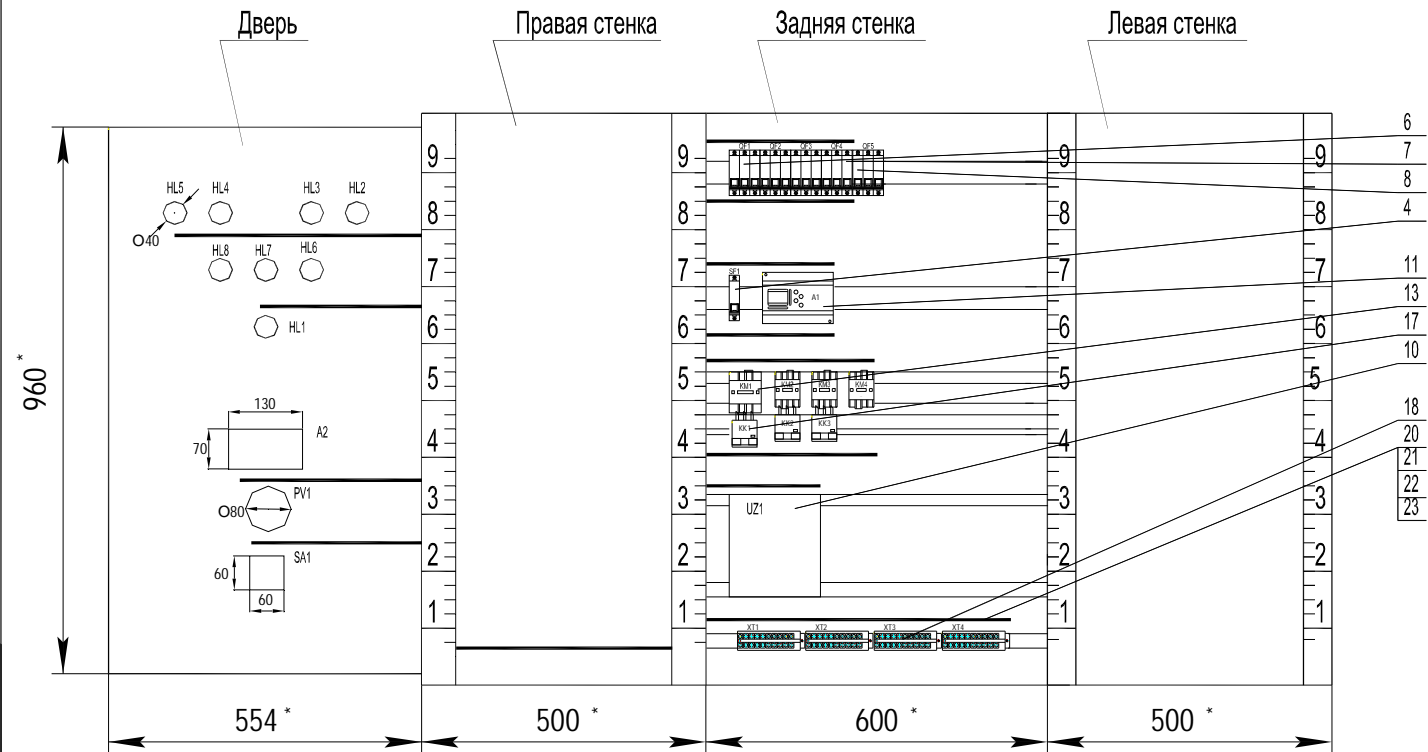
02.49.026.21-АТХ

Лист

9

Формат А4

Вид на внутренние плоскости (развернуто)



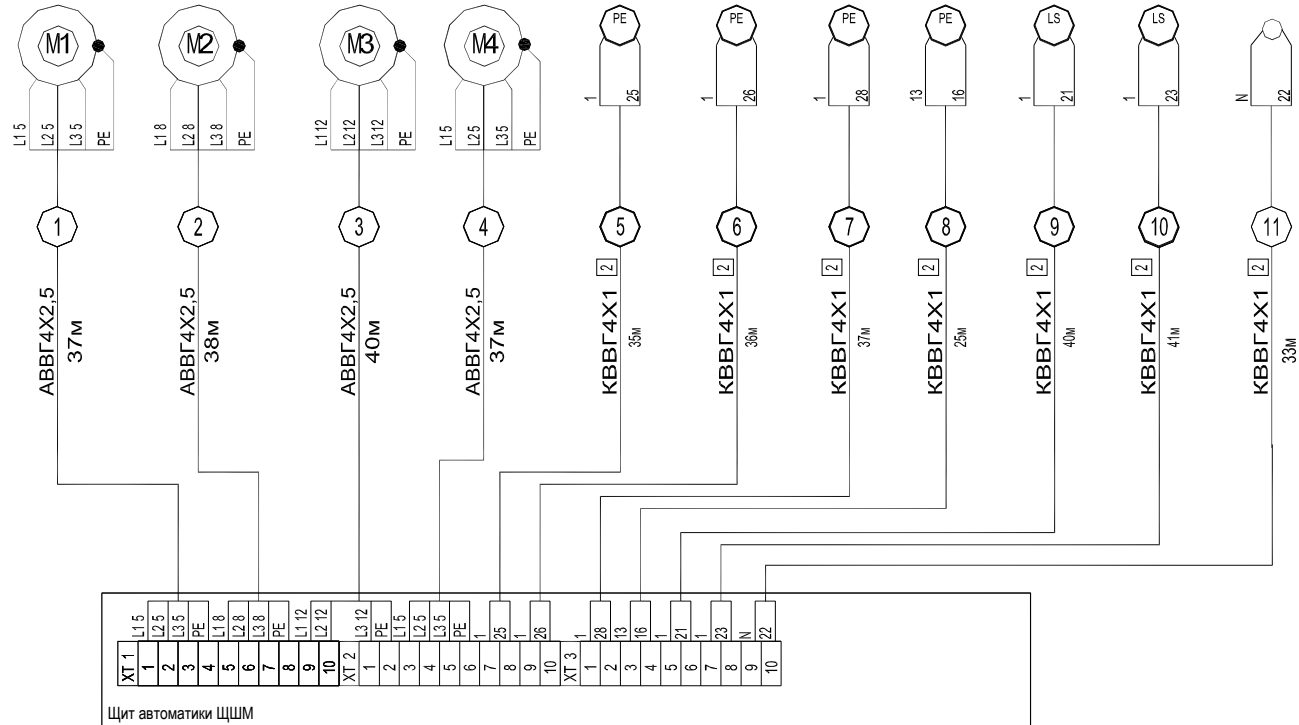
Изм.	Колич.	Лист	№ Док	Подпись	Дата

02.49.026.21-АТХ

Лист
10

Формат А4

Наименование параметра и место отбора импульса	Электро-двигатель первого насоса	Электро-двигатель второго насоса	Электро-двигатель третьего насоса	Электро-двигатель четвертого насоса	Датчик давления воды в трубопроводе 1	Датчик давления воды в трубопроводе 1	Датчик давления воды в трубопроводе 1	Датчик давления воды в трубопроводе 2	Датчик нижнего уровня	Датчик верхнего уровня	Клапан
Обозначение монтажного чертежа	TM4-303-83	TM4-303-83	TM4-303-83	TM4-303-83	TM4-307-83	TM4-307-83	TM4-307-83	TM4-307-83	TM4-306-83	TM4-306-83	TM4-206-83
Позиция	M 1	M 2	M 3	M 4	1	2	3	7	5	6	



*Длины трасс перед нарезкой уточнить

					02.49.026.21-АТХ			
					Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка			
Изм.	Кол.	Лист	№ Док	Подпись	Дата			
Разраб.	Иванов Е.А.							
Насосная станция						Стадия	Лист	Листов
Руковод. Петрова Е.С.						У	12	1
Консульт. Петрова Е.С.						БГАТУ		
Зав.каф.						N		

Формат А3

ТС

Проводник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание
L11	Ввод	QF1:1	ПВ3 16	
L12	QF1:2	QF2:1	ПВ3 16	
L12	QF1:2	SF1:Л1	ПВ3 16	
L12	QF2:1	QF3:1	ПВ3 16	
L12	QF3:1	QF4:1	ПВ3 16	
L12	QF4:1	QF5:1	ПВ3 16	
L13	QF2:2	KM1:1	ПВ3 2,5	
L14	KM1:2	KK1:1	ПВ3 2,5	
L15	KK1:2	XT1:1	ПВ3 2,5	
L16	QF3:2	KM2:1	ПВ3 2,5	
L17	KM2:2	KK2:1	ПВ3 2,5	
L18	KK2:2	XT1:5	ПВ3 2,5	
L19	QF4:2	KM3:1	ПВ3 2,5	
L111	KM3:2	KK3:1	ПВ3 2,5	
L112	KK3:2	XT1:9	ПВ3 2,5	
L113	QF5:2	KM4:1	ПВ3 16	
L114	KM4:2	UZ1:L1	ПВ3 16	
L115	UZ1:U/T1	XT2:3	ПВ3 16	
L21	Ввод	QF1:3	ПВ3 16	
L22	QF1:4	QF2:3	ПВ3 16	
L22	QF2:3	QF3:3	ПВ3 16	
L22	QF3:3	QF4:3	ПВ3 16	
L22	QF4:3	QF5:3	ПВ3 16	

						02.49.026.21-АТХ			
						<i>Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Док</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Иванов Е.А.</i>				<i>Насосная станция</i>	<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
							<i>У</i>	<i>13</i>	<i>4</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>				<i>Таблица соединений</i>	БГАТУ		
<i>Консульт.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>					<i>N</i>		
<i>Зав. каф.</i>									

Формат А4

Проводник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание
L23	QF2:4	KM1:3	ПВ3 2,5	
L24	KM1:4	KK1:3	ПВ3 2,5	
L25	KK1:4	ХТ1:2	ПВ3 2,5	
L26	QF3:4	KM2:3	ПВ3 2,5	
L27	KM2:4	KK2:3	ПВ3 2,5	
L28	KK2:4	ХТ1:6	ПВ3 2,5	
L29	QF4:4	KM3:3	ПВ3 2,5	
L211	KM3:4	KK3:3	ПВ3 2,5	
L212	KK3:4	ХТ1:10	ПВ3 2,5	
L213	QF5:4	KM4:3	ПВ3 16	
L214	KM4:4	UZ1:L2	ПВ3 16	
L215	UZ1:V/T2	ХТ2:4	ПВ3 16	
L31	Ввод	QF1:5	ПВ3 16	
L32	QF1:6	QF2:5	ПВ3 16	
L32	QF2:5	QF3:5	ПВ3 16	
L32	QF3:5	QF4:5	ПВ3 16	
L32	QF4:5	QF5:5	ПВ3 16	
L33	QF2:6	KM1:5	ПВ3 2,5	
L34	KM1:6	KK1:5	ПВ3 2,5	
L35	KK1:6	ХТ1:3	ПВ3 2,5	
L36	QF3:6	KM2:5	ПВ3 2,5	
L37	KM2:6	KK2:5	ПВ3 2,5	
L38	KK2:6	ХТ1:7	ПВ3 2,5	
L39	QF4:6	KM3:5	ПВ3 2,5	
L311	KM3:6	KK3:5	ПВ3 2,5	
L312	KK3:6	ХТ2:1	ПВ3 2,5	
L313	QF5:6	KM4:5	ПВ3 16	
L314	KM4:6	UZ1:L3	ПВ3 16	
L315	UZ1:W/T3	ХТ2:5	ПВ3 16	
1	A1:24V	A1:COM3	ПВ3 1	
1	A1:24V	SA1:13	ПВ3 1	
				Лист
				14
02.49.026.21-ATX				
Изм.	Колич.	Лист	№ Док	Подпись
				Дата

Проводник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание	
1	SA1:13	SA1:11	ПВ3 1		
1	SA1:13	ХТ2:7	ПВ3 1		
1	ХТ2:7	ХТ2:9	ПВ3 1		
1	ХТ2:9	ХТ3:1	ПВ3 1		
1	ХТ3:1	ХТ3:5	ПВ3 1		
1	ХТ3:5	ХТ3:7	ПВ3 1		
2	SF1:C1	A1:L	ПВ3 1		
2	SF1:C1	HL1:1	ПВ3 1		
2	A1:L	A1:COM1	ПВ3 1		
2	A1:COM1	A1:COM2	ПВ3 1		
3	A1:0V	A1:S/S1	ПВ3 1		
3	A1:0V	HL6:2	ПВ3 1		
3	HL6:2	HL7:2	ПВ3 1		
3	HL6:2	HL8:2	ПВ3 1		
4	UZ1:P24	KM4:13	ПВ3 1		
5	A1:X0	KM1:A	ПВ3 1		
5	A1:X0	HL2:1	ПВ3 1		
6	KM1:B	KK1:96	ПВ3 1		
7	KM4:14	UZ1:1	ПВ3 1		
8	UZ1:L	PV1:+	ПВ3 1		
9	A1:Y1	KM2:A	ПВ3 1		
9	A1:Y1	HL3:1	ПВ3 1		
11	KM2:B	KK2:96	ПВ3 1		
12	UZ1:FM	PV1:-	ПВ3 1		
13	ХТ3:3	UZ1:L	ПВ3 1		
14	A1:Y2	KM3:A	ПВ3 1		
14	A1:Y2	HL4:1	ПВ3 1		
15	KM3:B	KK3:96	ПВ3 1		
16	ХТ3:4	UZ1:OI	ПВ3 1		
17	A1:Y3	KM4:A	ПВ3 1		
17	A1:Y3	HL5:1	ПВ3 1		
				Лист	
				15	
Изм.	Копич.	Лист	№ Док	Подпись	Дата

02.49.026.21-АТХ

Формат А4

Проводник	Откуда идет	Куда поступает	Данные провода	Примечание				
18	SA1:14	A1:X0	ПВ3 1					
19	SA1:12	A1:X1	ПВ3 1					
21	ХТ3:6	A1:X2	ПВ3 1					
22	A1:Y4	ХТ3:10	ПВ3 1					
23	ХТ3:8	A1:X3	ПВ3 1					
24	A1:Y5	HA1:1	ПВ3 1					
25	ХТ2:8	A1:X4	ПВ3 1					
26	ХТ2:10	A1:X5	ПВ3 1					
27	A1:Y10	HL6:1	ПВ3 1					
28	ХТ3:2	A1:X6	ПВ3 1					
29	A1:Y11	HL7:1	ПВ3 1					
31	A1:Y12	HL8:2	ПВ3 1					
N	Ввод	A1:N	ПВ3 1					
N	A1:N	KK1:95	ПВ3 1					
N	KK1:95	KK2:95	ПВ3 1					
N	KK2:95	KK3:95	ПВ3 1					
N	KK1:95	HL2:2	ПВ3 1					
N	HL2:2	HL3:2	ПВ3 1					
N	HL3:2	HL4:2	ПВ3 1					
N	HL4:2	HL5:2	ПВ3 1					
N	KK3:95	KM4:B	ПВ3 1					
N	KM4:B	HA1:2	ПВ3 1					
N	KM4:B	ХТ3:9	ПВ3 1					
PE	Ввод	ХТ1:4	ПВ3 2,5					
PE	ХТ1:4	ХТ1:8	ПВ3 2,5					
PE	ХТ1:8	ХТ2:2	ПВ3 2,5					
PE	ХТ2:2	ХТ2:6	ПВ3 16					
PE	ХТ2:6	A1:PE	ПВ3 1					
PE	A1:PE	UZ1:PE	ПВ3 1					
Изм.	Колич.	Лист	№ Док	Подпись	Дата	02.49.026.21-ATX		Лист
								16

тр	Проводник					Проводник					
	Проводник	Вывод	Вид конт.	Вывод	Проводник	Проводник	Вывод	Вид конт.	Вывод	Проводник	
			Дверь					Задняя стенка			
			HL5					QF1			
17	1		2	N	L11	1	3	2	L12		
			HL4		L21	3	3	4	L22		
14	1		2	N	L31	5	3	6	L32		
			HL3					QF2			
9	1		2	N	L12	1	3	2	L13		
			HL2		L22	3	3	4	L23		
5	1		2	N	L32	5	3	6	L33		
			HL8					QF3			
31	1		2	3	L12	1	3	2	L16		
			HL7		L22	3	3	4	L26		
29	1		2	3	L32	5	3	6	L36		
			HL6					QF4			
27	1		2	3	L12	1	3	2	L19		
			HL1		L22	3	3	4	L29		
2	1		2	N	L32	5	3	6	L39		
			PV1					QF5			
8	+		-	12	L12	1	3	2	L113		
			SA1		L22	3	3	4	L213		
3	11		12	19	L32	5	3	6	L313		
3	13		14	18							
02.49.026.21-АТХ											
<i>Разработка системы автоматизации станции водоснабжения поселка</i>											
<i>Изм.</i>	<i>Колич.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Док</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Насосная станция			<i>Стадия</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Иванов Е.А.</i>							У	17	3
<i>Руковод.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>				Таблица подключений			БГАТУ		
<i>Консульт.</i>		<i>Петрова Е.С.</i>									
<i>Зав.каф.</i>						N					

Формат А4

Приложение Г (обязательное)

Некоторые требования к оформлению курсового проекта

При оформлении ПЗ следует руководствоваться положениями ГОСТ 2.105–95 [50].

Текстовые материалы ПЗ выполняются на листах белой машинописной бумаги, оформленных рамками в соответствии с рисунком Г.1. Отдельные материалы ПЗ (развернутые таблицы, иллюстрации, схемы) могут быть выполнены на листах формата А3. 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».

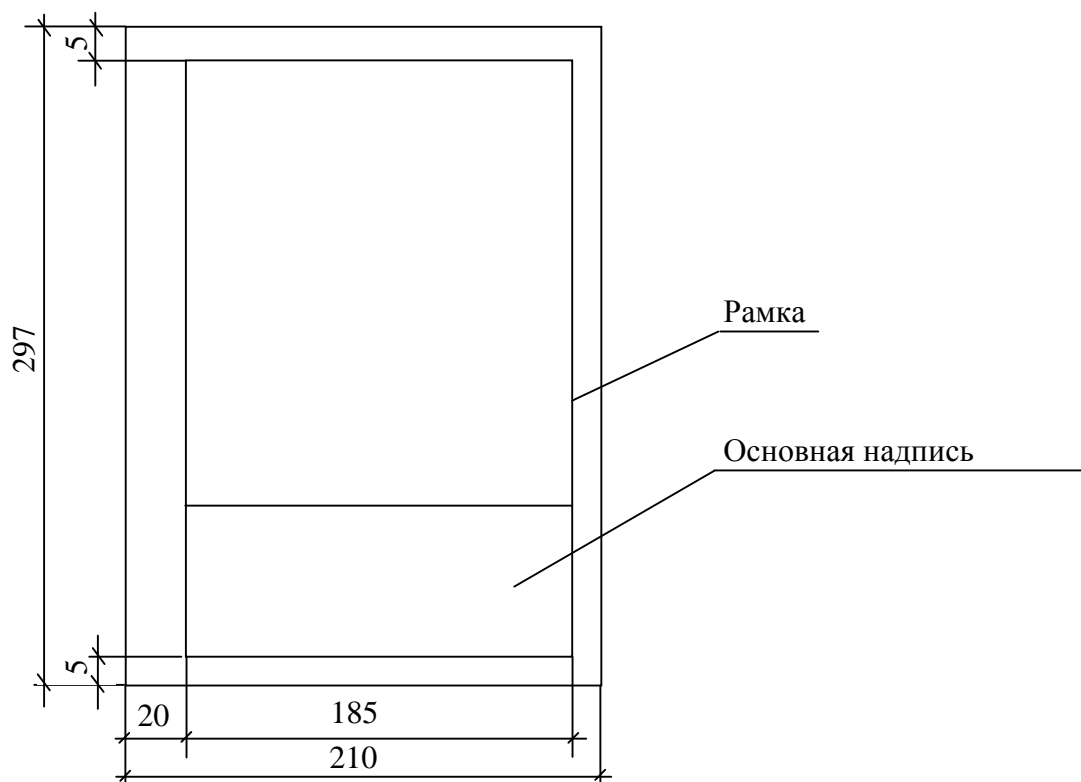


Рисунок Г.1 – Компоновка и размеры листа текстовой части ПЗ

Текст записки набирают в текстовом редакторе Word, используя шрифты Times New Roman размером 14 pt (пунктов) с полуторным интервалом, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 1,25 см.

