

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. С. Якубовская

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ. КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве
учебного пособия для студентов учреждений высшего образования
по специальностям «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(по направлениям)», «Автоматизация технологических процессов
и производств (сельское хозяйство)»*

Минск
БГАТУ
2017

УДК 681.51(07)
ББК 32.965я7
Я49

Рецензенты:

кафедра автоматизации производственных процессов
и электротехники УО БГАТУ (заведующий кафедрой *Д. С. Карпович*);
кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы»
Белорусского национального технического университета *Ю. Е. Лившиц*

Якубовская, Е. С.
Я49 Проектирование систем автоматизации. Курсовое и дипломное
проектирование : учебное пособие / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ,
2017. – 248 с.
ISBN 978-985-519-862-9.

В учебном пособии освещены вопросы методики и технологии проектирования систем автоматизации сельскохозяйственного производства, изложены требования к документации проекта автоматизации, рассмотрен сквозной пример разработки САУ.

Предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов вузов и специалистов в области электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства.

УДК 681.51(07)
ББК 32.965я7

ISBN 978-985-519-862-9

© БГАТУ, 2017

Содержание

Список сокращений.....	5
Введение.....	6
1 Общие вопросы организации проектирования по дисциплине «Проектирование систем автоматизации».....	7
1.1 Цели и задачи курсового и дипломного проектирования.....	7
1.2 Требования к теме курсового проекта.....	10
1.3 Содержание курсового проекта.....	11
1.4 Краткое содержание разделов пояснительной записки курсового проекта.....	12
2 Разработка проекта автоматизации технологического процесса.....	16
2.1 Постановка задач проектирования системы автоматического управления технологическим процессом.....	16
2.1.1 Анализ технологических требований. Возможные варианты реализации процесса сушки зерновых (пример).....	17
2.1.2 Анализ вариантов управления, определение объема автоматизации, вида АУУ и структуры САУ (пример).....	23
2.2 Разработка системы автоматического управления (на примере зерносушилки).....	33
2.2.1 Структура и состав систем автоматического управления технологическими процессами.....	33
2.2.1.1 Система автоматического управления (САУ).....	33
2.2.1.2 Система автоматического регулирования (САР).....	41
2.2.2 Выбор технических средств автоматизации.....	49
2.2.2.1 Выбор устройства управления.....	49
2.2.2.2 Выбор датчиков.....	51
2.2.2.3 Выбор исполнительных механизмов.....	52
2.2.2.4 Выбор аппаратуры управления и защиты.....	53
2.2.2.5 Пример выбора технических средств автоматизации.....	56
2.2.3 Разработка алгоритма и структуры управления.....	63
2.3 Разработка системы автоматического регулирования.....	77
2.4 Разработка средств визуализации управления.....	88

2.5 Разработка программы управления.....	90
2.5.1 Краткая характеристика языков программирования контроллера.....	90
2.5.2 Пример разработки программы для контроллера фирмы Siemens.....	91
2.6 Разработка полной принципиальной электрической схемы управления, регулирования, контроля и сигнализации.....	104
3 Разработка схем питающей и распределительной сети.....	115
3.1 Требования к системам питания систем автоматизации.....	115
3.2 Требования к оформлению принципиальных электрических схем питания средств автоматизации.....	119
3.3 Пример выполнения принципиальной схемы питающей и распределительной сети.....	123
4 Расчет надежности системы автоматического управления. Средства обеспечения надежности.....	127
4.1 Показатели надежности.....	127
4.2 Методы расчета надежности систем управления.....	130
4.3 Пример расчета надежности.....	131
5 Разработка средств автоматизации проектирования.....	133
6 Заключительные шаги при работе над курсовым проектом.....	139
Заключение.....	140
Список использованных источников.....	141
Приложение А Примерные варианты заданий к курсовому проектированию.....	148
Приложение Б Бланк задания на курсовое проектирование.....	185
Приложение В Форма задания на проектирование системы автоматического управления.....	187
Приложение Г Пример задания на проектирование системы автоматического управления.....	189
Приложение Д Требования к оформлению схем автоматизации.....	192
Приложение Е Характеристика некоторых технических средств автоматизации.....	208
Приложение Ж Характеристика встроенного языка программирования AutoCAD – AutoLisp.....	225

Список сокращений

АУУ – автоматическое устройство управления.
ИМ – исполнительный механизм.
ИУ – исполнительное устройство.
ИЭ – исполнительный элемент.
ЛК – левая кнопка (мыши).
ЛУУ – логическое устройство управления.
МЭК – международная электротехническая комиссия.
НКУ – низковольтное комплектное устройство.
НП – нормирующий преобразователь.
ОУ – объект управления.
П-закон – пропорциональный закон.
ПАЗ – система противоаварийной автоматической защиты.
ПИ-закон – пропорционально-интегральный закон.
ПИД-закон – пропорционально-интегрально-дифференциальный закон.
ПК – правая кнопка (мыши).
ПП – первичный измерительный преобразователь.
ПСК – пользовательская система координат.
ПТЛ – поточная технологическая линия.
РКС – релейно-контактная схема.
САПР – система автоматизированного проектирования.
САР – система автоматического регулирования.
САУ – система автоматического управления.
ТП – технологический процесс.
ТСА – технические средства автоматизации.