Основные надписи на листах пояснительной записки и графической части выполняют по формам согласно СТБ 2255–2012 [51].

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

1) форма рисунка Г.2 – для чертежей генпланов с инженерными сетями, планов зданий и сооружений с размещением оборудования, чертежей схем электрических, технологических и т. п.;

2) форма рисунка Г.3 – для первого листа ПЗ, с которого начинается изложение текстовой части;

3) форма рисунка Г.4 – для последующих листов чертежей и ПЗ.

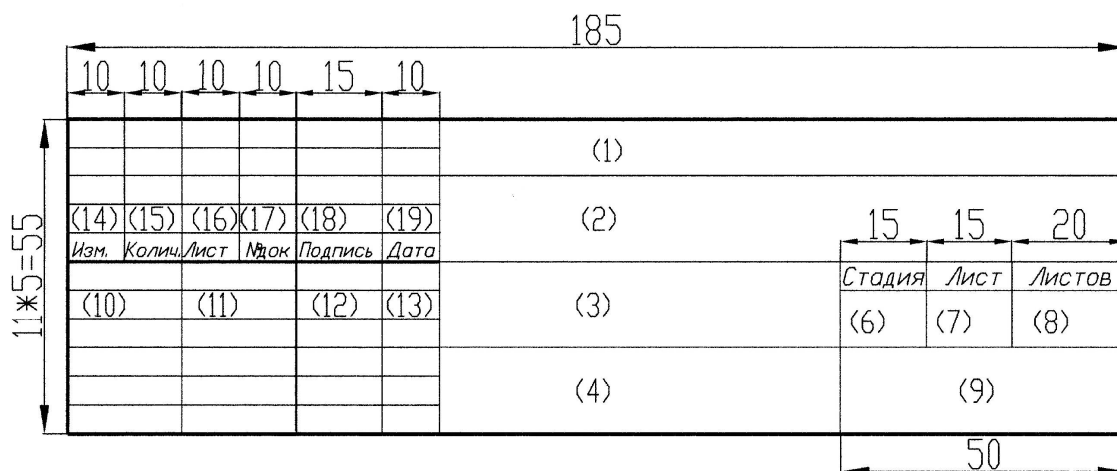


Рисунок Г.2 – Форма основной надписи, которая применяется для листов графической части и листа ведомости комплекта проектной документации

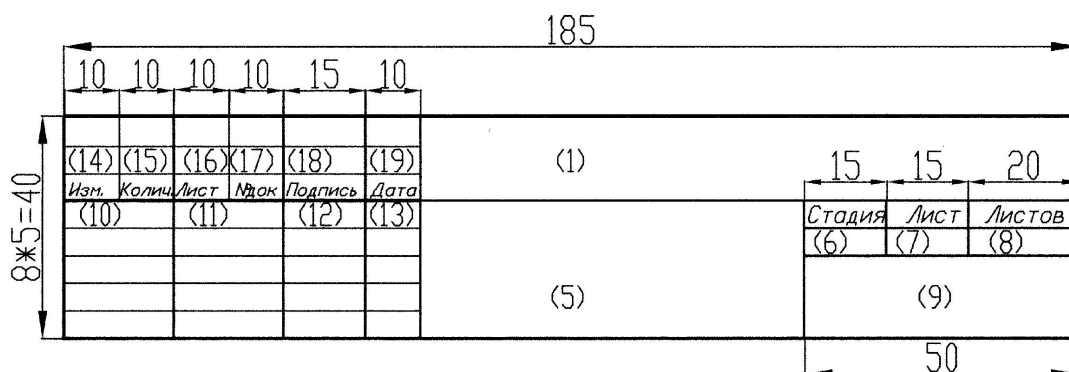


Рисунок Г.3 – Форма основной надписи, которая применяется для листа ПЗ, с которой начинается изложение текстовой части записки (обычно лист «Содержание»)

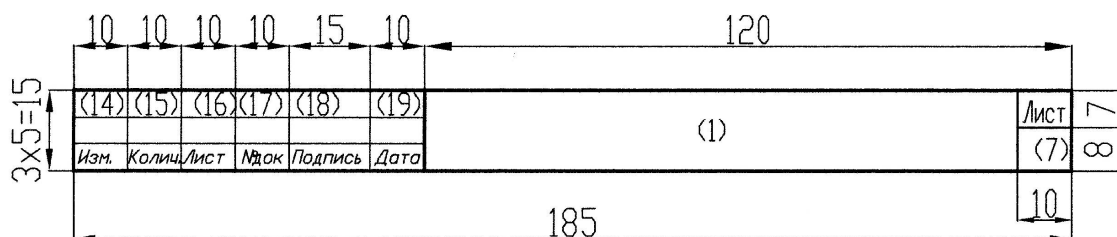


Рисунок Г.4 – Форма основной надписи, которая применяется для последующих листов ПЗ и чертежей

В графах основной надписи (на рисунках Г.2, Г.3, Г.4 номера граф показаны в скобках) указывают:

- а) в графе 1 – обозначение проектной документации – маркировка документа:
 - базовое обозначение;
 - добавляемая через дефис марка разрабатываемых чертежей.

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: 01 – дипломный проект, 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.

Для направления специальности 1-53 01 01-09 основная марка – «А...» с добавлением марки того раздела, автоматизация процессов по которому выполняется. Например: АОВ – автоматизация систем отопления и вентиляции, АТХ – автоматизация технологических процессов; АВК – автоматизация систем водоснабжения и канализации; АХС – автоматизация холодильной установки; АВС – автоматизация компрессорной станции и т. д.;

б) в графе 2 – тему дипломного проекта (курсового проекта). Допускается в отдельных случаях опускать название спецвопроса темы;

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

г) в графе 4 – наименование изображения или материала, помещенного на данном листе, то есть 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;

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

е) в графе 6 – условное обозначение стадии проектирования: «С» (строительный проект) – для дипломного проекта и «У» – учебный проект в курсовом проектировании;

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

з) в графе 8 – общее число листов документа;

и) в графе 9 на первой строке записывают наименование организации, разработавшей документ (БГАТУ), на второй строке – шифр зачетки студента;

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

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

м) в графе 12 – подписи;

н) в графе 13 – даты.

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

Приложение Д (обязательное)

Требования к оформлению схем автоматизации

Схема автоматизации – основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (то есть определяющий структуру и функциональные связи между технологическим процессом и средствами автоматизации).

Согласно ГОСТ 21. 408–2013 [55] на схеме автоматизации изображают:

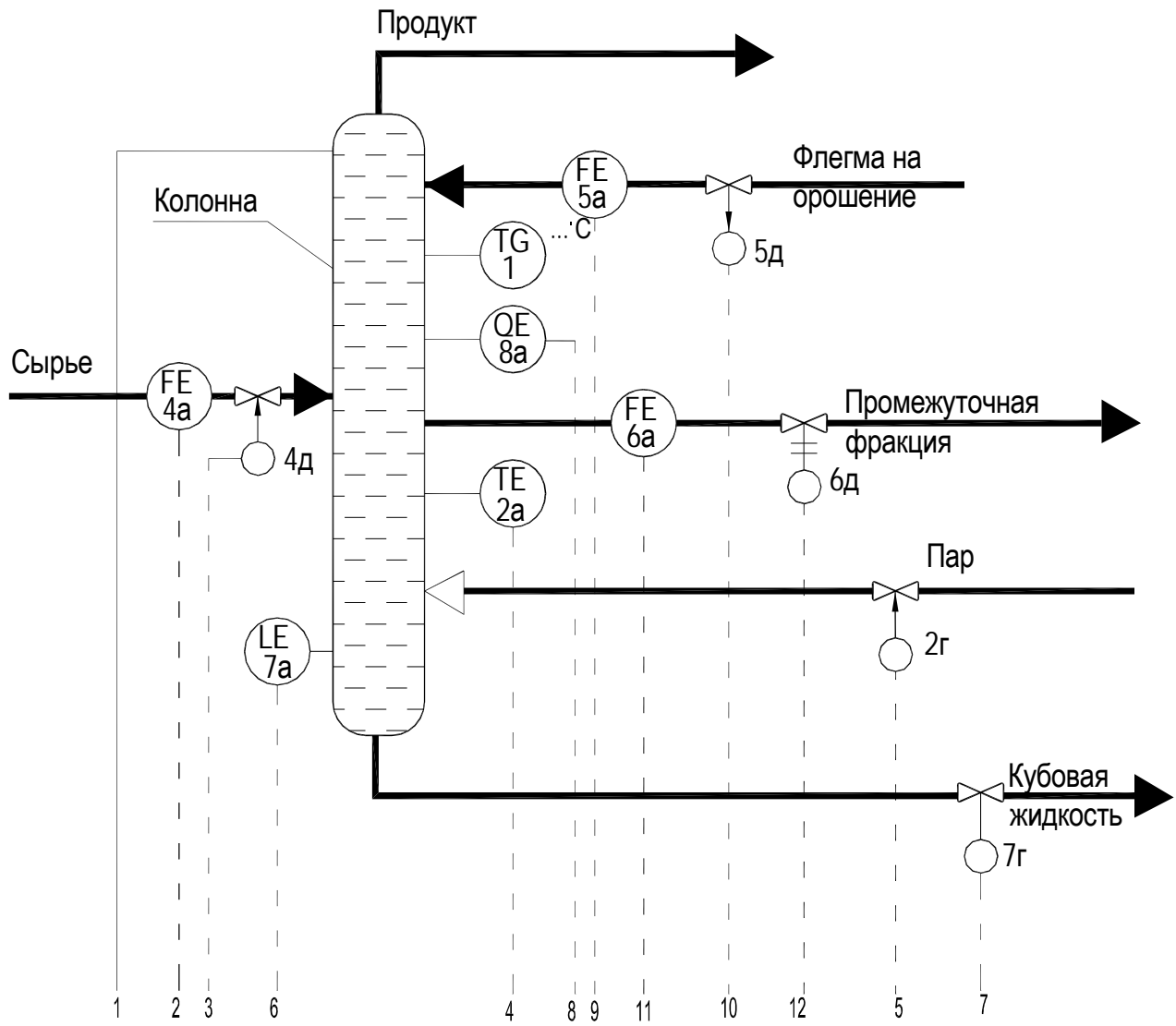
- 1) технологическое и инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, газоходы, воздухопроводы) автоматизируемого объекта;
- 2) технические средства автоматизации или контуры контроля, регулирования и управления (контур – совокупность отдельных функционально связанных приборов, выполняющих определенную задачу по контролю, регулированию, сигнализации, управлению и т. д.);
- 3) линии связи между отдельными техническими средствами автоматизации или контурами (при необходимости).

Также при необходимости на поле чертежа даются пояснения и таблица условных обозначений, не предусмотренных действующими стандартами.

Схемы автоматизации выполняют двумя способами:

- 1) развернутым, при котором на схеме изображают состав и место расположения технических средств автоматизации каждого контура контроля и управления. Пример выполнения схемы по первому варианту приведен на рисунке Д.1;
- 2) упрощенным (рисунок Д.2), при котором на схеме изображают основные функции контуров контроля и управления (без выделения входящих в них отдельных технических средств автоматизации и указания места расположения).

В последнем случае контур независимо от количества входящих в него элементов изображают в виде окружности (овала), разделенной горизонтальной чертой. В верхнюю часть окружности записывают буквенное обозначение, определяющее измеряемый (регулируемый) параметр и функции, выполняемые данным контуром, в нижнюю – номер контура. Для контуров системы автоматизированного регулирования, кроме того, на схеме изображают исполнительные механизмы, регулирующие органы и линию связи, соединяющую контур с исполнительным механизмом. Предельные рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин указывают рядом с графическими обозначениями контуров.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	...МПа	... м ³ /ч	...С			...мм		Упругость паров	... м ³ /ч		... м ³ /ч	
Приборы местные	PT 3a	FT 4б						QT 8б	FT 5б		FT 6б	
Щит управления	PR 3б	FRA 4в, FC 4г		TRA 2б, TC 2в		LRA 7б, LC 7в		QR 8в	FRA 5в, FC 5г		FRA 6в, FC 6г	

Рисунок Д.1 – Пример выполнения схемы автоматизации развернутым способом

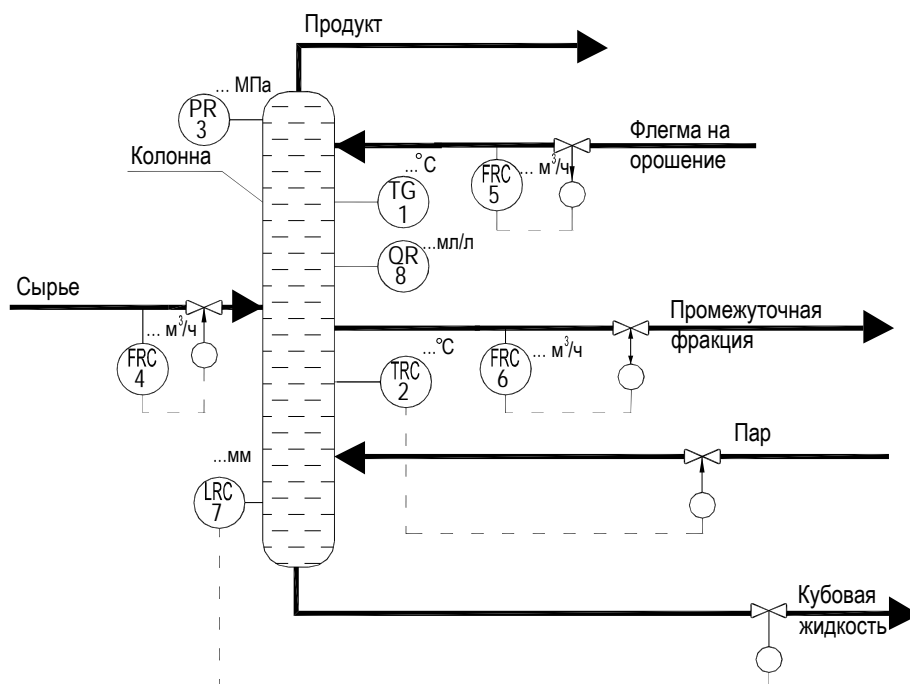


Рисунок Д.2 – Пример выполнения схемы автоматизации упрощенным способом

Сложные технические средства рекомендуется расчленять на отдельные технологические узлы и выполнять схемы этих узлов в виде отдельных чертежей на нескольких листах или на одном. При расположении схемы автоматизации на нескольких листах на концах линий, переходящих с одного листа схемы на другой лист или схему, указывают наименование этих линий или присвоенные им обозначения схемы, где показано продолжение этих линий. Такие пояснения дают на каждом из взаимосвязанных листов или схем.

Технологическое оборудование и коммуникации должны изображаться, как правило, упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения, но технологическая схема должна давать ясное представление о принципе ее работы и взаимодействии со средствами автоматизации. Кроме того, технологическое оборудование изображают с учетом требований следующих стандартов: ГОСТ 2.780 [56], ГОСТ 2.782 [57], ГОСТ 2.788 [58], ГОСТ 2.789 [59], ГОСТ 2.790 [60], ГОСТ 2.791 [61], ГОСТ 2.792 [62], ГОСТ 2.793 [63], ГОСТ 2.794 [64], ГОСТ 2.795 [65].

На технологических трубопроводах показывают регуливающую и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле и управлении процессом. Технологические аппараты и трубопроводы вспомогательного назначения показывают только в тех случаях, когда они механически соединяются или взаимодействуют со средствами автоматизации. Некоторые элементы технологического оборудования допускается изображать на схеме автоматизации в виде прямоугольников с указанием наименования этих элементов или не показывать вообще (когда они не оснащаются техническими средствами автоматизации и не влияют на работу системы автоматизации).

Технологическое оборудование изображают сплошной тонкой линией (0,2–0,5 мм) по ГОСТ 2.303–68 [66]. Необходимые виды, разрезы и сечения технологического оборудования даются по ГОСТ 2.305–68 [67], 2.306–68 [68].

Условное обозначение трубопровода состоит из графического упрощенного изображения (ГОСТ 2.784–96 [69]) и обозначения транспортируемой среды согласно приложению 3 ГОСТ 14202 [67], выдержки из которого даны в таблице Д.1.