Введение

На сегодняшний день определена приоритетная цель развития промышленного комплекса – формирование конкурентоспособного инновационного промышленного (в т. ч. агропромышленного) комплекса, увеличение выпуска соответствующей мировым стандартам продукции и наращивание экспортного потенциала [1]. Достичь данной цели можно при условии внедрения экспортоориентированных высокотехнологичных производств, снижения материало- и импортосемкости продукции, перехода на энерго- и ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии производства. В этих условиях многократно возрастает роль инженера как инициатора инновационных процессов по повышению качества продукции и снижению трудовых, ресурсных и энергозатрат, проектированию и внедрению высокотехнологичных автоматизированных производств.

В настоящее время приоритетная профессиональная задача инженера по автоматизации – проектирование, внедрение и эксплуатация высокотехнологичных линий и установок, отвечающих комплексу требований. Проектирование таких объектов – весьма сложная задача, которую может решить специалист, обладающий высоким уровнем профессиональной компетентности, используя современные методы проектирования, включая сбор исходных проектных данных, анализ возможных вариантов решения технической задачи, формулирование требований к системе автоматизации, синтез автоматизированной системы управления с учетом результатов моделирования и технико-экономической оценки, разработку комплекта проектной документации.

На овладение данными методами и направлено курсовое проектирование по дисциплине «Проектирование систем автоматизации», а закрепить полученные навыки позволяет дипломное проектирование.

Учебное пособие оформлено в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

1 Общие вопросы организации проектирования по дисциплине «Проектирование систем автоматизации»

1.1 Цели и задачи курсового и дипломного проектирования

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. Логически и технически продуманная система автоматики должна быть представлена на языке, одинаково понятном для специалистов, занимающихся вопросами монтажа, наладки и эксплуатации систем автоматики. Такое взаимопонимание обеспечивается посредством специально разрабатываемой технической документации, которая называется проектом автоматизации технологического процесса. Независимо от места работы, инженер по автоматизации технологических процессов должен свободно читать проекты и уметь их разрабатывать и осуществлять. Поэтому важно на этапе получения образования овладеть методикой проектирования систем автоматизации. Уровень овладения технологией инженерного проектирования определяет успешность становления инженера как специалиста, способного воспринимать, разрабатывать и внедрять технические новшества, поскольку проектирование предваряет и обосновывает внедрение в производство технической системы, установки, процесса, оптимальных с точки зрения определенных критериев.

Поэтому *целью курсового проекта* по дисциплине «Проектирование систем автоматизации» является овладение методикой проектирования систем автоматизации и адаптации пакетов САПР; приобретение навыков самостоятельного решения комплекса задач автоматизации проектирования систем автоматического управления, регулирования и контроля.

Для достижения цели в курсовом проекте должны быть решены следующие задачи:

- проанализированы возможные технологические схемы и их преимущества для реализации технологических требований;
- выполнен выбор приемлемой технологической линии или установки, сформулированы технические требования к системе автоматического управления (САУ) линией или установкой;
- разработан алгоритм управления;
- при наличии контуров регулирования проведено моделирование работы системы автоматического регулирования (САР);
- разработан вариант визуализации контроля и управления установкой или линией;
- предложен целесообразный вариант реализации системы питания САУ;
- разработана полная принципиальная схема управления, щит автоматики и монтажная документация;
- рассчитана надежность САУ, предложены меры по обеспечению высокой надежности работы системы;
- автоматизирована отдельная операция разработки документации проекта автоматизации с помощью средств программирования (например, операция формирования контура проводки на схеме соединений внешних проводов, компоновки аппаратуры на фасаде щита автоматики и т. д.).

В ходе дипломного проектирования задачи, стоящие перед студентами специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство), несколько шире. В соответствии с правилами проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (№ 53 от 29 мая 2012 г.) курсовой проект является формой текущей аттестации студентов, дипломный проект – формой итоговой аттестации. Дипломный проект – квалификационная работа обучающегося, по уровню выполнения и результатам защиты которой ГЭК делает заключение о возможности присвоения обучающемуся, осваивающему содержание образовательной программы высшего образования I степени, соответствующей квалификации. Дипломное проектирование имеет целью расширение, систематизацию и закрепление теоретических знаний, овладение навыками самостоятельного решения инженерных задач в конкретной профессиональной области. Поэтому содержание

дипломного проектирования студентов специальности 1-53 01 01-09 охватывает следующие вопросы:

- анализ целесообразного объема автоматизации технологического процесса или установки на базе материалов обследования 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 или обоснование контуров регулирования определением качества регулирования путем моделирования (либо совмещение двух этих направлений 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;

- разработка мер по вопросам организации охраны труда персонала, обслуживающего средства автоматизации;

- экономическое обоснование эффективности предлагаемой автоматизированной системы.

Таким образом, в пособии будет рассмотрена часть вопросов дипломного проектирования специальности 1-53 01 01-09 в рамках реализации методики проектирования системы автоматизации (на примере конкретного технологического процесса или установки).

В дипломном проектировании специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства тоже может быть поставлена задача разработки принципиальной электрической схемы

автоматического управления рабочей машиной, поточной линией и т. д. [2, с. 26]. В этом случае также рекомендуется использовать методику, изложенную в данном пособии.

1.2 Требования к теме курсового проекта

В качестве темы курсового проекта принимается автоматизация комплексного объекта автоматизации, для которого должны быть предусмотрены контуры управления, регулирования и контроля. Например, проектирование САУ процессом сушки зерновых, линией приготовления и раздачи корма, доильным роботом-манипулятором и т. д.

В задании приводятся технологические требования, требования к системе управления, описание возможных технологических линий или установок. Примерные варианты заданий приведены в приложении А. Студент может предложить тему самостоятельно на основании изучения литературы [3–6] или другой, содержащей подробное описание технологического процесса, либо на основании результатов пройденной производственной практики. При этом руководитель может согласиться с предложенной темой, или скорректировать ее, или 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 необходимо изучить научно-техническую литературу, патенты, технологические и другие требования. На их основе определяются возможности той или иной технологической линии (процесса) с конкретным оборудованием, анализируются режимы работы, составляется подробное описание алгоритма функционирования технологического процесса, выявляются пути его автоматизации, возможный объем автоматизации, т. е. подробно формулируются требования к САУ. На основании подробного описания и требований к системе руководитель и студент совместно составляют задание на проектирование, бланк которого приведен в приложении Б.

1.3 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 автоматического управления линией или установкой, 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 САУ, разработана полная принципиальная схема управления, щит автоматики и монтажная документация, рассчитана надежность САУ и предложены меры по обеспечению высокой надежности работы системы. Также предлагается автоматизировать отдельную операцию разработки документации проекта автоматизации средствами языков программирования для графического редактора, например операцию формирования контура проводки на схеме соединений внешних проводов, компоновки аппаратуры на фасаде щита автоматики и т. д.

На листах графического материала в соответствии с требованиями к САУ должны быть представлены: схема автоматизации, принципиальная схема питающей и распределительной сети, принципиальная электрическая схема управления, контроля и сигнализации, общий вид щита автоматики, монтажная документация, алгоритм, диалоги и программы автоматизации отдельной операции проектирования.

Примерное содержание пояснительной записки курсового проекта:

Введение.

1. Анализ технологических требований. Возможные варианты реализации технологического процесса (установки).

2. Анализ вариантов управления, определение объема автоматизации, вида автоматического устройства управления (АУУ) и структуры САУ.

3. Требования к САУ (формулирование технического задания).

4. Разработка алгоритма и структуры управления.

5. Разработка САУ. Анализ качества регулирования.

6. Разработка средств визуализации управления.

7. Разработка программы управления.

8. Разработка схем питающей и распределительной сети.

9. Разработка полной принципиальной электрической схемы управления, регулирования, контроля и сигнализации.

10. Расчет надежности САУ. Средства обеспечения надежности.

11. Разработка средств автоматизации проектирования.

Заключение.

Примерный перечень графического материала:

1. Схема автоматизации технологического процесса.

2. Полная принципиальная электрическая схема управления, регулирования, контроля и сигнализации.

3. Монтажная документация (таблицы соединений, таблицы подключений, схема соединений внешних проводов).

4. Общий вид щита автоматики.

5. Принципиальная схема питающей и распределительной сети.

6. Алгоритм, диалоги и программа автоматизации проектирования.

Оформление пояснительной записки и графического материала должно отвечать требованиям [2].

1.4 Краткое содержание разделов пояснительной записки курсового проекта

Введение. Должно быть отражено значение автоматизации для конкретного технологического процесса (ТП), актуальность разработки САУ технологическим процессом или установкой. Также приводится цель и задачи, решаемые в ходе курсового проектирования.

Анализ технологических требований. Возможные варианты реализации технологического процесса (установки). В рамках задачи, определенной заданием на проектирование, приводят технологические требования, на основании литературного анализа (рассмотреть 3–5 литературных источников) раскрывают возможные варианты реализации технологических процессов (линий, установок), выявляют их достоинства и недостатки, делают вывод

о наиболее целесообразном для решения поставленной задачи 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.