Таблица Д.1 – Условные обозначения трубопроводов, в зависимости от транспортируемой среды по ГОСТ 14202

Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество	Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество
1	Вода	3	Воздух
1.1	Питьевая	3.1	Атмосферный
1.2	Техническая	3.2	Кондиционированный
1.3	Горячая (водоснабжение)	3.3	Циркуляционный
1.4	Горячая (отопление)	3.4	Горячий
1.5	Питательная	3.5	Сжатый
1.6	Резерв	3.6	Пневмотранспорта
1.7	Резерв	3.7	Кислород
1.8	Конденсат	3.8	Вакуум
1.9	Прочие виды воды	3.9	Прочие виды воздуха
1.0	Отработанная, сточная	3.0	Отработанный
2	Пар	4	Газы горючие
2.1	Низкого давления (до 2 кгс/см ²)	4.1	Светильный
2.2	Насыщенный	4.2	Генераторный
2.3	Перегретый	4.3	Ацетилен
2.4	Отопление	4.4	Аммиак
2.5	Влажный (соковый)	4.5	Водород и газы его содержащие
2.6	Отборный	4.6	Углеводороды и их производные
2.7	Резерв	4.7	Окись углерода и газы ее содержащие
2.8	Вакуумный	4.8	Резерв
2.9	Прочие виды пара	4.9	Прочие виды горючих газов
2.0	Отработанный	4.0	Отработанные горючие газы
5	Газы негорючие	6	Кислоты
5.1	Азот и газы его содержащие	6.1	Серная
5.2	Резерв	6.2	Соляная
5.3	Хлор и газы его содержащие	6.3	Азотная
5.4	Углекислый газ и газы его содержащие	6.4	Резерв
5.5	Инертные газы	6.5	Неорганические кислоты и их растворы
5.6	Сернистый газ и газы его содержащие	6.6	Органические кислоты и их растворы
5.7	Резерв	6.7	Растворы кислых солей
5.8	Резерв	6.8	Резерв
5.9	Прочие виды негорючих газов	6.9	Прочие жидкости кислотной реакции

Окончание таблицы Д.1

Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество	Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество
5.0	Отработанные негорючие газы	6.0	Отработанные кислоты и кислые стоки (при pH < 6,5)
7	Щелочи	8	Жидкости горючие
7.1	Натриевые	8.1	Жидкости категории А ($t_{в.п.} < 28 \text{ }^\circ\text{C}$)
7.2	Калийные	8.2	Жидкости категории Б ($t_{в.п.} < 120 \text{ }^\circ\text{C}$)
7.3	Известковые	8.3	Жидкости категории В ($t_{в.п.} > 120 \text{ }^\circ\text{C}$)
7.4	Известковая вода	8.4	Смазочные масла
7.5	Неорганические щелочи и их растворы	8.5	Прочие органические горючие жидкости
7.6	Органические щелочи и их растворы	8.6	Взрывоопасные жидкости
7.7	Резерв	8.7	Резерв
7.8	Резерв	8.8	Резерв
7.9	Прочие жидкости щелочной реакции	8.9	Прочие горючие жидкости
7.0	Отработанные щелочи и щелочные стоки (pH>8,5)	8.0	Горючие стоки
9	Жидкости негорючие	0	Прочие вещества
9.1	Жидкие пищевкусковые продукты	0.1	Порошкообразные материалы
9.2	Водные растворы (нейтральные)	0.2	Сыпучие материалы зернистые
9.3	Прочие растворы (нейтральные)	0.3	Смеси твердых материалов с воздухом
9.4	Водные суспензии	0.4	Гели
9.5	Прочие суспензии	0.5	Пульпы водяные
9.6	Эмульсии	0.6	Пульпы прочих жидкостей
9.7	Резерв	0.7	Резерв
9.8	Резерв	0.8	Резерв
9.9	Прочие негорючие жидкости	0.9	Резерв
9.0	Негорючие стоки (нейтральные)	0.0	Отработанные твердые материалы

Линия, изображающая трубопровод, является сплошной основной линией (толщина 0,5–1,5 мм по ГОСТ 2.303–68 [66]). Соединение и пересечение трубопроводов изображают следующим образом:



соединение;



пересечение трубопроводов без соединения друг с другом.

Обозначение среды указывают в разрыве линий трубопровода через расстояние не менее 50 мм.

У изображения технологического оборудования и трубопроводов дают поясняющие надписи и указывают стрелками направления потоков на линиях трубопроводов. Трубопроводы, идущие к конечным аппаратам и устройствам, в которых нет приборов и средств автоматизации, на схеме обрывают и дают поясняющие надписи.

Запорную арматуру, используемую в системах автоматизации (нерегулирующую), изображают согласно ГОСТ 2.785 [71]. Примеры изображения трубопроводной арматуры приведены на рисунке Д.3.

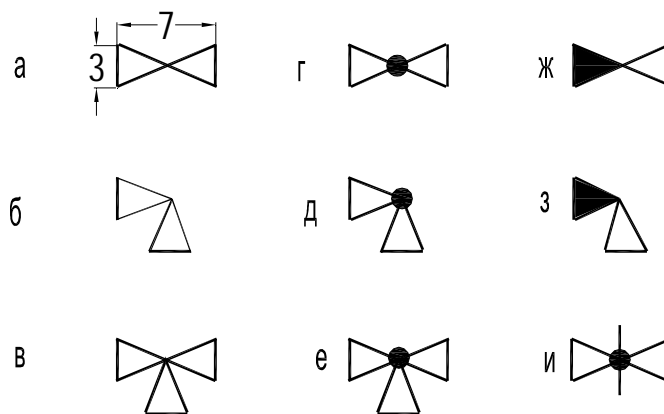


Рисунок Д.3 – Изображение трубопроводной арматуры: а – проходной вентиль; б – угловой вентиль; в – трехходовой вентиль; г – проходной кран; д – угловой кран; е – трехходовой кран; ж – проходной клапан; з – угловой клапан; и – задвижка

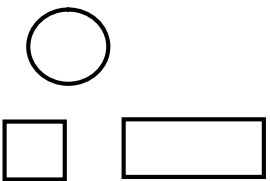
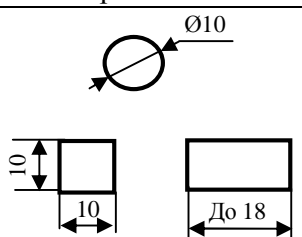
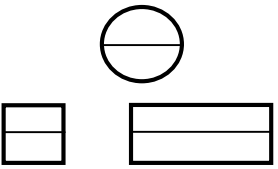
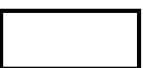
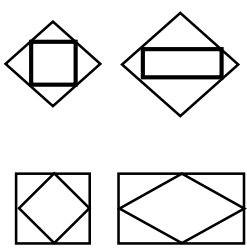
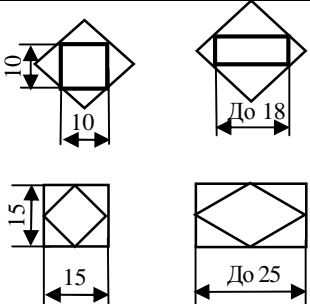
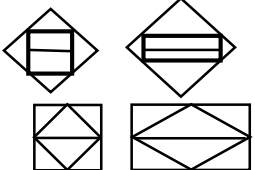

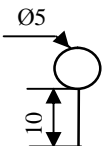


Условные графические и буквенные обозначения приборов и контуров контроля и управления принимают по ГОСТ 21.208–2013 [72]. Согласно ГОСТ 21.208–2013 устанавливаются два метода построения условных обозначений: а) упрощенный; б) развернутый.

При **упрощенном** методе построения приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции, например контроль, регулирование, сигнализацию, и выполненные в виде отдельных блоков изображают одним условным обозначением. При этом первичные измерительные преобразователи и всю вспомогательную аппаратуру не изображают.

При **развернутом** методе построения каждый прибор или блок, входящий в единый измерительный, регулирующий или управляющий комплект средств автоматизации, указывают отдельным условным обозначением.

Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах, включают графические (таблица Д.2), буквенные (таблица Д.3) и цифровые обозначения.

Таблица Д.2 – Условные графические обозначения приборов автоматики по ГОСТ 21.208–2013

Наименование	Обозначение	Размеры обозначений
1. Прибор, аппарат, устанавливаемый вне щита (по месту): а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение		
2. Прибор, аппарат, устанавливаемый на щите, пульте: а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение		Размеры те же
2. Функциональные блоки цифровой техники (контроллер, системный монитор, устройство сопряжения и др.)		Размеры по усмотрению разработчика, применительно к удобству рассмотрения схемы
3. Прибор, устройство ПАЗ*, установленный вне щита: а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение		
4. Прибор, устройство ПАЗ, установленный на щите**: а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение		Размеры те же
5. Исполнительный механизм. Общее обозначение		
6. Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала: а) открывает регулирующий орган; б) закрывает регулирующий орган; в) оставляет регулирующий орган в неизменном положении		Размеры те же
7. Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом***		Размеры те же

Примечание:

*ПАЗ – система противоаварийной автоматической защиты – система управления технологическим процессом, которая в случае выхода процесса за безопасные рамки выполняет комплекс мер по защите оборудования и персонала.

** При размещении оборудования ПАЗ в шкафах, стойках и стивах, предназначенных для размещения только систем ПАЗ, на схемах допускается не обозначать это оборудование ромбами.

*** Обозначение может применяться с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала.

В верхней части графического обозначения наносят буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его назначение в соответствии с таблицей Д.3. В нижней части графического обозначения наносят цифровое (позиционное) обозначение прибора или комплекта средств автоматизации.

Таблица Д.3 – Буквенные условные обозначения приборов автоматики по ГОСТ 21.208–2013

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
1	2	3	4	5	6
A	Анализ. Величина, характеризующая качество: состав, концентрация, детектор дыма и т. п.	–	Сигнализация	–	–
B	Пламя, горение	–	–	–	–
C	+	–	–	Автоматическое регулирование, управление	–
D	Плотность	Разность, перепад	–	–	Величина отклонения от заданной измеряемой величины
E	Напряжение	–	Чувствительный элемент	–	–
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
G	+	–	Первичный показывающий прибор	–	–
H	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины
I	Ток	–	Вторичный показывающий прибор	–	–

Окончание таблицы Д.3

1	2	3	4	5	6
J	Мощность	Автоматическое переключение, обегание	–	–	–
K	Время, временная программа	–	–	Станция управления	–
L	Уровень	–	–	–	Нижний предел измеряемой величины
M	+	–	–	–	Величина или среднее положение (между верхним H и средним L)
N	+	–	–	–	–
O	+	–	–	–	–
P	Давление, вакуум	–	–	–	–
Q	Количество	Интегрирование, суммирование по времени	–	+	–
R	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–
S	Скорость, частота	Самосрабатывающее устройство безопасности	–	Включение, отключение, переключение, блокировка	–
T	Температура	–	–	Преобразование	–
U	Несколько разнородных измеряемых величин	–	–	–	–
V	Вибрация	–	+	–	–
W	Вес, сила, масса	–	–	–	–
X	Нерекомендуемая резервная буква	–	Вспомогательные компьютерные устройства	–	–
Y	Событие, состояние	–	–	Вспомогательное вычислительное устройство	–
Z	Размер, положение, перемещение	Система инструментальной безопасности, ПАЗ	–	+	–

Примечание – Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», назначаются по выбору пользователя, а отмеченные знаком «–» – не используются.

Дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания дополнительных функциональных признаков приборов, преобразователей сигналов и вычислительных устройств, приведены в таблице А.1 ГОСТ 21.208–2013.

При построении условных обозначений преобразователей сигналов, вычислительных устройств надписи, определяющие вид преобразователей или операции, осуществляемые вычислительным устройством, наносят справа от графического обозначения прибора.

Буквенные обозначения устройств, выполненных в виде отдельных блоков и предназначенных для ручных операций, независимо от того, в состав какого комплекта они входят, должны начинаться с буквы *H*.

Первая буква *У* показывает состояние или событие, которое определяет реакцию устройства.

Символ *S* применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемой величины *F*, *P*, *T* и указывает на самосрабатывающие устройства безопасности, – предохранительный или отсечной клапан, термореле. Символ *S* не должен использоваться для обозначения устройств, входящих в систему инструментальной безопасности – ПАЗ.

Символ *Z* применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемой величины для устройств системы инструментальной безопасности – ПАЗ.

Порядок расположения буквенных обозначений принимают с соблюдением последовательности обозначений по рисунку Д.4.

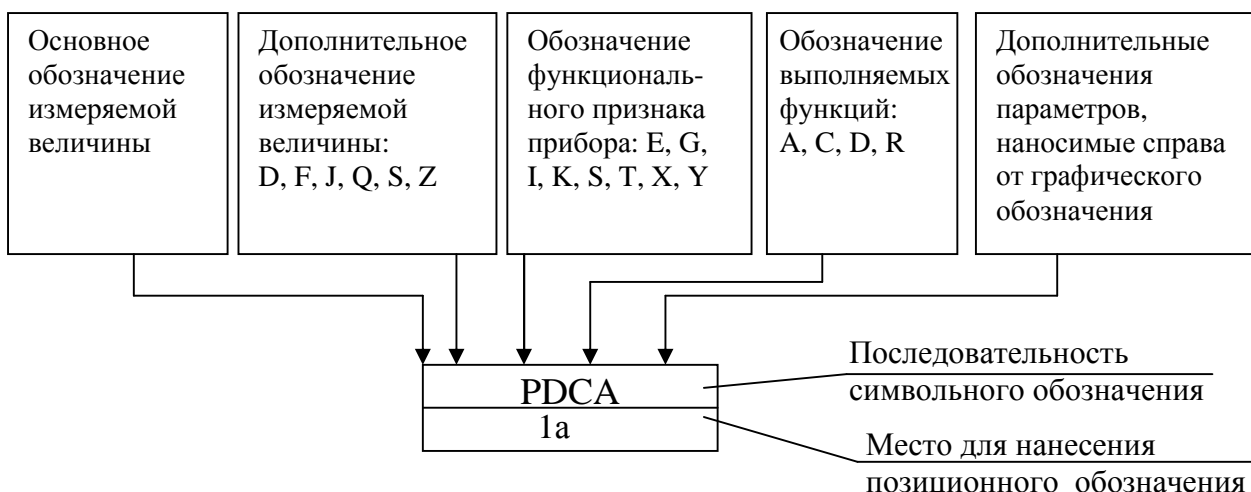


Рисунок Д.4 – Принцип построения условного обозначения прибора

При построении буквенных обозначений указывают не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используют в данной схеме.

Букву *A* применяют для обозначения функции «сигнализация» независимо от того, вынесена ли сигнальная аппаратура на какой-либо щит или для сигнализации используются лампы, встроенные в сам прибор.

Букву *E* применяют для обозначения чувствительного элемента, выполняющего функцию первичного преобразования: преобразователи термоэлектрические, термопреобразователи сопротивления, сужающие устройства расходомеров и т. п.

Букву *S* применяют для обозначения контактного устройства прибора, используемого только для включения, отключения, переключения, блокировки.

Букву *T* применяют для обозначения первичного прибора бесшкального с дистанционной передачей сигнала.

Предельные значения измеряемых величин, по которым осуществляется, например, включение, отключение, блокировка, сигнализация, допускается конкретизировать добавлением букв *H* и *L*. Эти буквы наносят справа от графического обозначения.

Отклонение функции *D* при объединении с функцией *A* (тревога) указывает, что измеренная переменная отклонилась от задания или другой контрольной точки больше, чем на predetermined число.

Для обозначения величин, не предусмотренных данным стандартом, допускается использовать резервные буквы. Применение резервных букв должно быть расшифровано на схеме.

Цифровые (позиционные) обозначения приборов указывают в нижней части окружности или с правой стороны от него, обозначения электрических аппаратов – справа от их условного графического обозначения. При этом позиционные обозначения технических средств присваивают по спецификации оборудования и составляют из цифрового обозначения соответствующего контура и буквенного обозначения (прописными буквами русского алфавита) каждого элемента, входящего в контур (в зависимости от последовательности прохождения сигнала). Во избежание разночтений буквы «З» и «О», имеющих начертание, похожее на начертание цифр, применять не допускается.

Подвод линий связи к прибору изображают в любой точке графического обозначения (сверху, снизу, сбоку). При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи наносят стрелки.

Электроаппараты, входящие в систему автоматизации (звонки, сирены, сигнальные лампы, табло, ЭД и др.), показывают на схеме условными графическими обозначениями по ГОСТ 2.722 [73], ГОСТ 2.732 [71], ГОСТ 2.741 [75] и присваивают им буквенно-цифровые обозначения по ГОСТ 2.710 [76].

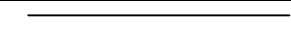

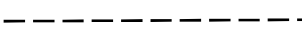
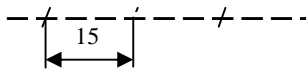
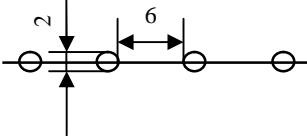
Для присвоения позиций комплексам в схемах каскадного или связного регулирования необходимо руководствоваться следующим: если какой-либо прибор или регулятор связан с несколькими датчиками или получает дополнительные воздействия по другим параметрам, то все элементы схемы, осуществляющие дополнительные функции, необходимо отнести к той функциональной группе, на которую оказывают воздействие.

Остальные технические средства автоматизации показывают условными графическими обозначениями в прямоугольниках, расположенных в нижней части схемы. Каждому прямоугольнику присваивают заголовки, соответствующие показанным в них техническим средствам. Первым располагают прямоугольник, в котором показаны внештатные приборы, конструктивно не связанные с технологическим оборудованием, с заголовком «Приборы местные», ниже – прямоугольники, в которых показаны щиты и пульты, а также комплексы технических средств. При необходимости изображения щита на последующих листах одной схемы, прямоугольник щита не замыкается с правой стороны. В этом месте делают соответствующую надпись.

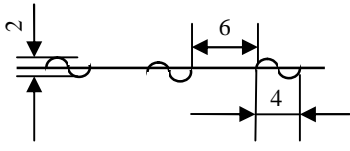
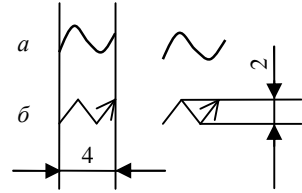
Каждая *связь* между техническими средствами автоматизации, расположенными по месту и в щитах, обозначается одной линией независимо от фактического числа проводов или труб, осуществляющих эту связь (см. таблицу Д.4).

К условным обозначениям приборов и средств автоматизации для входных и выходных сигналов *линии связи* допускается подводить с любой стороны, в том числе сбоку и под углом. Линии связи допускается изображать с разрывом при большой протяженности и (или) при сложном их расположении (смотрите примеры чертежей). Места разрывов линий связи нумеруют арабскими цифрами в порядке их расположения в прямоугольнике с заголовком «Приборы местные».

Таблица Д.4 – Условные графические обозначения линий связи по ГОСТ 21.408–2013

Наименование <i>1</i>	Обозначение <i>2</i>
Связь с технологическим процессом, импульсная трубная линия	
Линия питания электроэнергией	
Линия передачи электронного или электрического аналогового, цифрового или дискретного сигнала	
Линия передачи электронного или электрического аналогового, цифрового или дискретного сигнала искробезопасная	
Линия внутрисистемной связи (Ethernet и др.)	

Окончание таблицы Д.4

Наименование	Обозначение
Волоконно-оптическая линия связи	
Беспроводная линия связи или электромагнитные сигналы, свет, радиация, радио, звук и т. д. <i>Примечание</i> – варианты обозначения «а», «б» – по выбору исполнителя	

Допускается пересечение линий связи с изображениями технологического оборудования. Пересечение линий связи с обозначениями приборов не допускается.

На линии связи указывают предельные (max и min) рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин согласно положению о допуске единиц величин [77] или в единицах шкалы выбираемого прибора. Для обозначения разрежения ставят «-» (минус). Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование и не имеющих линий связи, эти значения указывают рядом с обозначением приборов.

Линии связи отображаются сплошной тонкой линией. Расстояние между соседними линиями связи не менее 3 мм. При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи допускается наносить стрелки.

Приложение Е
(рекомендуемое)

Характеристика некоторых технических средств автоматики

Характеристики некоторых контроллеров
Контроллеры α (фирма MITSUBISHI)

Сведения по моделям контроллеров $\alpha 2$ (второго поколения) даны в таблице Е.1.

Таблица Е.1 – Характеристика моделей $\alpha 2$ -контроллеров (фирмы MITSUBISHI)

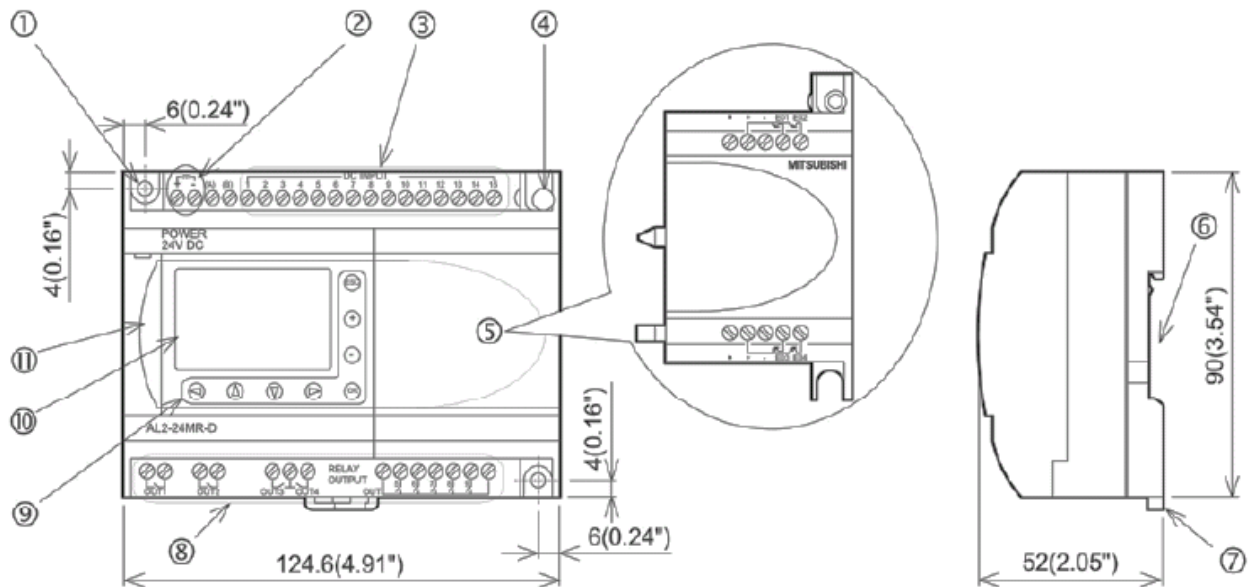
Модель	Источник питания	Входная цепь		Выходная цепь		Размеры, мм
		Тип	Количество	Тип	Количество	
AL2-14MR-A	100–240 В, переменного тока	100–240 В, переменного тока	8	Реле	6	124,6 ×90× 52
AL2-14MR-D	24 В, постоянного тока	24 В, постоянного тока, сток\источник	8	Реле	6	
AL2-24MR-A	100–240 В, переменного тока	100–240 В, переменного тока	15	Реле	9	
AL2-24MR-D	24 В, постоянного тока	24 В, постоянного тока, сток\источник	15	Реле	9	

В основной модели $\alpha 2$ -контроллера предусмотрена возможность установки модуля расширения, который обеспечивает увеличение входов, либо выходов, либо установки специального модуля (таблица Е.2). Установить можно только один модуль.

Конструктивная схема и схемы подключения $\alpha 2$ -контроллера приведены на рисунках Е.1–Е.6.

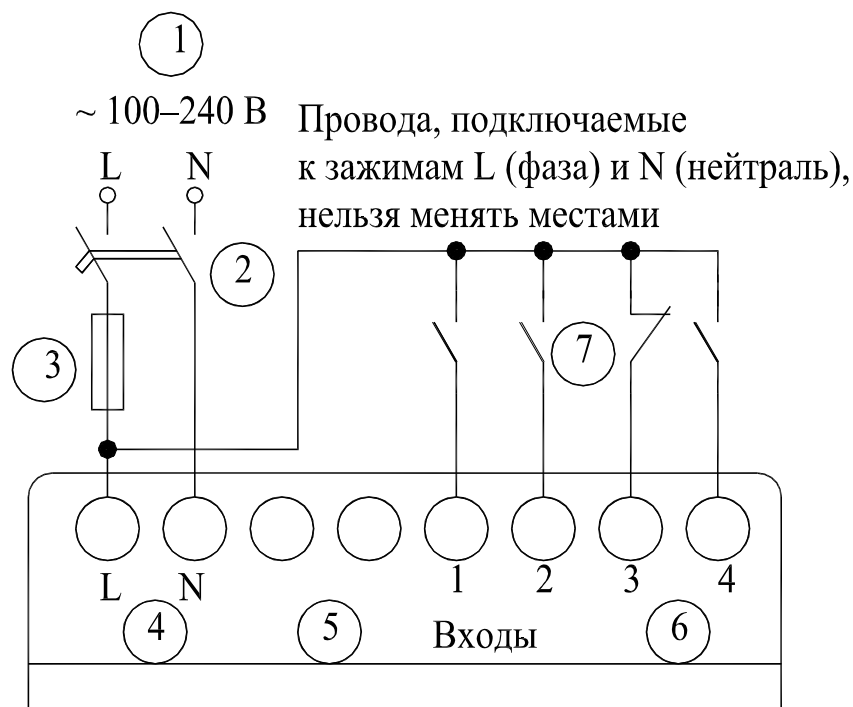
Таблица Е.2 – Характеристика модулей расширения к $\alpha 2$ -контроллеру

Модель	Входная цепь		Выходная цепь	
	Тип	Кол-во	Тип	Кол-во
AL2-4EX-A2	~220–240 В	4	–	
AL2-4EX	= 24 В Сток/Источник	4	–	
AL2-4EYR	–		Реле	4
AL2-4EYT	–		Транзистор	4
AL2-ASI-BD	Вход AS-интерфейс	4	Выход AS-интерфейс	4
AL2-2DA	–		Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В или от 4 до 20 мА)	2
AL2-2PT-ADP	Датчик температуры РТ-100	2	Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В)	2
AL2-2TC	Датчик температуры термопарный (тип «К»)	2	Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В)	2



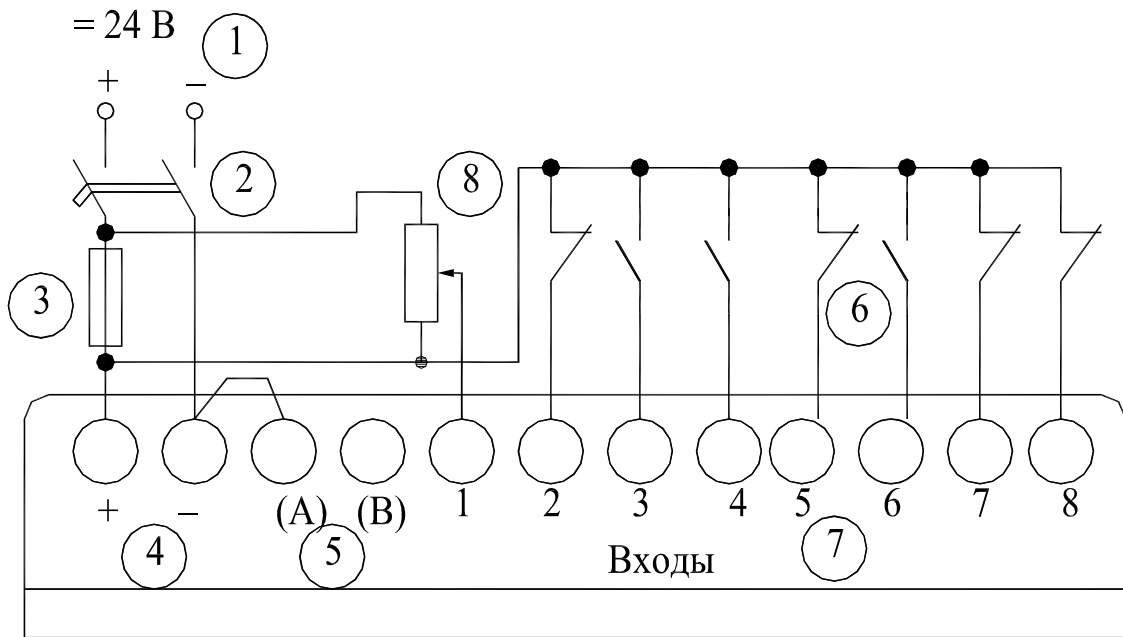
1 – монтажное отверстие; 2 – контактные клеммы подключения питания; 3 – контактные клеммы подключения входных цепей; 4 – монтажный винт для присоединения корпуса расширителя или расширительного модуля; 5 – корпус расширителя или расширительный модуль; 6 – канавка для установки рельса в стандарте DIN; 7 – монтажные зажимы для установки рельса в стандарте DIN; 8 – выходные контактные клеммы; 9 – операционные клавиши; 10 – жидкокристаллический дисплей; 11 – крышка порта связи для программирования

Рисунок Е.1 – Составные части контроллера



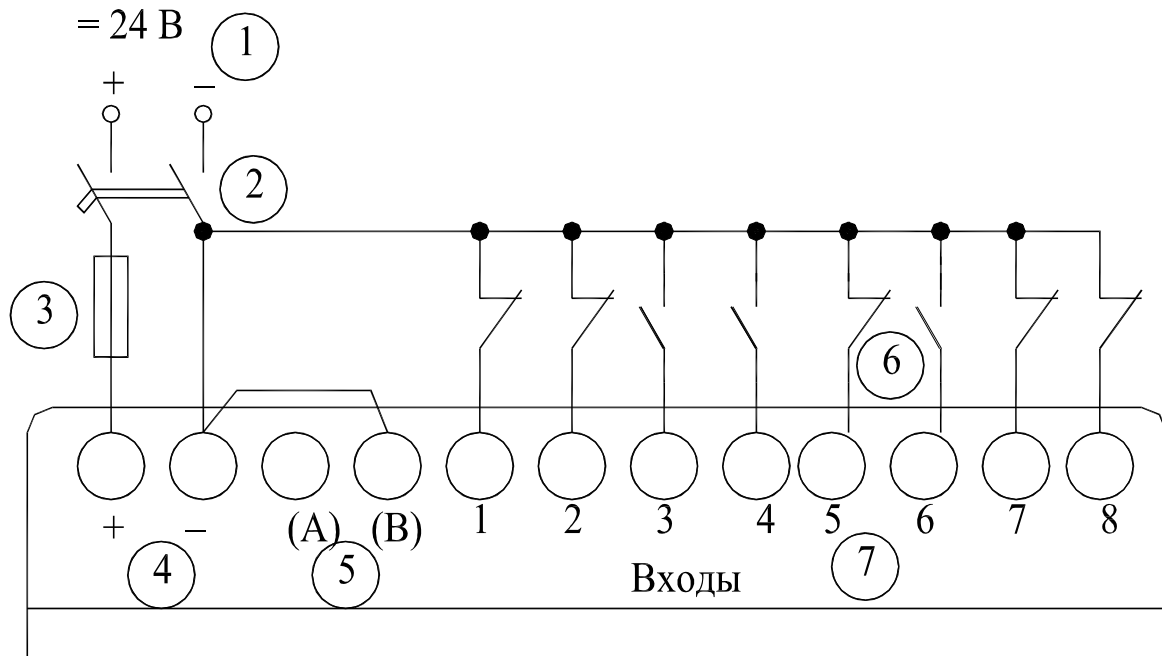
1 – источник питания переменного тока (230 В); 2 – устройство отсоединения цепи; 3 – устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 – контактные клеммы подключения источника питания переменного тока; 5 – неиспользуемые контактные клеммы; 6 – входные контактные клеммы; 7 – цифровые входные выключатели

Рисунок Е.2 – Схема электрических соединений с источником питания переменного тока и входными цепями



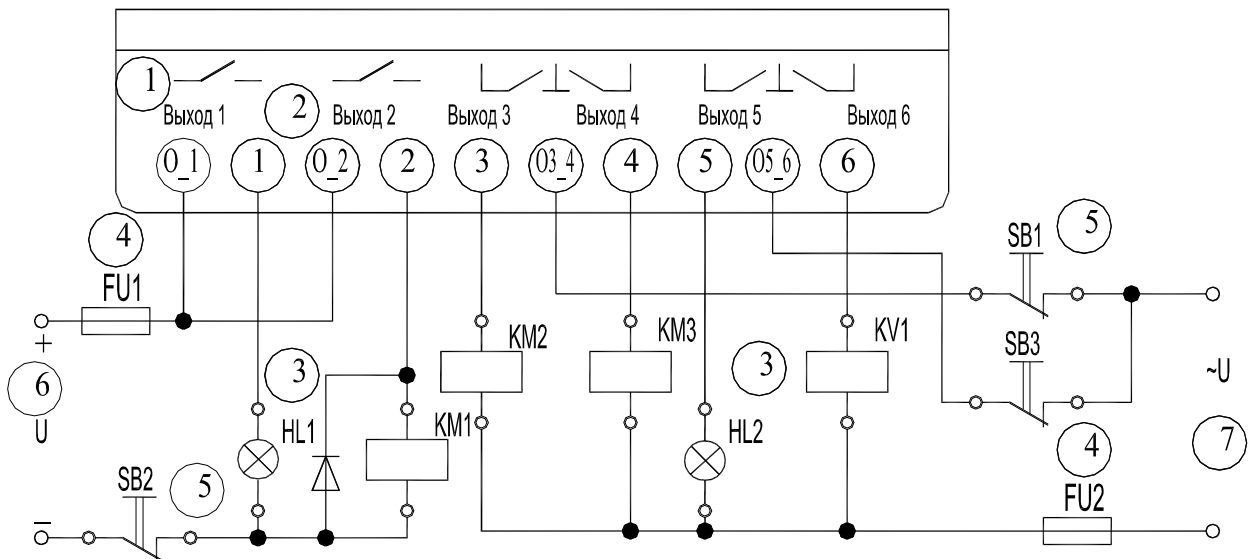
1 – источник питания постоянного тока (=24 В); 2 – устройство отсоединения цепи;
 3 – устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 – контактные клеммы подключения
 источника питания постоянного тока; 5 – входные контактные клеммы для соединения
 с стоком/источником; 6 – входные датчики-выключатели; 7 – входные контактные клеммы;
 8 – аналоговый вход

Рисунок Е.3 – Схема электрических соединений с источником постоянного тока и с входными цепями (при подключении источника с общим «+»)



1 – источник питания постоянного тока (=24 В); 2 – устройство отсоединения цепи;
 3 – устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 – контактные клеммы подключения
 источника питания постоянного тока; 5 – входные контактные клеммы для соединения
 с стоком/источником; 6 – входные датчики-выключатели; 7 – входные контактные клеммы

Рисунок Е.4 – Схема электрических соединений с источником постоянного тока и с входными цепями со стоком (при подключении источника с общим «-»)



1 – главный блок контроллера; 2 – взаимоисключающие выходы; 3 – выходные устройства; 4 – устройства защиты схемы; 5 – аварийный выключатель; 6 – источник питания постоянного тока; 7 – источник питания переменного тока

Рисунок Е.5 – Схема электрических соединений выходных реле главного блока (переменный ток и/или постоянный ток)

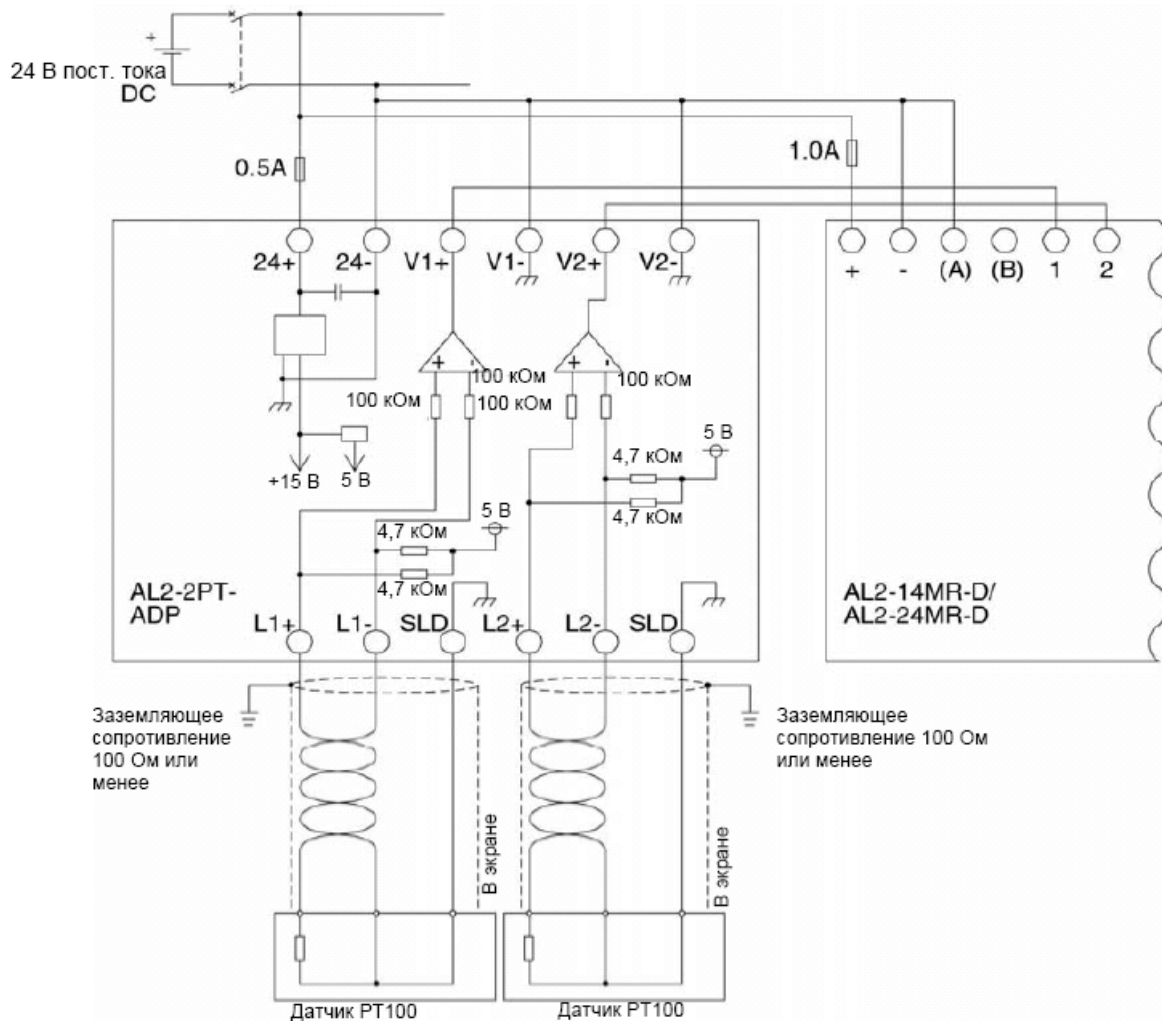


Рисунок Е.6 – Схема электрических соединений для AL2-2PT-ADP

Контроллеры серии FX (Mitsubishi Electric)

Характеристики контроллеров серии FX (Mitsubishi Electric) приведены в таблице Е.3, а некоторых дополнительных модулей приведены в таблице Е.4. Вид базового модуля контроллера FX2N приведен на рисунке Е.7. Обозначение зажимов базового модуля раскрыто на рисунке Е.8.

Все входы базового модуля или модулей расширения могут настраиваться либо под датчики, коммутирующие минус, либо под датчики коммутирующие плюс. Это следует учитывать при реализации схемы подключения контроллера. Пример подключения приведен на рисунке Е.9.