Анализ вариантов управления, определение объема автоматизации, вида АУУ и структуры САУ. Рассматривают различные варианты управления технологическим процессом или установкой. Определяют приемлемый объем автоматизации, т. е. состав необходимых датчиков, первичных преобразователей, устройств управления, исполнительных устройств и т. п. Обоснованный объем автоматизации раскрывают на схеме автоматизации. Определяют также вид АУУ (автомат, регулятор или управляющая машина), от которого зависит выбор методики проектирования системы автоматизации. Завершают раздел представлением структурной схемы САУ, где условно показывают связь устройства управления с командными и другими аппаратами и исполнительными механизмами.

Требования к САУ (формулирование технического задания). Формулируют требования к системе управления, где должны быть раскрыты функции САУ, описан алгоритм функционирования и алгоритм управления, определены параметры, подлежащие управлению, регулированию, контролю, сигнализации, отражены требования к качеству управления и надежности САУ, предложения по размещению щитов и т. п.

Разработка алгоритма и структуры управления. Разрабатывают структуру управления, реализуемую САУ. На основании словесного описания алгоритма, приведенного в предыдущих разделах, 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.

Разработка САР. Анализ качества регулирования. 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. Решают вопрос отслеживания управляемых, регулируемых и контролируемых параметров, выбирают средства визуализации (панель оператора, экран компьютера или аппаратура сигнализации). Затем определяют необходимый состав окон для панели оператора, либо экраны отображения параметров, выводимые на монитор, либо вариант компоновки сигнальной аппаратуры и разрабатывают необходимые графические средства, а также средства обеспечения связи между техническими и программными средствами.

Разработка программы управления. 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.

Разработка схем 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.

Разработка полной принципиальной электрической схемы управления, регулирования, контроля и сигнализации. Выбирают датчики, исполнительные механизмы (ИМ), аппаратуру защиты, устройства управления. Далее структуру управления переводят в принципиальную электрическую схему, учитывая особенности

выбранных ТСА и возможности реализации контуров регулирования, дополняя защитными аппаратами, цепями ручного управления, сигнализации, контроля. Приводится также подробное описание работы принципиальной схемы.

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

Разработка средств автоматизации проектирования. На основании задания анализируют, какими средствами можно обеспечить автоматизацию той или иной операции при разработке проектного документа, составляют блок-схему алгоритма и реализуют ее программными средствами пакета AutoCAD. На листах графической части демонстрируют результат работы программы.

Заключение. Раскрывают суть технического решения и показывают, в чем будет выражаться эффективность автоматизации технологического процесса.

2 Разработка проекта автоматизации технологического процесса

2.1 Постановка задач проектирования системы автоматического управления технологическим процессом

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

Рассмотрим методику формулирования требований к САУ ТП на конкретном примере. В задании определена тема – проектирование САУ процессом сушки зерновых с разработкой программы автоматического формирования позиций на чертеже общего вида щита автоматики. Таким образом, цель проекта – обоснование оптимального варианта автоматического управления процессом сушки зерновых с учетом требований функциональности, безопасности и экономичности, а также разработка программы автоматического формирования позиций на чертеже общего вида щита автоматики. Для этого следует решить следующие задачи:

- проанализировать технологические требования к процессу сушки зерновых, возможные технологические схемы, их преимущества для реализации технологических требований, возможные варианты автоматического управления заданной в варианте или выбранной для рассмотрения зерносушилкой;
- на основании анализа определить приемлемый объем автоматизации зерносушилки;
- сформулировать технические требования к системе автоматического управления процессом сушки зерновых;

- разработать экономически наиболее целесообразный вариант автоматического управления, регулирования и контроля с учетом новейших разработок в области ТСА и устройств управления, реализовать этот вариант управления в виде схем;

- провести моделирование работы САУ (по одному из контуров регулирования) и определить параметры качества регулирования;

- предложить целесообразный вариант реализации системы питания САУ;

- рассчитать надежность САУ и в случае необходимости предложить меры по обеспечению высокой надежности работы системы;

- программными средствами графического редактора обеспечить автоматическую простановку позиций на чертеже общего вида щита автоматики.

2.1.1 Анализ технологических требований. Возможные варианты реализации процесса сушки зерновых (пример)

Зерновые и семенные смеси (ворох) в процессе послеуборочной обработки на пунктах, агрегатах и комплексах должны быть доведены до требуемой кондиции. Это регламентируется государственными стандартами на продовольственное и фуражное зерно, а также на семенной материал [7, 8]. В основном кондиционная влажность зерновых, предназначенных для длительного хранения, – 14 %. Выдержки из стандартов по рекомендуемой влажности зерновых различного назначения приведены в справочном пособии [9, с. 549]. Однако качество зерна определяется и многими другими показателями, на которые влияют режимы сушки. Под режимом сушки понимают определенное сочетание таких параметров, как температура, влагосодержание и скорость движения агента сушки (теплого воздуха) и предельно допустимая температура нагрева зерна.