Таблица Е.3 – Модельный ряд контроллеров серия FX

Тип	FX1S	FX1N	FX2N	FX3U	FX3UC
Питание	~100–240 В = 24 В	~100–240 В = 12–24 В	~100–240 В = 24 В	~100–240 В = 24 В	= 24 В
Количество входов	6–16	8–36	8–64	8–64	8–48
Количество выходов	4–14	6–24	8–64	8–64	8–48
Типы выходов	Реле, транзистор			Реле, транзистор	Транзистор
Время цикла / логическая команда	0,55–0,70 мкс	0,55–1,00 мкс	0,08 мкс	0,065 мкс	0,065 мкс
Память	2000 шагов EEPROM (внутренняя)	8000 шагов EEPROM, возможно расширение кассетами EEPROM/EPROM	8000 шагов программы управления (внутренняя RAM), опционально 16 К RAM/EEPROM	64 К шагов программы управления (стандартно), FLROM кассета (опционально)	64 К шагов программы управления (стандартно)
Размеры (Ш × В × Г) в мм	60/60/75/100 × 90 × 49	90–185 × 90 × 75	150–350 × 90 × 87	130–285 × 90 × 86	34–86 × 90 × 74

Таблица Е.4 – Характеристика модулей расширения серии FX

Назначение	Марка	Количество (тип)		Размеры, мм
		Входы	Выходы	
Модули расширения	FX2N-8ER-ES/UL	4	4	43 × 90 × 87
	FX2N-8EX-ES/UL	8	–	

Окончание таблицы Е.4

Назначение	Марка	Количество (тип)		Размеры, мм
		Входы	Выходы	
Модули расширения	<u>FX2N-8EYR-ES/UL</u>	–	8 (реле)	43×90×87
	<u>FX2N-8EYT-ESS/UL</u>	–	8 (транзистор)	
	<u>FX2N-16EX-ES/UL</u>	16	–	
	<u>FX2N-16EYR-ES/UL</u>	–	16 (реле)	
	<u>FX2N-16EYT-ESS/UL</u>	–	16 (транзистор)	
	<u>FX2N-32ER-ES/UL</u>	16	16 (реле)	150×90×87
	<u>FX2N-32ET-ESS/UL</u>	16	16 (транзистор)	
	<u>FX2N-48ER-ES/UL</u>	24	24 (реле)	182×90×87
	<u>FX2N-48ET-ESS/UL</u>	24	24 (транзистор)	
Аналоговые входные модули	<u>FX2N-2AD</u>	2 (аналоговых)	–	43×90×87
	<u>FX2N-4AD</u>	4 (аналоговых)	–	55×90×87
	<u>FX3U-4AD</u>		–	
	<u>FX2N-8AD</u>	8 (аналоговых)	–	75×105×75
Модули измерения и регулирования температуры	<u>FX2N-4AD-TC</u>	4 (аналоговых)	–	55×90×87
	<u>FX2N-4AD-PT</u>	4 (аналоговых) – PT100	–	
	<u>FX2N-4AD-2LC</u>	2 канала: термопара и PT100	–	
Аналоговые выходные модули с выходами напряжения и тока (например, для управления преобразователями частоты)	<u>FX2N-2DA</u>	–	2 (аналоговых)	43×90×87
	<u>FX2N-4DA</u>	–	4 (аналоговых)	55×90×87
	<u>FX3U-4DA</u>	–	4 (аналоговых)	55×90×87

Контроллеры серии FX могут комплектоваться панелями операторов. Например, панели семейства GOT1000 обеспечивают визуализацию управления. Производственные процессы и стандарты качества становятся все более сложными и требуются промышленные систем автоматизации, способные обеспечить контроль за возрастающим количеством подробной информации о производстве, процессах и промышленных установках. Поэтому с помощью панели оператора наиболее значимые параметры контроля могут быть вынесены на дисплей панели. Через панель можно организовать и установку заданных значений параметров.

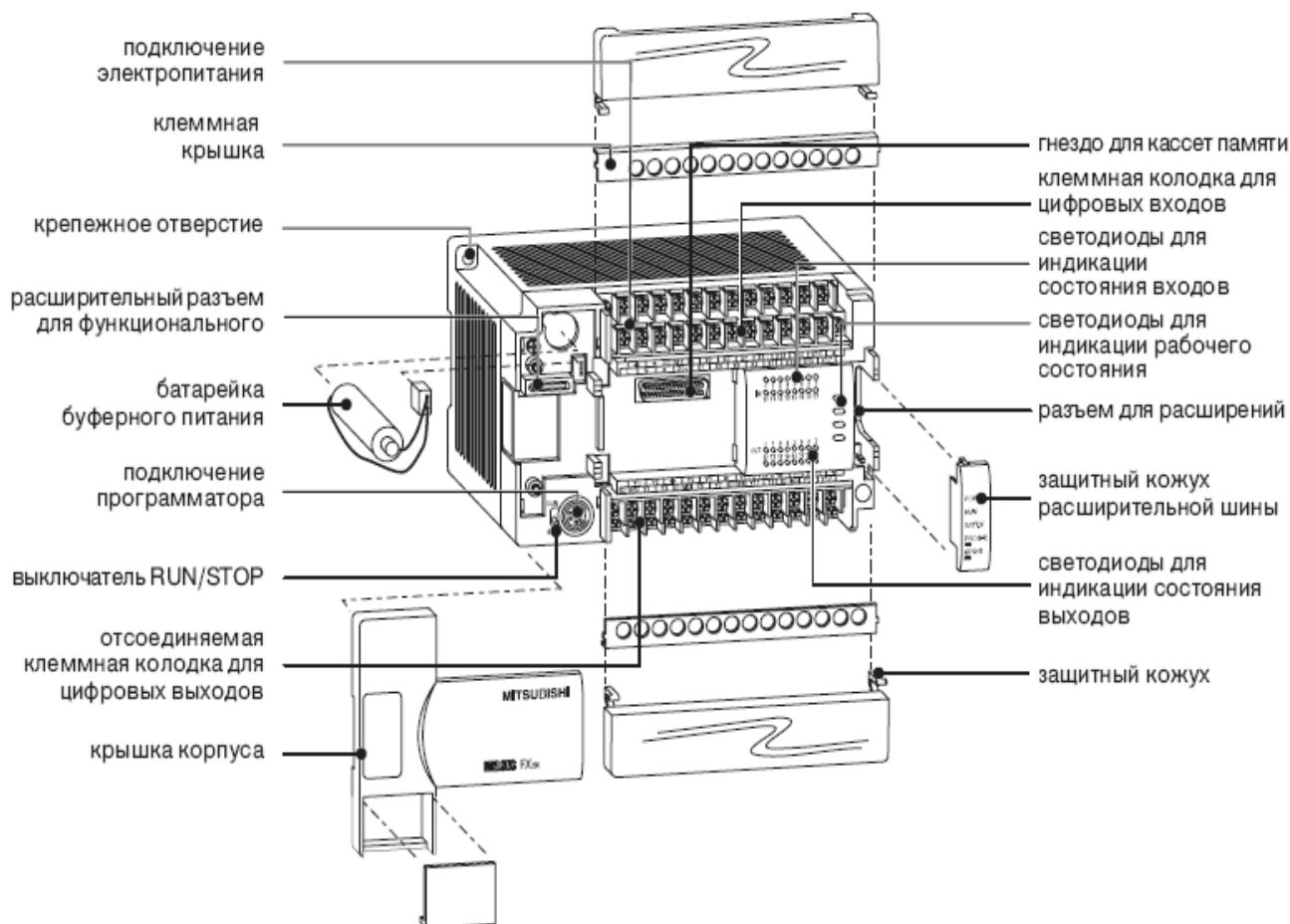
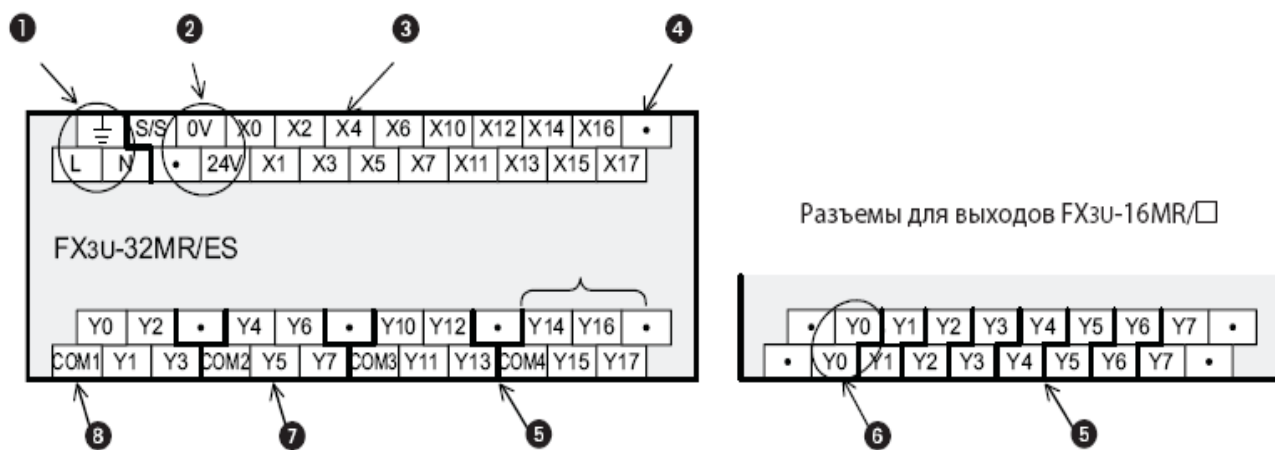


Рисунок Е.7 – Составные части контроллера FX2N



1 – разъемы для источника питания (с переменным напряжением – обозначение L и N, с постоянным напряжением питания – + и –); 2 – выход сервисного источника питания для модулей с переменным напряжением питания, величиной 24 В (в базовых модулях с постоянным напряжением питания на этих разъемах нет сигнала); 3 – разъемы для входов; 4 – свободный разъем (нет подключения); 5 – разделение групп выходов; 6 – обозначение выходов FX3U-16MR (идентичные разъемы означают разъемы одного контакта реле); 7 – разъемы выходов; 8 – разъемы для управляющего напряжения (для релейных и транзисторных выходов, коммутирующих минус, – обозначение COM, для транзисторных выходов, коммутирующих плюс, – +V)

Рисунок Е.8 – Обозначение зажимов базового модуля FX

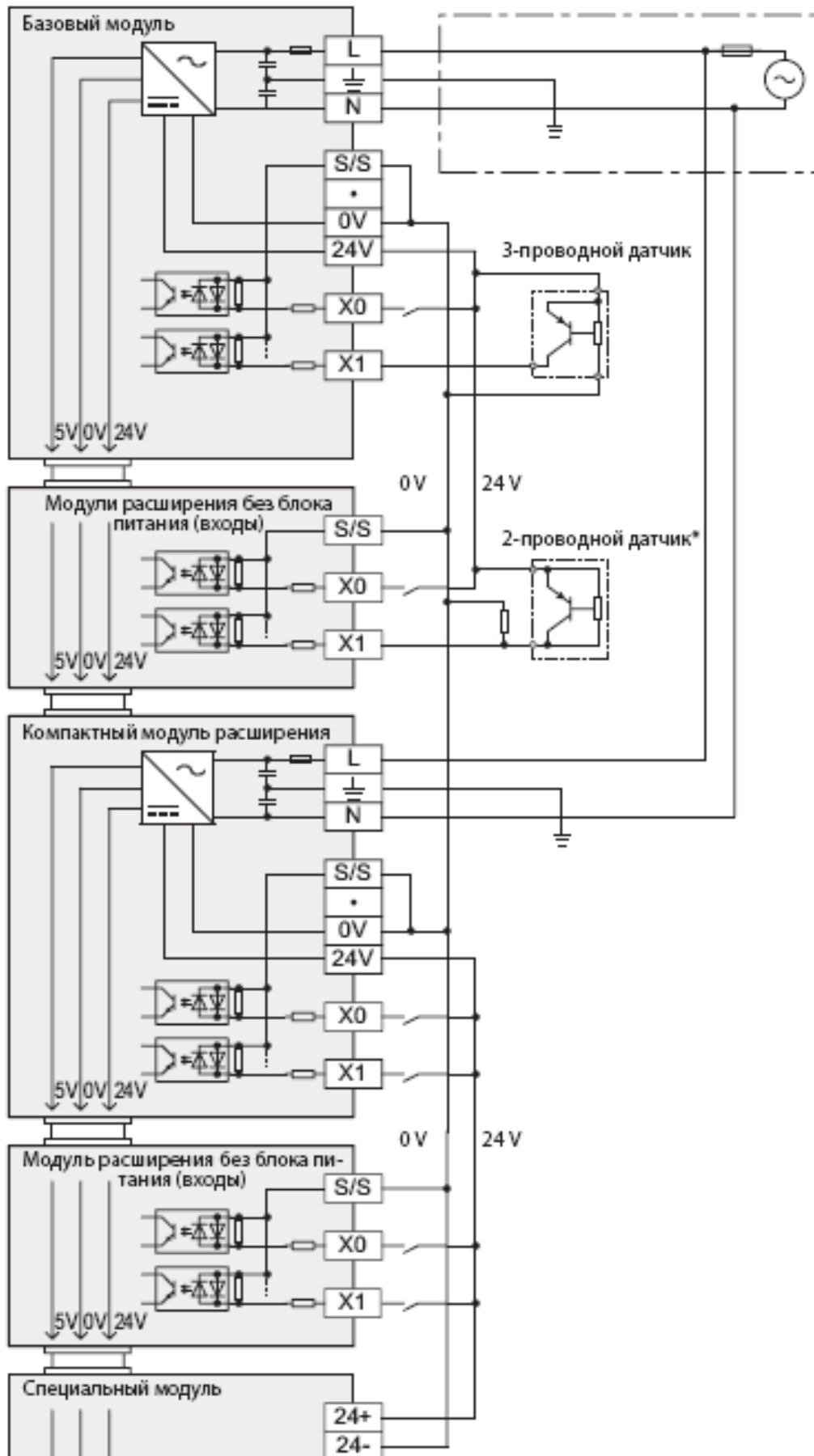
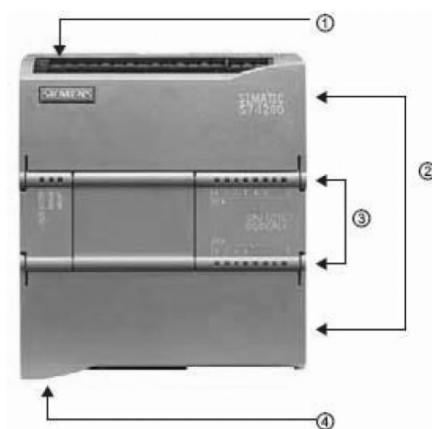


Рисунок Е.9 – Подсоединение коммутирующих плюс датчиков к базовым блокам FX с переменным напряжением питания

Контроллеры Siemens линейки S7-1200

Программируемый логический контроллер (ПЛК) S7-1200 (рисунок Е.10) обеспечивает гибкость и позволяет решать достаточно большой круг задач автоматизации. CPU объединяет в компактном корпусе микропроцессор, встроенный блок питания, входные и выходные цепи, образуя мощный ПЛК. CPU контролирует входы и изменяет выходы в соответствии с логикой пользовательской программы, которая может включать булевы логические операции, счет, отсчет времени, сложные математические операции и связь с другими интеллектуальными устройствами. Ряд функций обеспечения безопасности помогают защитить доступ как к CPU, так и к управляющей программе. CPU снабжен портом PROFINET для обмена данными через сеть PROFINET.

Семейство S7-1200 предлагает ряд сигнальных модулей и сигнальных плат для расширения возможностей CPU. Их характеристика раскрыта в табл. Е.6. Сигнальная плата (SB) обеспечивает возможность добавлять входы/выходы к CPU. Есть возможность устанавливать одну SB с цифровыми или аналоговыми входами/выходами. SB подключается спереди CPU. Для расширения функциональных возможностей CPU можно использовать сигнальные модули. Сигнальные модули подключаются с правой стороны CPU.



- 1 – разъем питания; 2 – съемный клеммный блок для подключения внешних устройств (датчиков и исполнительных механизмов); 3 – гнездо для карты памяти под верхней дверцей; 4 – светодиоды состояния для встроенных входов/выходов

Рисунок Е.10 – Общий вид CPU S7-1200

Таблица Е.5 – Характеристика CPU S7-1200

Характеристика	Модификация		
	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Физический размер (мм)	90×100×75		110×100×75
Пользовательская память			
рабочая память	25 Кбайт		50 Кбайт
загрузочная память	1 Мбайт		2 Мбайта
сохраняемая память	2 Кбайта		2 Кбайта

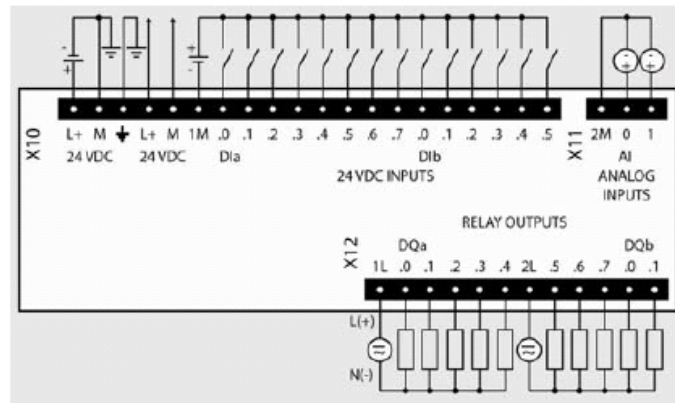
Окончание таблицы Е.5

Характеристика	Модификация		
	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Локальные встроенные входы/выходы: - цифровые; - аналоговые	6 входов/4 выхода 2 входа	8 входов/6 выходов 2 входа	14 входов/10 выходов 2 входа
Дополнительные сигнальные модули	Нет	2	8
Сигнальная плата	1		
Импульсные выходы	2		
Скорость выполнения арифметических операций	18 мкс/команду		
Скорость выполнения булевых операций	0,1 мкс/ команду		

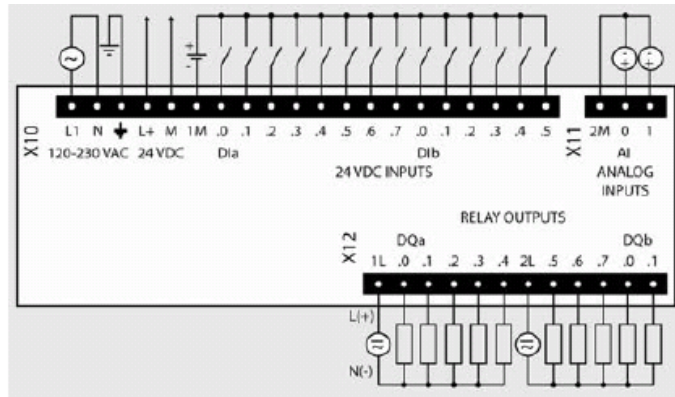
Таблица Е.6 – Характеристика модулей расширения к S7-1200

Модуль	Вид коммутации	Количество коммутационных сигналов		
		Только ввод	Только Вывод	Комбинация ввода и вывода
Сигнальный модуль (SM)	Цифровой	8 входов пост. тока	8 выходов пост. тока 8 релейных выходов	8 входов пост. тока / 8 выходов пост. тока 8 входов пост. тока / 8 релейных выходов
		16 входов пост. тока	16 выходов пост. тока 16 релейных выходов	16 входов пост. тока / 16 выходов пост. тока 16 входов пост. тока / 16 релейных выходов
	Аналоговый	4 аналоговых входа 8 аналоговых входа	2 аналоговых выхода 4 аналоговых выхода	4 аналоговых входа/ 2 аналоговых выхода
Сигнальная плата (SB)	Цифровой	–	–	2 входа пост. тока/ 2 выходы пост. тока
	Аналоговый	–	1 аналоговый выход	–
Коммуникационный модуль (CM) RS485 RS232				

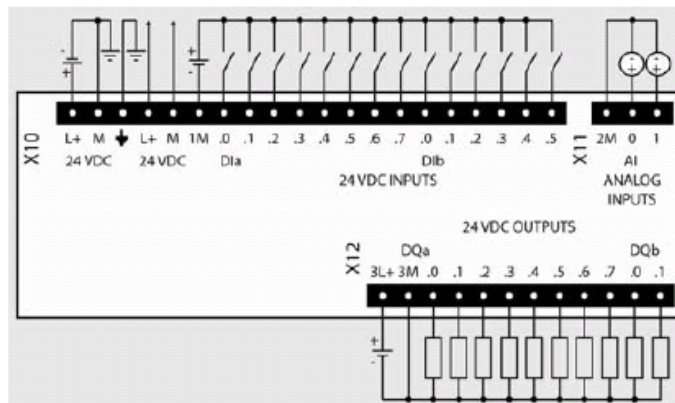
Схемы подключения внешних цепей к контроллеру S7-1200 CPU 1214C представлены на рисунке Е.11 в зависимости от модификации.



а



б



в

Рисунок Е.11 – Схемы подключения внешних цепей к контроллеру S7-1200 CPU 1214C:
 а – модификация 6ES7 214-1AG40-0XB0 (напряжение питания =24 В, 10 дискретных выходов =24 В/0,5 А, из них 4 импульсных выхода до 100 кГц); б – модификация 6ES7 214-1BG40-0XB0 (напряжение питания ~120/230 В, 10 дискретных выходов с замыкающими контактами реле, =5...30 В/~5...250 В, до 2 А на контакт); модификация 6ES7 214-1HG40-0XB0 (напряжение питания =24 В, 10 дискретных выходов с замыкающими контактами реле, =5...30 В/~5...250 В, до 2 А на контакт)

Характеристика термометров сопротивления

Термометры сопротивления платиновые ТСП и медные ТСМ предназначены для измерения температур в диапазоне, указанном в таблице Е.7, и для измерения разности температур в составе теплосчетчиков и других приборов учета тепловой энергии в различных отраслях народного хозяйства.

Таблица Е.7 – Характеристика термометров сопротивления ТСМ и ТСП, изготавливаемых НПО Энергоприбор

Вид, тип	Пределы измерения, °С	Показатель тепловой инерции, с	Число чувствительных элементов
Медные			
ТСМ-1098	0...+160	30	Один
ТСМ-1098К	Диапазон разности 3-155	120	Два
ТСМ-1199-11(...14, 21, 22, 23, 31, 32)	-50...+180	40 (20)	Один
ТСМ-1199-41 (42, 44, 45)	-50...+150	12	Один
ТСМ-1199-5(6)	-50...+100(+180)	16	Один
Платиновые			
ТСП-1098	0...160	20	Один
ТСП-1098К1	Диапазон разности 3–155	80	Два
ТСП-1199-11 (...14, 21, 22, 23, 31, 32)	-50...+400 (-50...+600, -50...+200)	40 (20)	Один
ТСП-1199-41 (42, 44, 45)	-50...+200	12	Один
ТСП-1199-43	-50...+300	8 (12)	Один
ТСП-1199-5(6)	-50...+100(+180)	16	Один

Термопреобразователи с унифицированными сигналами предназначены для преобразования значения температуры различных нейтральных сред в унифицированный токовый выходной сигнал. Чувствительный элемент первичного преобразователя (100П или 100М, для ТХАУ-К) и встроенный в головку датчика чувствительный преобразователь ИП в виде герметичной «таблетки» преобразует измеряемую температуру в токовый сигнал, что дает возможность построения систем АСУТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей. Термопреобразователи работают в комплексе с любыми вторичными приборами, воспринимающими входные унифицированные сигналы 0...5, 0...20, 4...20 мВ.

Схема внешних подключений термопреобразователей с унифицированными сигналами приведена на рисунке Е.12.

Структура условного обозначения термопреобразователей с унифицированными сигналами:

ТСМУ-205Ех 4/160 0...100 °С 0,25%,

где ТСМУ-205Ех – тип и код исполнения датчика; 4/160 – номер рисунка подключения/длина погружаемой части; 0...100 °С – диапазон преобразуемых температур; 0,25% – предел допустимой погрешности.

Таблица Е.8 – Технические данные термопреобразователей с унифицированными сигналами

Тип и код исполнения датчиков	Диапазон преобразуемых температур, °С	Показатель тепловой инерции, с	Выходной унифицированный сигнал, мА	Схема отключения	Сопротивление нагрузки R_H , Ом
ТСМУ-055	-50...+50 0...+100 0...+180	30	0...5	3-проводная (b)	До 2500
ТСМУ-205		20	4...20	2-проводная (a)	До 1000
ТСМУ-205Ex		10	4...20	2-проводная (d)	Определяется блоком питания
ТСПУ-055	-50...+50 0...+100 0...+300 0...+500	20	0...5	3-проводная (b)	До 2500
ТСПУ-205			4...20	2-проводная (a)	До 1000
ТСПУ-205Ex			4...20	2-проводная (d)	Определяется блоком питания
ТХАУ-055	0...+600 0...+900	10	0...5		Определяется блоком питания
ТХАУ-205			4...20	2-проводная (a)	
ТХАУ-205Ex			4...20	2-проводная (d)	

Схема а

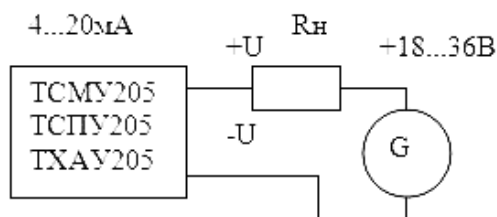


Схема с

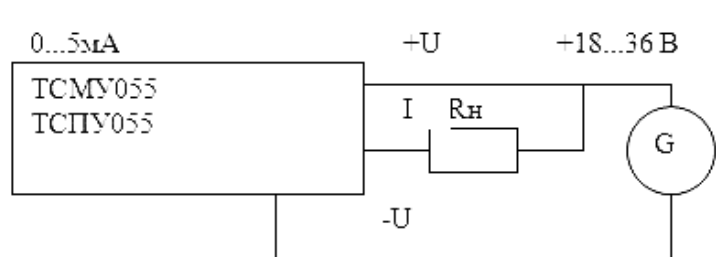


Схема b

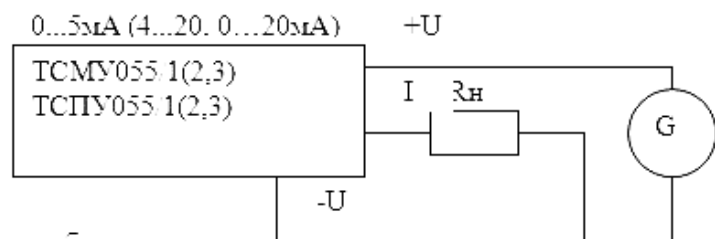
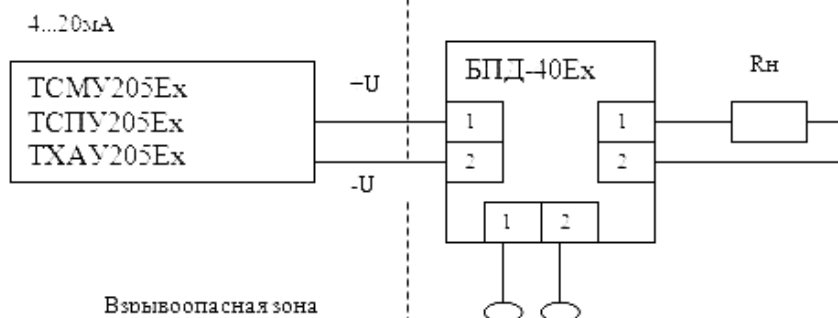


Схема d



Взрывоопасная зона

Рисунок Е.12 – Схемы внешних подключений термопреобразователей

Электродвигательные исполнительные механизмы

Электродвигательные исполнительные механизмы подразделяют на одно- и многооборотные. К однооборотным относятся механизмы типа МЭОБ, МЭОК, ДР-М, МЭО и др., а к многооборотным – механизмы вращательного действия типа МЭМ, двигатели постоянного тока типа МИ, ДПМ, асинхронные двухфазные двигатели и т. п. Если ход запорно-регулирующих органов прямолинейный, то применяют исполнительные механизмы типа МЭП, АVM, AVF. Характеристики некоторых исполнительных механизмов приведены в таблицах Е.9, Е.10.

Таблица Е.9 – Характеристика электрических исполнительных механизмов

Тип	Номинальный момент на валу, Н·м	Пусковой момент, Н·м, не менее	Время одного оборота выходного вала, с	Максимальный угол поворота выходного вала, град	Напряжение питания при частоте 50 Гц, В	Потребляемая мощность, В·А	Габаритные размеры, мм
ПР-М	9,8	–	10, 30	180	220	50	230×122×285
ПР-1М	9,8	–	60, 90, 120	180	220	50	230×122×180
ИМ-2/120	19,6	29,4	120	120	220	30	246×230×210
МЭО-1,6/40	15,7	23,5	40	120	220	40	234×234×213
МЭО-4/100	39,2	58,8	100	90, 240	220	64	260×330×300
МЭО-10/100	98	166,6	100	90, 240	220	64	260×330×300
МЭО-63/250	617,4	1048,6	250	90, 240	220	585	425×455×550
ИМТ-4/35	39,2	58,8	2,5	350	220/380	270	455×210×220
МЭК-10К/120	98	147	120	90, 270	127/220	180	326×313×435
МЭК-25К/4СМ	245	411,6	40	90, 270	220/380	115	490×523×392
БИМ-2,5/120	24,5	34,3	120	120	127	30	246×230×210
БИМ-25/100	245	303,8	100	90, 270	220	150	313×374×4800

Таблица Е.10 – Характеристика прямоходных электрических исполнительных механизмов SAUTER

Наименование параметра	Значение параметра	
	AVM 234S	AVF 234S
Нагрузочная сила, N	2500	2000
Скорость перемещения штока, мм/с	2	
	4	
	8	
Рабочий ход штока, мм	50	40
Управляющий сигнал	0–10 В или 4–20 мА 2-позиционный 3-позиционный	
Защита	Защита от перегрузки	
Контроль	Электронный контроль нагрузок, светодиодная индикация	
Степень защиты	IP66	
Масса, кг	4,6	6,0

Приложение Ж (рекомендуемое)

Справочные данные для расчета и выбора проводов

При расчете и выборе проводов, используемых для подключения и монтажа оборудования и технических средств автоматизации, необходимо знать значение коэффициента кратности тока проводника к току защитного аппарата (таблица Ж.1). Также в таблице Ж.2 приведены значения токовых нагрузок для одно- и многопроволочных проводов с медной жилой без металлической оплетки с поливинилхлоридной или подобной изоляцией. Для проводов с алюминиевыми жилами значения токовых нагрузок, приведенных в таблице Ж.3.

Таблица Ж.1 – Значения коэффициента кратности

Ток защитного аппарата	Кратность допустимых длительных токов		
	В сетях, для которых защита от перегрузки обязательна (ПУЭ, п. 3.1.11)		В сетях, защищаемых только от коротких замыканий (ПУЭ, п. 3.1.9)
	Проводников с резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		
	Во взрыво- и пожаро-опасных зонах, жилых, торговых помещениях и т. д.	невзрыво- и пожаро-опасных помещениях промышленных предприятий	
1	2	3	4
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей	1,25	1,0	0,33
Ток срабатывания (уставки) автоматического выключателя, имеющего только электромагнитный расцепитель	1,25	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя (теплового или комбинированного) автоматического выключателя с нерегулируемой обратозависимой от тока характеристикой	1,0	1,0	1,0
Ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя без отсечки с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой	1,0	1,0	0,66

Таблица Ж.2 – Значения токовых нагрузок для проводов с медными жилами

Номинальное сечение провода, мм ²	Токовая нагрузка, А	
	На открытом воздухе	В каналах
0,5	6,5	6
0,75	10	9
1	13,5	12
1,2	15,5	13,5
1,5	17,5	15,5
2,0	21	18
2,5	24	21
3,0	27	24
4	32	28
5	36	32
6	41	36
8	46	43
10	57	50
16	76	68
25	101	89
35	111	111
50	151	134
70	192	171
95	232	207

Таблица Ж.3 – Значения токовых нагрузок для проводов с алюминиевыми жилами

Номинальное сечение провода, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	27	26	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	275	255	–	–	–
185	390	–	–	–	–	–
240	465	–	–	–	–	–
300	535	–	–	–	–	–
400	645	–	–	–	–	–

Приложение И (рекомендуемое)

Исходные данные для компоновки аппаратов в щитах автоматики

Все щитовые изделия (группы щитов автоматики), предусмотренные ОСТ 36.13–90, по конструкции и назначению подразделяются на 5 групп: щиты и стativeвы высотой 2200 и 1800 мм; стativeвы плоские высотой 2200 и 1800 мм; щиты шкафные малогабаритные; пультаы; вспомогательные элементы щитов и пультов.

По ОСТ 36.13–90 предусматривается условная запись всех модификаций щитовой продукции по определенной схеме при ее заказе и в проектной документации:

Щит ЩШ-3Д-1-22-3-(444×444) УХЛ4 IP30 ОСТ36.13–90,

где «Щит» – наименование изделия; «ЩШ-3Д» – первые буквы наименования (3Д – проставляют только для одиночных щитов); 1 – количество секций (для одиночного щита не проставляют); 22 – степень открытия боковых сторон щита (О2 – открытый с двух сторон, ОП и ОЛ – открытый справа и слева соответственно); 3 – номер исполнения (I, II); (444×444) – типоразмер (высота на глубину); «УХЛ4» – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150–89; «IP30» – степень защиты по ГОСТ 74254–80; «ОСТ36.13–90» – обозначение основного документа.

Основой полногабаритных щитов и стativeвов является объемный каркас. Стойки, образующие каркас, имеют ряд установочных отверстий диаметром 6,6 мм, расположенных с шагом 25 мм. Установка на каркас 2- или 3-фасадных панелей образует панель с каркасом, соответственно, первого или второго исполнений. Установка на панели с каркасом боковых стенок, дверей и крышки образует шкафы.

Шкафы малогабаритные конструктивно представляют собой цельносварной корпус. С помощью петель на каркас с передней стороны установлена дверь с замком. Верхняя и нижняя крышки съемные, закрепленные при помощи болтовых соединений. Нижняя крышка имеет 12 отверстий для ввода внешних проводок. Монтажное поле в щитах образовано специально предусмотренными для этой цели швеллерами, которые, аналогично стойкам каркаса полногабаритных щитов и стativeвов, имеют ряды отверстий диаметром 6,6 мм, расположенные с шагом 25 мм, для закрепления деталей для монтажа аппаратуры и проводок. Швеллеры крепятся на задней стенке при помощи болтовых соединений.

Шкафы малогабаритные исполнения I предназначены для напольной установки, II – для навесной установки.

При необходимости отдельные аппараты управления и сигнализации могут быть установлены также и на двери.

При выборе щитов и размещении в них приборов и аппаратов придерживаются следующего порядка:

1) предварительно определив тип щитовой продукции, в соответствии с исходными материалами определяют перечень приборов и аппаратуры, располагаемой на фасадных панелях щитов, пультов и внутри щитов и стативов;

2) руководствуясь ГОСТами, руководящими материалами, производят предварительную компоновку приборов, аппаратов, вспомогательных изделий на фасадных панелях или дверях щитов и внутри щитов;

3) определив монтажную зону аппаратов, занимаемую на дверях и внутри щитов, по большей сумме подбирают типоразмер щита, после чего проводят окончательную компоновку аппаратуры.

Компоновка приборов и аппаратуры на фасадных панелях щитов должна выполняться с учетом допустимых полей монтажа (рисунки И.1, И.2).