Для получения продовольственного и семенного зерна высокого качества необходимо выбирать параметры процесса сушки с учетом ряда факторов: как биофизических свойств зерна (вида и типа зерновой культуры, его начальной влажности и температуры), так и технологических показателей процесса сушки (начальной

и конечной температуры и влажности теплоносителя, загрузки и экспозиции сушки зерна в сушилке и др.). Для обеспечения качественного процесса сушки семенного, продовольственного, фуражного зерна температура его нагрева не должна превышать значений, указанных в таблице 1 [5, с. 128]. Проведенная лабораторией сушки работа по определению семенных качеств зерна при тепловой сушке показала, что при правильной сушке и правильном выборе высоких температур не только не снижается качество семенного зерна, но и наоборот, увеличивается его энергия прорастания, всхожесть и урожай [3, с. 344]. При неправильном выборе высоких температур сушильного агента тормозится биологическая активность зерна (уменьшается энергия прорастания), а при больших нагревах происходит частичная или полная потеря всхожести.

Таблица 1 – Температуры сушки продовольственного и семенного зерна

Культура	Первоначальная влажность, %	Предельная температура нагрева зерна, °С	
		продовольственного	семенного
Пшеница	До 18.	55	40
	От 18 до 22.	52	40
	Свыше 22	50	40
Рожь, ячмень	Независимо от влажности	55	40
Овес	То же	50	40
Просо	»	40	40
Рис	»	35	35
Кукуруза	До 18.	50	40
	Свыше 22	50	40
Горох, вика	До 18	50	40

Некоторые режимы сушки зерновых культур, апробированные в производственных условиях, приведены в таблице 2 (по данным учебного пособия [3, с. 345]).

В настоящее время сушат зерновые на зерносушильных комплексах, в состав которых входят наиболее распространенные шахтные либо колонковые сушилки (также существует множество других видов сушилок, используемых отдельно либо в фермерских хозяйствах) [9, с. 158]. Первые должны иметь дополнительно

к шахтам охладительные колонки. У вторых зона нагрева, сушки и охлаждения совмещены в шахте сушилки, что делает сушилку более компактной. Поэтому остановимся на колонковых сушилках. Среди них можно выделить сушилку СЗК-8, конструкция которой проста в исполнении и монтаже. Сушилка работает на чистом нагретом воздухе, что может послужить основой для разработки контура рекуперации теплоносителя и может дать некоторый экономический эффект, заключающийся в сокращении расхода тепла на нагрев теплоносителя.

Таблица 2 – Высшие пределы температуры агента сушки и нагрева продовольственного и кормового назначения в шахтных зерносушилках

Культура	Начальная влажность зерна, %	Пределная температура зерна, °С	Пределная температура агента сушки в зерносушилках, °С							
			работающих в одноступенчатом режиме		ДСП 32-ОТх2 при последовательной сушке					
			I зона	II зона	Первая сушилка			Вторая сушилка		
					I зона	II зона	охлади- тельная шахта	I зона	II зона	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пшеница: с нормальной клейковиной от 40 до 80 ед. ИДК	До 17	50	120	110	120	–	–	–	–	–
	От 17 до 20	50	100	100	120	–	–	–	–	–
	От 20 до 25	50	100	90	100	90	100	Атм. возд.	110	120
со слабой клейкови- ной более 80 ед. ИДК	До 17	55	–	–	–	130	150	150	150	Атм. возд.
	От 17 до 20	55	–	–	–	130	150	150	150	Атм. возд.
	От 20 до 25	55	–	–	–	130	150	150	150	Атм. возд.
	Свыше 25	55	90	80	90	–	–	–	–	–

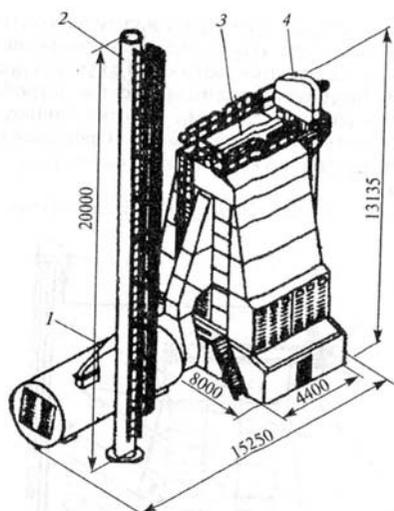
Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
твердых, сильных и ценных сортов	До 20	50	–	100	110	90	100	Атм. возд.	100	110
	Свыше 20	50	–	–	–	90	100	Атм. возд.	100	110
Рожь, ячмень продо- вольст- венный	Незави- симо от перво- началь- ной влаж- ности	60	160	130	160	–	–	–	–	–
Овес	То же	50	140	130	160	–	–	–	–	–
Просо	»	40	80	80	100	–	–	–	–	–
Гречиха	»	40	90	90	110	–	–	–	–	–

Сушилка состоит из двух параллельно расположенных на станине шахт с напорно-распределительной камерой между ними и общим надсушильным бункером, выпускного устройства с общим для обеих шахт подсушильным бункером, устройства для очистки отработавших агента сушки и воздуха (рисунок 1) [10, с. 185]. Каждая шахта состоит по высоте из сушильной, промежуточной и охладительной зон.