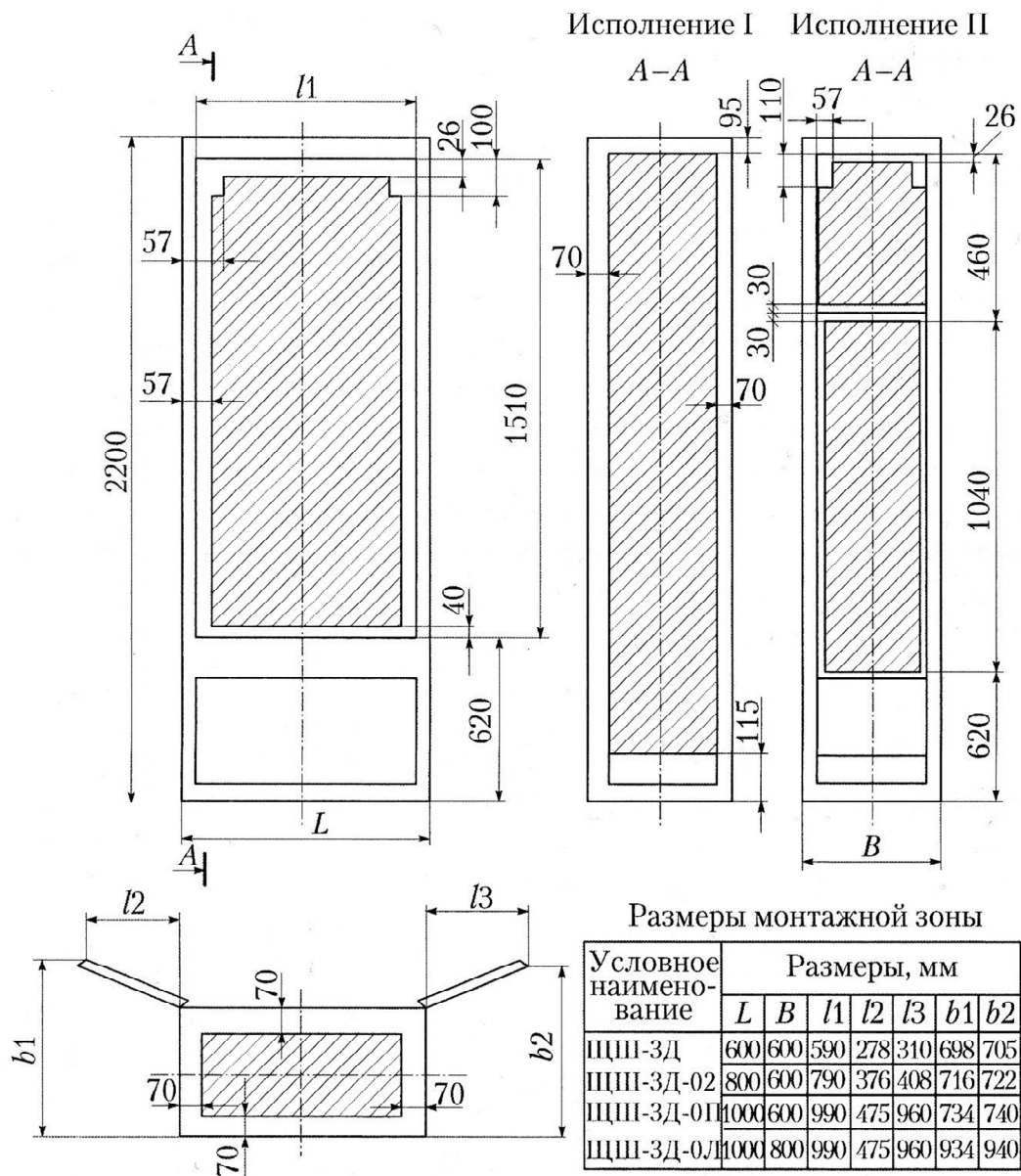


Рисунок И.1 – Монтажные зоны шкафных щитов ЩШ-3Д

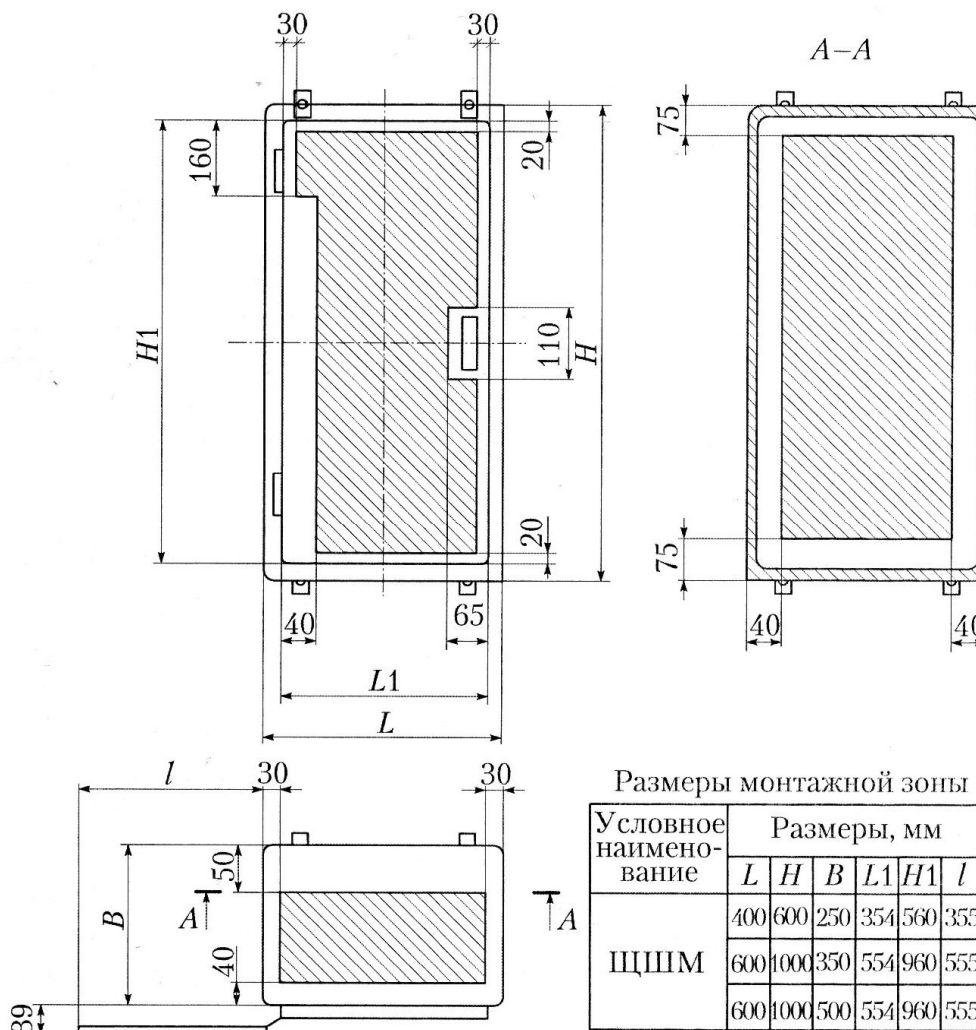


Рисунок И.2 – Допустимые поля монтажа малогабаритных щитов

Рекомендуемые расстояния на фасадах щитов и пультов по РТМ 25-91-90

Рекомендуемые расстояния до приборов от края щита и между приборами, устанавливаемыми на фасадах щитов, определены как минимальные расстояния из расчета обеспечения площади, необходимой для разводки и подключения внешних электрических, пневматических и гидравлических линий, возможности доступа к крепежным узлам и деталям и обеспечения достаточной прочности и жесткости фасадных панелей.

Под термином «Край щита» понимаются линии, ограничивающие переднюю плоскость каркаса щита справа и слева.

В таблице И.1 находят приборы, между которыми рассчитываются расстояния и номера групп.

В таблице И.2 по горизонтали и вертикали расположены номера групп приборов, при этом по вертикали расположены номера групп, от которых следует производить отсчет, по горизонтали номера групп приборов, до которых производится отсчет, а с четырех сторон указаны рекомендуемые размеры до приборов, расположенных соответственно справа, слева, сверху, снизу.

Определение размера между фланцами соседних приборов производится во всех случаях от прибора с меньшим номером группы до прибора с большим номером.

Определение расстояния между осями приборов производится следующим образом:

– между вертикальными осями – к размеру, указанному в таблице И.2, соответственно справа и слева следует прибавить сумму размеров «В» сочетаемых приборов из таблицы И.1 (графа 5);

– между горизонтальными осями – к размеру, указанному в таблице И.2, соответственно сверху или снизу, следует прибавить сумму размеров «Н» сочетаемых приборов из таблицы И.1 (графа 6).

Рекомендуемые минимальные размеры от края щита до оси крайнего прибора приведены в таблице И.1 (графа 4).

При расположении круглых приборов в шахматном порядке расстояние между горизонтальными осями следует принимать 0,8 расстояния между вертикальными осями, определенного по таблицам И.1 и И.2.



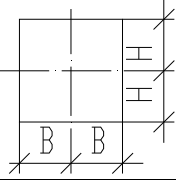
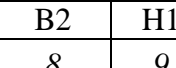
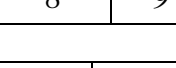
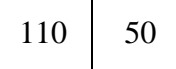
В том случае, если рассчитанный размер между осями приборов не достаточен для размещения надписей или прокладки пакетов (жгутов) проводов или труб, его нужно увеличить до требуемого.

Следует иметь в виду, что рамки для надписи или шильдики рекомендуется устанавливать на расстоянии 15–20 мм от фланца прибора. Для крупногабаритных приборов это расстояние может быть увеличено.

При расчете места для пакетов жгутов проводов или труб диаметр провода по изоляции принимается равным 3,4 мм, а диаметр труб – по фактическим их размерам.

В технически обоснованных случаях допускается сокращение размеров между приборами, приведенными в таблице И.2. Такими случаями могут быть сочетание крупногабаритных приборов с малогабаритными, что увеличивает жесткость панели и т. д.

Таблица И.1 – Рекомендуемые размеры монтажной зоны некоторых приборов, устанавливаемых на фасадах щитов

Наименование прибора	Тип	Группа	Размеры от края щита до оси прибора, мм	Размер прибора по фланцу, мм		Размеры монтажной зоны, мм				Обозначение монтажного чертежа
										
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Приборы вторичные										
Милли- вольтметры	Ш 4500	14	180	100	50	110	110	50	50	ТМ4-614-81
	Ш 4501									
	Ш 69003	2	140	60	60	70	70	70	70	ТМ4-615-81

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Милли- вольтметры	КСУ1	7	180	80	100	110	110	100	100	TM4-618-81	
	КСУ2	8	230	120	160	140	140	160	160	TM4-619-81	
	КСУ4		300	200	200	210	210	200	200	TM4-620-81	
Потенцио- метры	КСП1	7	180	80	100	110	110	100	100	TM4-618-81	
	КСП2		220	120	160	140	1450	160	160	TM4-619-81	
	КП140	17	150	70	70	100	80	100	100	TM4-622-81	
	КСП-4	8	300	200	200	200	230	200	200	TM4-620-81	
Приборы регулирующие, блоки и элементы функциональных приборов регулирующих, регуляторы, работающие без постороннего источника энергии 421800 Регулирующие устройства											
Регулято- ры разности темпера- тур	РРТ (во встраиваемом кожухе)	6	140	60	80	60	60	110	80	TM4-903-80	
	РТТ (без встраиваемого кожуха)	6	140	45	75	60	60	75	75		
Регулято- ры температу- ры	РТ-2А, РТ-2Б (во встроен- ном кожухе)	6	140	60	80	60	60	110	80		
	РРТ (во встраиваемом кожухе)	6	140	60	80	60	60	110	80		
Аппараты электрические на напряжение до 1000 В 342000											
Переключатели типа «Тумблер»	ТВ1-1	3	60	10	10	25	25	25	25		TM4-1212-75
	ТВ1-2										
	ТВ1-4										
	ТВ2-1		60	8	8	20	20	20	20	TM4-1213-75	
	ТВ2-1-2										
	ТП1-2										
Выключатели (переключатели) пакетные	ПВ2-10	13	90	25	25	50	50	50	50	TM4-1223-75	
	ПВ3-10										
	ПП2-10										
	ПП3-10										
	ПВ2-25 ПВ3-25 ПП2-25 ПП3-25		100	45	45	65	65	65	65	TM4-1224-73	
Кнопки	КЕ-011	4	80	20	21	35	35	25	25	TM4-1148-73	
	КЕ-012					40	40			TM4-1149-73	
Кнопочные посты	ПКЕ112-1	14	100	37	37	55	55	40	40	TM4-1159-75	
	ПКЕ112-2			30	30			70	70	TM4-1160-75	

Окончание таблицы И.1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Переключатель шестипакетный малогабаритный	ПМО	15	120	35	36	75	75	75	75	TM4-1206-73
Универсальный переключатель	УП5300 (с числом секций до 10)	15	120	34	35	70	70	70	70	TM4-1215-73
	УП5300 (с числом секций 10, 17, 16)	16								
Арматура сигнальная 346000										
Арматура сигнальная	АС-220	3	80	19	19	25	25	25	25	TM4-1117-73
	АС-53		70	19	34	20	20	20	55	TM4-1131-75
	АЕ		70	19	19	19	19	19	19	TM4-1133-75
	АМЕ		60	14	14	14	14	14	14	TM4-1132-76
	АС	3								
Табло световое	ТСБ/2	1	100	55	23	55	55	23	23	TM4-1124-73
	ТСМ	1	80	28	23	28	28	23	23	TM4-1123-73

Таблица И.2 – Рекомендуемые расстояния между приборами и средствами автоматизации на фасадах щитов

		Группы приборов, до которых ведется расчет									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Группы приборов, от которых ведется расчет	1										
	2	—									
	3	—	—								
	4	—	—	—							
	5	—	—	—	—						
	6	—	—	—	—	—					
	7	—	—	—	—	—	—				
	8	—	—	—	—	—	—	—			
	9	—	—	—	—	—	—	—	—		
	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Продолжение таблицы И.2

		Группы приборов, до которых ведется расчет									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Группы приборов, от которых ведется расчет	1	$40 \frac{40}{100} 40$	$40 \frac{130}{40} 40$	$40 \frac{300}{40} 40$	$30 \frac{30}{30} 30$	$60 \frac{60}{60} 60$	$70 \frac{130}{30} 30$	$40 \frac{130}{40} 40$	$40 \frac{80}{40} 40$	$100 \frac{100}{100} 100$	$100 \frac{100}{40} 100$
	2	$40 \frac{40}{100} 40$	$40 \frac{130}{40} 40$	$40 \frac{300}{40} 40$	$40 \frac{40}{40} 40$	$60 \frac{60}{60} 60$	$70 \frac{130}{40} 40$	$50 \frac{130}{50} 50$	$50 \frac{80}{50} 50$	$100 \frac{100}{100} 100$	$100 \frac{100}{50} 100$
	3	$40 \frac{40}{100} 40$	$40 \frac{130}{40} 40$	$40 \frac{300}{40} 40$	$40 \frac{40}{40} 40$	$50 \frac{50}{50} 50$	$70 \frac{130}{40} 40$	$50 \frac{130}{50} 50$	$50 \frac{80}{50} 50$	$100 \frac{100}{100} 100$	$120 \frac{100}{50} 120$
	4	$40 \frac{40}{100} 40$	$40 \frac{130}{40} 40$	$40 \frac{300}{40} 40$	$40 \frac{40}{40} 40$	$60 \frac{60}{60} 60$	$70 \frac{130}{40} 40$	$50 \frac{130}{50} 50$	$50 \frac{80}{50} 50$	$100 \frac{100}{100} 100$	$120 \frac{100}{50} 120$
	5	$50 \frac{40}{100} 50$	$50 \frac{130}{40} 50$	$50 \frac{300}{40} 50$	$40 \frac{40}{40} 40$	$60 \frac{60}{60} 60$	$70 \frac{130}{40} 40$	$50 \frac{130}{40} 50$	$50 \frac{80}{40} 50$	$100 \frac{100}{100} 100$	$120 \frac{100}{50} 120$
	6	$60 \frac{60}{100} 60$	$50 \frac{130}{50} 50$	$60 \frac{300}{60} 60$	$40 \frac{40}{40} 40$	$60 \frac{60}{60} 60$	$70 \frac{130}{50} 50$	$60 \frac{130}{50} 60$	$60 \frac{100}{60} 60$	$100 \frac{100}{100} 100$	$120 \frac{100}{50} 120$
	7	$60 \frac{60}{100} 60$	$60 \frac{130}{60} 60$	$60 \frac{300}{60} 60$	$60 \frac{40}{40} 60$	$70 \frac{70}{70} 70$	$70 \frac{130}{40} 40$	$60 \frac{130}{60} 60$	$40 \frac{80}{50} 60$	$100 \frac{100}{100} 100$	$120 \frac{150}{70} 120$
	8	$60 \frac{60}{100} 60$	$60 \frac{130}{60} 60$	$60 \frac{300}{60} 60$	$60 \frac{40}{40} 60$	$70 \frac{70}{70} 70$	$60 \frac{130}{60} 60$	$60 \frac{130}{60} 60$	$40 \frac{80}{50} 70$	$100 \frac{100}{100} 100$	$120 \frac{150}{70} 120$
	9	$60 \frac{60}{120} 60$	$40 \frac{130}{40} 40$	$40 \frac{300}{40} 40$	$40 \frac{50}{50} 40$	$60 \frac{60}{80} 60$	$70 \frac{130}{60} 40$	$60 \frac{130}{60} 60$	$50 \frac{100}{50} 50$	$100 \frac{100}{100} 100$	$120 \frac{150}{60} 120$
	10	$60 \frac{60}{200} 60$	$40 \frac{130}{100} 40$	$40 \frac{300}{100} 40$	$40 \frac{40}{100} 40$	$60 \frac{60}{150} 60$	$70 \frac{130}{100} 40$	$60 \frac{130}{60} 60$	$50 \frac{80}{100} 70$	$100 \frac{100}{230} 100$	$120 \frac{150}{100} 120$

		Группы приборов, до которых ведется расчет									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Группы приборов, от которых ведется расчет	11	$50 \frac{100}{100} 50$	$50 \frac{230}{50} 50$	$50 \frac{450}{50} 50$	$50 \frac{100}{50} 50$	$50 \frac{50}{80} 50$	$70 \frac{230}{50} 50$	$60 \frac{250}{60} 60$	$60 \frac{100}{60} 60$	$200 \frac{160}{100} 100$	$100 \frac{250}{50} 100$
	12	—	$40 \frac{130}{130} 40$	$40 \frac{300}{130} 40$	$40 \frac{40}{130} 40$	$60 \frac{60}{160} 60$	$70 \frac{130}{130} 40$	$50 \frac{150}{150} 50$	$60 \frac{80}{130} 60$	$100 \frac{100}{230} 100$	$120 \frac{150}{130} 120$
	13	—	—	$40 \frac{300}{300} 40$	$40 \frac{40}{300} 40$	$60 \frac{60}{300} 60$	$40 \frac{130}{300} 100$	$60 \frac{150}{300} 60$	$60 \frac{80}{300} 60$	$100 \frac{100}{380} 100$	$120 \frac{150}{300} 120$
	14	—	—	—	$40 \frac{0}{0} 40$	$60 \frac{60}{60} 60$	$70 \frac{130}{40} 40$	$50 \frac{150}{50} 50$	$60 \frac{100}{60} 60$	$100 \frac{100}{100} 100$	$120 \frac{150}{60} 120$
	15	—	—	—	—	$60 \frac{60}{60} 60$	$120 \frac{130}{50} 50$	$60 \frac{160}{60} 60$	$60 \frac{100}{60} 60$	$140 \frac{140}{140} 140$	$150 \frac{150}{60} 150$
	16	—	—	—	—	—	$60 \frac{130}{130} 60$	$50 \frac{160}{130} 50$	$50 \frac{100}{130} 80$	$100 \frac{100}{200} 160$	$180 \frac{150}{130} 180$
	17	—	—	—	—	—	—	$60 \frac{100}{160} 60$	$60 \frac{100}{150} 60$	$100 \frac{100}{220} 100$	$120 \frac{150}{150} 120$
	18	—	—	—	—	—	—	—	$70 \frac{70}{70} 70$	$100 \frac{100}{160} 100$	$120 \frac{150}{80} 120$
	19	—	—	—	—	—	—	—	—	$130 \frac{130}{130} 130$	$180 \frac{230}{100} 180$
	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$240 \frac{160}{130} 240$

Монтажные зоны аппаратов, устанавливаемых в щитах и в станивах по ОСТ 36.13–90

На рисунке И.3 показаны варианты установки электроаппаратуры. Монтажная зона аппарата, способ установки, количество однотипных аппаратов, устанавливаемых в одном ряду, даны в таблице И.3 и определяются ТМЗ-13-90.

На рисунке И.4 показаны варианты установки блоков зажимов. Монтажная зона аппарата, способ установки, количество однотипных аппаратов, устанавливаемых в одном ряду, даны в таблице И.4 и определяются ТМЗ-165–90.