Сушилка работает следующим образом. Предварительно очищенное от примесей зерно норией подается в надсушильный бункер, откуда поступает в сушильную шахту, а затем в охладительные зоны. После охлаждения зерно попадает в подсушильный бункер, откуда транспортируется на склад. Если зерно недостаточно просушено, оно возвращается на повторную сушку.

Некоторые характеристики колонковой зерносушилки, работающей на жидком и газообразном топливе, приведены в таблице 3. Характеристики электроприводов зерносушилки приведены в таблице 4.



1 – теплогенератор; 2 – труба; 3 – надсушильный бункер; 4 – нория

Рисунок 1 – Зерносушилка СЗК-8Ж-1 открытого типа на жидком топливе

Таблица 3 – Характеристики колонковой зерносушилки

Наименование показателя	Значение показателя	
	СЗК-8Ж-1	СЗК-8Г-1
1	2	3
Тип	Стационарная, колонковая, открытого исполнения	
Производительность, пл. т/ч	8	
Номинальная тепловая мощность, кВт	700	
Допустимые отклонения номинальной тепловой мощности	От минус 5 до плюс 10	
Минимальная тепловая мощность	0,5 от номинальной	
Число топочных агрегатов, шт.	1	1
Вид топлива	Печное бытовое ТУ 38.101.656-87	Природный газ ГОСТ 5542-87
Расход топлива номинальный: - природный газ ($Q_H^p = 8500$ ккал/м ³), м ³ /ч; - печное бытовое ($Q_H^p = 9800$ ккал/м ³), кг/ч	– 70	87 –

Окончание таблицы 3

1	2	3
Удельный расход топлива, кг/пл. т (м ³ /пл. т), не более	9 (11)	
Интервал регулирования температуры теплоносителя, °С	40...120	
Установленная мощность электродвигателей, кВт, не более	51	
Напряжение электрической сети, фазное/линейное, В	220/380	
Допустимые отклонения напряжения, %, не более	От минус 15 до плюс 10	
Удельный расход электроэнергии, кВт ч/пл. т, не более	6,4	
Производительность каждого из вытяжных вентиляторов, м ³ /ч, не более	29000	
Неравномерность сушки, %, не более	±2,0	
Неравномерность нагрева зерна, °С: - фуражного; - семенного	±7 ±5	
Дробление зерна, %, не более	0,25	
Расход тепла на 1 кг испаренной влаги, кДж/кг, не более	43/50	
Габаритные размеры, мм, не более: - высота (по коньку нории); - длина (включая нории)	15765 6260	

Таблица 4 – Характеристики электроприводов зерносушилки

Наименование оборудования	Обозначение	Тип электродвигателя	Мощность, кВт
1	2	3	4
Электродвигатель вентилятора сушилки	<i>M1</i>	АИР160М8У3	15
Электродвигатель вентилятора рекуперации сушилки	<i>M2</i>	АИР134S4У3	7,5
Электродвигатель нории сырого зерна, нории загрузки, нории сухого зерна, нории выгрузки зерна	<i>M3...M5, M12</i>	АИР100L6У3	2,2
Электродвигатель выгрузного шнека	<i>M6</i>	АИР112М4У3	5,5

Окончание таблицы 4

1	2	3	4
Электродвигатель выпускных устройств	<i>M7</i>	АИР100S4У3	3
Электродвигатели вентиляторов топки теплогенератора и насосов	<i>M8...M11</i>	АИР100L8У3	1,5

Таким образом, технологическими требованиями к процессу сушки являются: обеспечение влажности зерновых на выходе из сушилки – 14 %, обеспечение требуемого режима сушки, определяемого допустимой температурой нагрева зерновых (зависит от типа и вида культуры) и времени их пребывания в зоне сушки. Наиболее просты в эксплуатации колонковые сушилки, среди которых можно выделить сушилку СЗК-8. Для нее можно обеспечить рекуперацию теплоносителя, что несколько снизит энергозатраты.

2.1.2 Анализ вариантов управления, определение объема автоматизации, вида АУУ и структуры САУ (пример)

В используемых в настоящее время зерносушилках применяются разнообразные технологические способы повышения эффективности удаления влаги из зерна [11]. Основными способами являются:

- смешивание зерна различной влажности и температуры;
- кратковременный предварительный нагрев сырого либо смеси сырого и рециркулирующего просушенного зерна;
- отлежка многокомпонентной по влажности и температуре смеси зерна либо однородного зерна;
- применение различных способов подвода агента сушки к зерну;
- утилизация тепловой энергии при охлаждении просушенного зерна.

Каждый из перечисленных способов имеет различное влияние на совершенствование технологии сушки зерна и снижение энергозатрат.

Смешивание зерна различной влажности. Сущность процесса заключается в возврате (рециркуляции) в сушилку части просушенного зерна и смешивании его с подаваемым на сушку сырым

зерном с целью снижения влажности и повышения температуры сырого зерна за счет тепло- и массообменных процессов, происходящих между сырым и просушенным зерном. Данный процесс осуществим на современных зерносушилках, работающих в циркуляционном режиме (при запуске сушилки, когда просушивается первая пусковая партия зерна), либо при сушке зерна с высокой влажностью, например зерна кукурузы, когда для удаления излишней влаги недостаточно одного пропуска через зерносушилку. В отдельных случаях он может дать существенный эффект, но при этом всегда снижается производительность сушки.

Предварительный нагрев сырого зерна. Практически у всех современных зерносушилок сушильная шахта разделена на зоны предварительного нагрева, сушки и охлаждения. Основная цель предварительного нагрева – повышение температуры зерна до предельно допустимой (при данной влажности) и одновременное испарение до 30–40 % от общего количества влаги, испаряемой из зерна в процессе сушки. При этом интенсифицируется диффузия влаги из внутренних слоев зерновок к их поверхности, в результате снижаются затраты теплоты на испарение влаги при последующей сушке, что позволяет сэкономить топливо.

Предварительный нагрев зерна может осуществляться в неподвижном слое в специальных установках с собственным источником нагрева теплоносителя. Подобная технологическая схема сушки реализована в зерноочистительно-сушильном комплексе ЗСК-30 ОАО «Амкодор» и ЗСК-20-01.

Отлежка зерна. Отлежка многокомпонентной по влажности и температуре смеси зерна основывается на частичном перераспределении влаги между сырыми и сухими компонентами смеси при одновременном выравнивании их температуры. Эффективность межзерновых тепло- и массообменных процессов зависит от длительности отлежки. Многочисленными исследованиями различных авторов установлено, что при смешивании зерна с различной температурой выравнивание ее между отдельными компонентами смеси происходит за незначительный промежуток времени (до 10–15 мин).

В практике зерносушения применяется прием отлежки однородного по влажности и температуре зерна. Это характерно, например, для сушки высоковлажного зерна в условиях последовательного пропуска

его через параллельно расположенные шахты одной и той же зерносушилки либо через шахты двух параллельно установленных зерносушилок.

В зарубежной практике этот прием находит широкое применение в условиях раздельной сушки зерна, когда основная масса влаги удаляется из зерна в зерносушилке, а досушивание (после отлежки) осуществляется на установках активного вентилирования атмосферным воздухом либо искусственно охлажденным и обезвоженным воздухом.

В первом случае продолжительность отлежки однородного зерна ограничивается вместимостью надсушильных бункеров и зависит от изначальных параметров зерна, выбранных режимов сушки и скорости выпуска зерна из зерносушилки. Во втором случае продолжительность отлежки определяется вместимостью установок активного вентилирования и может достигать 6–8 ч.

В процессе отлежки влага из внутренних слоев отдельных подсушенных зерновок диффундирует к их поверхности, обезвоженной перед этим приемом в зерносушилках, т. е. зерно как бы отпотекает. В результате последующее обезвоживание такого зерна проходит более интенсивно, что способствует значительному снижению затрат тепловой энергии на сушку.

Рекуперация (повторное использование) теплоты отработавшего агента сушки. В настоящее время в отечественном и зарубежном зерносушении имеется определенный опыт использования теплоты отработавшего агента сушки, потери которой, по данным целого ряда исследователей, могут достигать 30–40 % всех непроизводительных затрат теплоты в зерносушилках.

До последнего времени в Республике Беларусь отсутствовали данные о пределах возможного использования теплоты отработавшего агента сушки с различным влагосодержанием. Все рекомендации сводились к тому, что повторно можно использовать лишь агент с низким влагосодержанием, выходящий из нижних зон сушилки и из зоны охлаждения зерна.

В зарубежной практике, в частности во Франции и США, имеется большое разнообразие технических решений этой проблемы. Во Франции фирмой Law разработана рекуперативная зерносушилка с использованием теплоты отработавшего агента сушки,

который перед выбросом в атмосферу проходит через теплообменник, где отдает часть своей теплоты жидкости (гликолевой воде). Подогретая вода направляется в другой теплообменник, находящийся на пути прохождения наружного воздуха, поступающего в сушилку, который таким образом частично подогревается, что снижает затраты топлива на сушку. Для большинства французских сушилок характерно повторное использование слабо насыщенного парами отработавшего агента, выходящего из нижней части зон сушки с температурой 50–60 °С, путем возврата в верхнюю часть сушилки или в топку (на смешивание с агентом сушки). В зависимости от способа использования вторичного тепла и конструкции сушилки можно достигнуть экономии от 10 до 30 % тепла на каждый килограмм выпариваемой влаги.