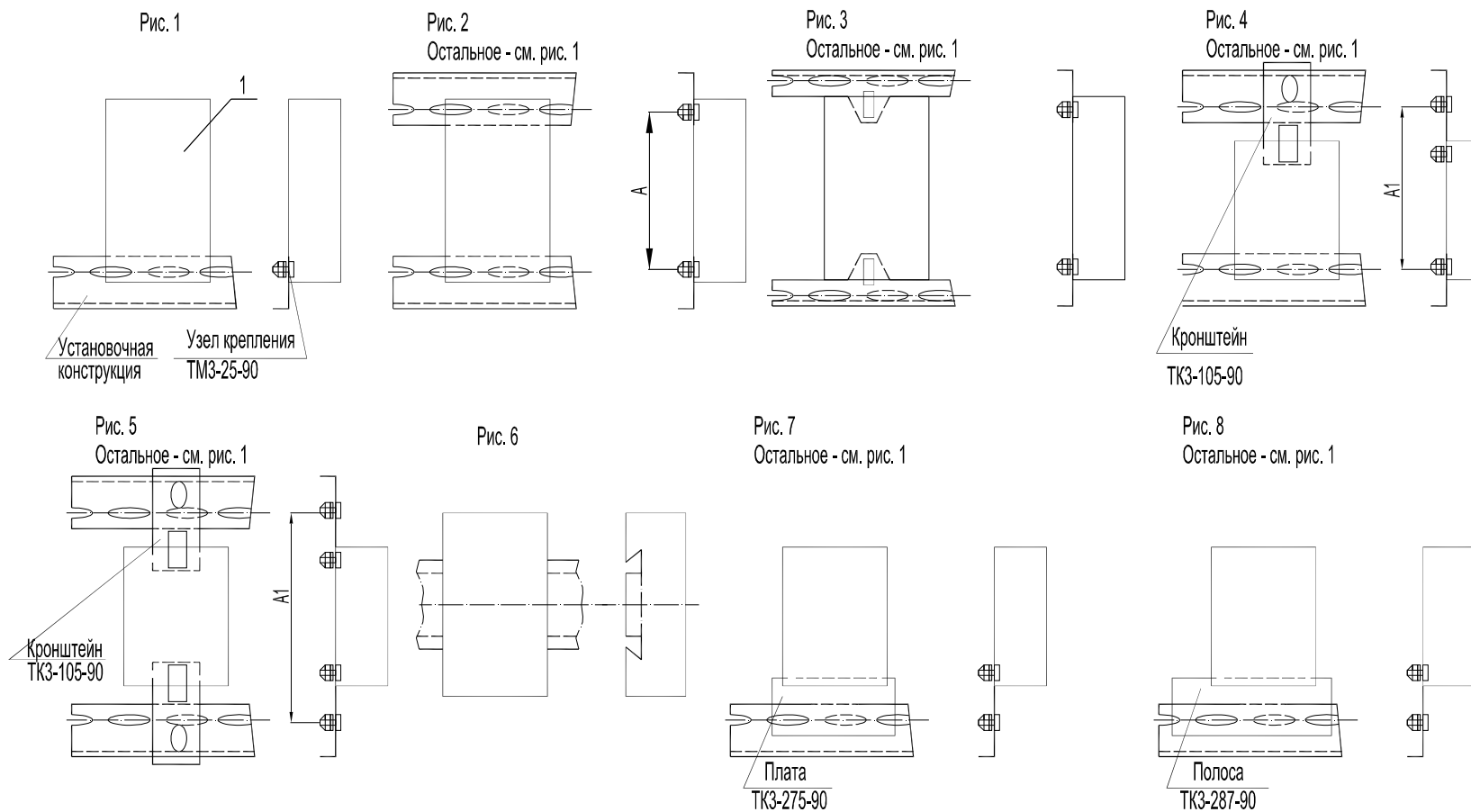


Рисунок И.3 – Варианты установки электроаппаратуры

Таблица И.3 – Монтажные зоны аппаратов, устанавливаемых в щитах

Условное наименование	Рисунок	Аппарат (поз. 1)		Установочная конструкция	Монтажная зона аппарата, мм						Габаритные и установочные размеры аппарата, мм						Максимальное количество однотипных аппаратов в ряду									
															ЩШМ		ЩП, ЩПК, С, СП			Рама поворотная РП для щита						
					L	B	h		h1		L1	H	B1	A	A1		400	600	600				800	1000	600	800
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max			
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	26	
1	2,4	Реле	БРЭ-1	ТКЗ-285-90	160	74	140	200	155		134	257	74	230	244	287	-	-	-	-	-	2	4	2	4	
2				ТКЗ-286-90					1	2							3	4	5	-	-	-	-			
3	1	Реле	РТТ-11 РТТ-111	ТКЗ-285-90	85	75	60		60		67	56	75	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5	4	5	
4				ТКЗ-286-90			3	5	6	8							10	-	-	-	-					
5	1	Реле	РТТ-21 РТТ-211	ТКЗ-285-90	120	76	65		65		91	64	75	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5	4	5	
6				ТКЗ-286-90			2	4	5	6							8	-	-	-	-					
27	28	2,4	РВМ12 РВМ13 переднее присоед. проводов	ТКЗ-285-90	185	168	95	155	95		135	157	158	141	155	195	-	-	-	-	-	2	3	2	3	
				ТКЗ-286-90					1	2							3	4	5	-	-	-	-			
29	3	Реле	РВМ12 РВМ13 заднее присоед. проводов	ТКЗ-125-90	170	240 168 240	115	230		118	147	168	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	-	-
30								90	-									-	-	-	-	-	-	-		
31								ТКЗ-128-90	240									230	1	2	3	4	5	-	-	2

Продолжение таблицы И.3

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	26																					
37	6		BC-33-1	TK3-177-90	50	125	65	65	65	45	70	125		-	-	-	-	-	-	-	-	8	12	8	12																					
38				TK3-278-90																											5	8	10	14	18	-	-	-	-							
39				2,4			TK3-285-90	60				125					60	74	114	-	-	-	-	-	7	10	7	10																		
40							TK3-286-90																											4	7	8	11	14	-	-	-	-				
49	6		ВЛ-54 ВЛ-55	TK3-277-90	60		65	65	65	55	75						-	-	-	-	-	6	10	6	10																					
50				TK3-278-90																											4	7	8	11	14	-	-	-	-							
51				2,4			TK3-285-90	75				125					50	64	104	-	-	-	-	-	6	8	6	8																		
141	1	Реле	РПУ-3М-67	TK3-285-90	150	184	70	70	97	112	184						-	-	-	-	-	3	4	3	4																					
142				TK3-286-90																											2	3	3	5	6	-	-	-	-							
143			РПУ-3М-131	TK3-285-90			80	80	130												-	-	-	-	-	3	4	3	4																	
144				TK3-286-90																																2	3	3	5	6	-	-	-	-		
145	2,4		РП321, РП322, РП342 пе- реднее при- соед. проводов, РП321, РП141 заднее присоед. проводов	TK3-125-90	165	151	95	155	95	116	157	151	141	155	195	-	-	-	-	-	2	4	2	4																						
146				TK3-128-90																											1	3	3	4	5	-	-	-	-							
147	3			TK3-125-90	170	250	110	290	98	147				195			-	-	-	-	-	2	3																							
148				151		95																																							2	3
149				TK3-128-90		250		290																																						
192	6	Реле	РП-21 с розеткой типа 3	TK3-277-90	50	75	60	50	37		73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	12	9	12																						
193				TK3-278-90																									6	10	11	15	19	-	-	-	-									
194				2,4			TK3-285-90	50	80	70	115	70	48		80	50	67	104	-	-	-	-	-	7	10	7	10																			
195							TK3-286-90																											4	7	8	11	14	-	-	-	-				
208	2,4	Реле	РПЛ с кон- тактной приставкой	TK3-285-90	80	104	50	110	50	44	67	107	50	64	94	-	-	-	-	-	5	8	-	-																						
209				TK3-286-90																											3	5	7	9	11	-	-	-	-							
210		Модуль сигналь- но- блокиро- вочный искробе- зопасный	МСБ11-2	TK3-285-90	60	140	70	130	70	40	70	111	62,1	76	116	-	-	-	-	-	7	10	7	10																						
211				TK3-286-90																												4	7	8	12	15	-	-	-	-						

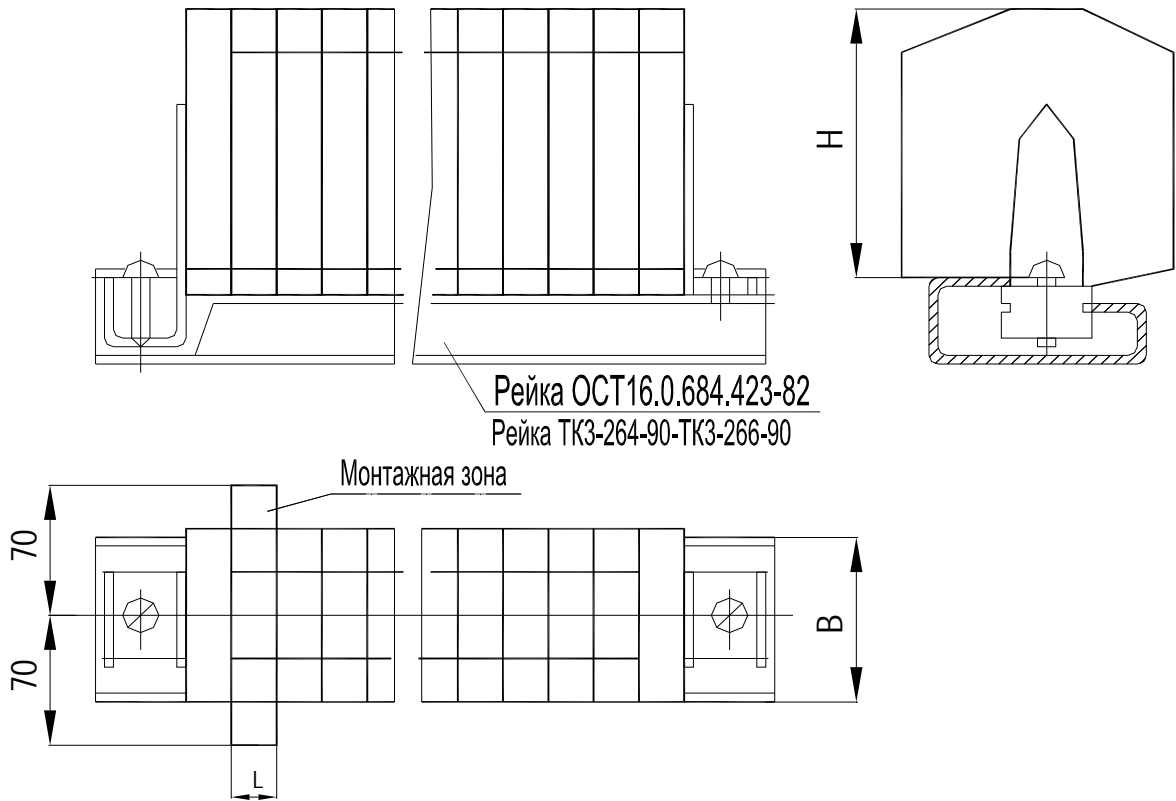
Окончание таблицы И.3

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	26
221	2,4	Пуска- тель	ПМЕ- 01М	ТКЗ-285-90	85	140	65	115	65	65	75	122	65	79	119	-	-	-	-	-	5	7	5	7	
222			ПМЕ-04М	ТКЗ-286-90												-	3	5	6	8	11	-	-	-	-
223	2,4	Пуска- тель	ПМЕ-012М	ТКЗ-285-90	110		90	150	75	83	117		50	64	104	-	-	-	-	-	4	5	4	5	
224			ПМЕ-042М	ТКЗ-286-90												-	2	4	4	6	7	-	-	-	-
225	2,4	Пуска- тель	ПМЕ-073М	ТКЗ-285-90	170	140	85	145	85	150	110	122	100	114	154	-	-	-	-	-	2	3	2	3	
226			ТКЗ-286-90	-												1	2	3	4	5	-	-	-	-	
227	2,4	Пуска- тель	ПМЕ-074М	ТКЗ-285-90	175		95	155	95	155	137					-	-	-	-	-	2	3	2	3	
228			ТКЗ-286-90	-												1	2	3	4	5	-	-	-	-	
229	2,4	Пуска- тель	ПМЕ-111	ТКЗ-285-90	110	101	65	125	65	87	72	86	58	72	112	-	-	-	-	-	4	6	4	6	
230			ТКЗ-286-90	-												2	4	5	6	8	-	-	-	-	
231	2,4	Пуска- тель	ПМЕ-112	ТКЗ-285-90	125	108	105	155	105	102	154	93	58	102	-	-	-	-	-	3	5	3	5		
232			ТКЗ-286-90	-											2	3	4	5	7	-	-	-	-		
233	2,4	Пуска- тель	ПМЕ-113	ТКЗ-285-90	120	125	115	165	115	97	180	108	164	178	218	-	-	-	-	-	3	5	3	5	
234			ТКЗ-286-90	-												2	3	4	6	7	-	-	-	-	
235	2,4	Пуска- тель	ПМЕ-114	ТКЗ-285-90			145	205	145		232		158	172	212	-	-	-	-	-	3	5	3	5	
236			ТКЗ-286-90	-												2	3	4	6	7	-	-	-	-	
253	2,4	Пуска- тель	ПМЛ-1100	ТКЗ-285-90	65	74	70	130	70	44	67	74	50	64	104	-	-	-	-	-	7	10	7	10	
254			ПМЛ-1101	ТКЗ-286-90												-	4	7	8	11	14	-	-	-	-
255	2,4	Пуска- тель	ПМЛ-2100	ТКЗ-285-90	80	90	70	130	75	56	77	89	50	64	104	-	-	-	-	-	5	8	5	8	
256			ПМЛ-2101	ТКЗ-286-90												-	3	5	6	9	11	-	-	-	-
257	2,4	Пуска- тель	ПМЛ-3100	ТКЗ-285-90	90	110	95	155	95	75	126	107	100	114	154	-	-	-	-	-	5	7	5	7	
258			ПМЛ-4100	ТКЗ-286-90												-	3	5	6	8	10	-	-	-	-
259	2,4	Пуска- тель	ПЛМ-1501	ТКЗ-285-90	125	104	70	130	70	103	73	104	50	64	104	-	-	-	-	-	3	5	3	5	
260			ТКЗ-286-90	-												2	3	4	5	7	-	-	-	-	
261	2,4	Пуска- тель	ПЛМ-2501	ТКЗ-285-90	155	115	80	140	80	128,5	88	115				-	-	-	-	-	3	4	3	4	
262			ТКЗ-286-90	-												1	3	3	4	6	-	-	-	-	
263	2,4	Пуска- тель	ПЛМ-3500	ТКЗ-285-90	190	137	95	155	95	165	126	137	100	114	154	-	-	-	-	-	2	3	2	3	
264			ПЛМ-4500	ТКЗ-286-90												-	1	2	3	4	5	-	-	-	-
265	2,4	Пуска- тель	ПЛМ-3102	ТКЗ-285-90	110	118	75	135	75	88	102	118	75	89	129	-	-	-	-	-	4	5	4	5	
266			ТКЗ-286-90	-												2	4	5	6	8	-	-	-	-	
267	2,4	Пуска- тель	ПЛМ-32020	ТКЗ-285-90	115				130	92	170					-	-	-	-	-	4	5	4	5	
268			ТКЗ-286-90	-												2	4	5	6	8	-	-	-	-	
277	2,4	Выклю- чател ь авт ома тиче ский	ВА16	ТКЗ-277-90	18	75	65	65	65	74	75	82	95	136	-	-	-	-	-	24	33	24	35		
278				ТКЗ-278-90											-	14	25	30	40	52	-	-	-	-	
279	2,4	Выклю- чател ь авт ома тиче ский	ВА 51-31-1	ТКЗ-285-90	25	92,5	80	140	80	25	186	92,5	117	131	171	-	-	-	-	-	25	32	23	34	
280				ТКЗ-295-90												-	13	23	28	38	48	-	-	-	-
281	2,4	Выклю- чател ь авт ома тиче ский	ВА 51-31-1	ТКЗ-285-90	25	92,5	80	140	80	25	186	92,5	117	131	171	-	-	-	-	-	17	25	17	25	
282				ТКЗ-286-90												-	9	17	20	28	36	-	-	-	-

Таблица И.4 – Монтажные зоны блоков зажимов

Условное наименование	Рис.	Поз. 1 Зажим, блок зажимов	Поз. 2		Поз. 3	Минимальное количество зажимов, блоков в горизонтальном (вертикальном) ряду															
			Крышка торцевая	Перегородка для зажима	Скоба прижимная	Габаритные размеры зажима, блока, мм	ЩШМ				ЩШ, ЩПК, С, СП										
							Боковая стенка		Задняя стенка	Передняя стенка, стационарная рама		Боковая стенка									
			Количество				Установка														
			1	1	2		вертикальная			горизонтальная											вертикальная
Условное наименование			L	B	H		600	1000	500	400	600	600	800	1000	600	800	1800	2200			
1	1	Зажимы наборные ЗН23-4П25-Д/Д У3 ЗН23-4П25-Д/Д Т3 Исполнение 1 ТУ16-526.492-81	-	ПА9У ПА9Т	ПУ ПТ	6,8	36	32,5	35	104	50	35	68	74	104	134	62	90	169	208	
2		Зажимы наборные ЗН24-4П16-В/В У3 ЗН24-4П16-В/В Т3 Тип 1 ТУ16-526.462-79	КТ4У КТ4Т	СП1У СП1Т	10, 5	34	24	22	65	32	22	42	48	66	86	40	60	108	134		
3	2	Блоки зажимов Б324-4П16-В/В У3-10, Б324-4П16-В/В Т3-10 Тип 1 ТУ16-526.462-79	КТ5У КТ5Т	-	-	118	34	33	2	5	2	2	4	4	6	8	3	5	10	12	

а)



б)

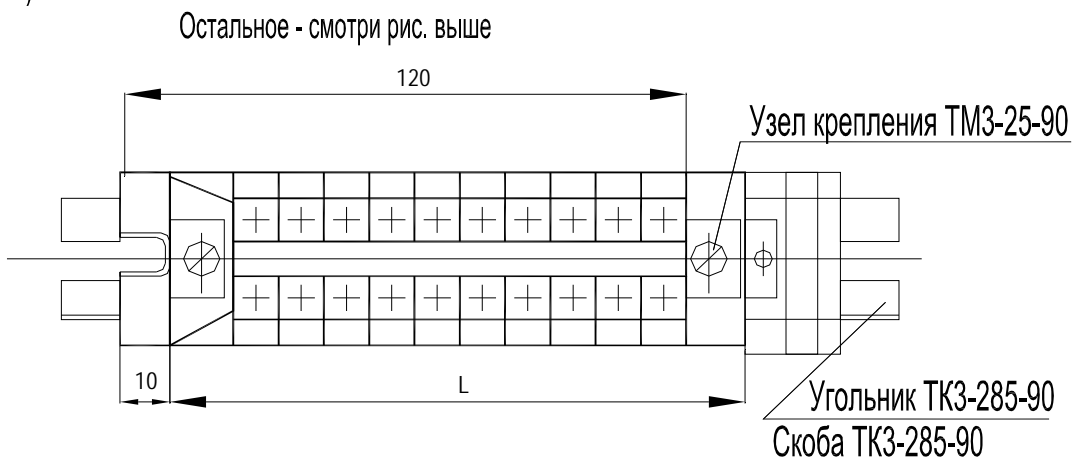


Рисунок И.4 – Варианты установки блоков зажимов

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Якубовская Елена Степановна,
Павловский Владимир Александрович

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.
КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *Н. М. Матвейчук*
Корректор *Д. О. Михеева*
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского, Д. О. Михеевой*
Дизайн обложки *А. А. Покало*

Подписано в печать 28.12.2022. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 32,55. Уч.-изд. л. 12,73. Тираж 99 экз. Заказ 491.

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, 99–1, 220023, Минск.