Правильная техническая эксплуатация зерносушилок. Эксплуатация зерносушилок в соответствии с инструкциями и технологическими регламентами не всегда является достаточной гарантией качественной сушки при минимальных энергозатратах. Многое зависит от квалификации обслуживающего персонала, осведомленности его о слабых местах эксплуатируемых зерносушилок, о степени влияния тех или иных факторов на качество зерна, о расходе топлива и электроэнергии на сушку.

Таким образом, экономию топлива в процессе сушки зерна обеспечивают следующие приемы:

1. Автоматизация процесса сушки – организация контроля влажности и регулирование заданного значения влажности просушенного зерна. Это позволяет оптимально расходовать агент сушки и воздух, предотвращает пересушивание.

2. Совершенствование конструкции зерносушилки:

- сведение к минимуму неравномерности нагрева и сушки зерна (равномерное распределение агента сушки по сечению шахты и по длине коробов);
- непрерывный выпуск просушенного зерна;
- рекуперация тепла насыщенного влагой отработавшего агента сушки, подаваемого на повторное использование, при помощи специальных систем для обезвоживания;
- сушка в условиях разрежения (методом протяжки агента сушки через слой зерна вытяжными вентиляторами);

- ведение процесса охлаждения зерна на выносных охладительных установках в условиях, позволяющих максимально использовать внутреннюю тепловую энергию зерна для испарения влаги.

На примере шахтных зерносушилок можно сказать, что у них полностью автоматизированы розжиг топки и поддержание заданной температуры теплоносителя, по датчикам уровня обеспечивается работа норий и выгрузных устройств, контролируется температура нагрева зерновых в точке наибольшего нагрева и их влажность на входе и выходе [3, с. 347]. Однако следует заметить, что наблюдается значительная разность температур в зоне нагрева зерна [12, с. 245]. Кроме того, как показано выше, температурный режим сушки зависит от вида и типа зерновой культуры. Также следует учитывать, что влагосъем за один проход через сушилку следует ограничивать, поэтому зерновые могут проходить через сушилку повторно, чтобы достичь требуемой влажности. При определении объема автоматизации сушилки также следует учитывать возможность экономии тепла, например за счет рекуперации теплоносителя.

Определение необходимого объема датчиков, вторичных приборов, исполнительных устройств осуществляется на основе детального анализа работы технологического оборудования, выявления алгоритма управления оборудованием. При этом решаются следующие вопросы:

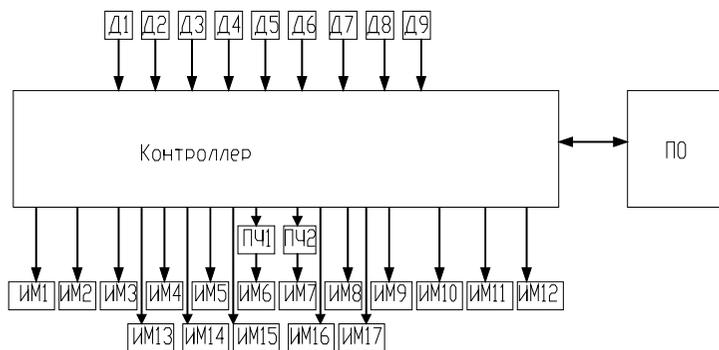
- выявление режимов работы оборудования и допустимых переходов между ними;
- установление технологических параметров, подлежащих автоматическому управлению, регулированию, контролю, сигнализации, уточнение пределов их измерения с целью последующего отбора ТСА, реализующих данные функции;
- определение необходимых средств автоматической защиты и блокировок;
- выбор ТСА, наиболее полно отвечающих предъявленным требованиям и условиям работы автоматизируемого объекта;
- размещение приборов и аппаратуры на щитах или по месту, определение способов представления информации о ходе технологического процесса.

Определим ТСА для выбранной зерносушилки. Исходя из технологических требований, в процессе сушки зерновых нужно обеспечить

необходимую влажность на выходе из сушилки (соответственно, требуется ее контролировать, поэтому следует предусмотреть датчик влажности зерна, отбираемого, например, для контроля в подсушильном бункере), но также важно не допустить перегрева зерна, что требует контроля его температуры в камерах сушки и нагрева. Кроме того, для стабилизации температуры теплоносителя, подаваемого в камеры сушки и нагрева, тоже следует предусмотреть датчики температуры. Т. к. в целях экономии тепла предполагается использовать отработанный агент сушки повторно, но только если его влажность не слишком велика, то необходим датчик влажности отработанного теплоносителя. Для последнего требуется дополнительно установить воздушный клапан (с электрифицированным приводом), который будет изменять направление агента сушки: выброс наружу либо повторное использование. В остальном состав приводов остается таким, как предусмотрено конструкцией сушилки. Но, чтобы не перегреть зерно, по сигналам датчиков температуры следует устанавливать скорость выгрузки, поэтому для двигателей выпускных устройств и выгрузного шнека должно быть предусмотрено регулирование частоты вращения с помощью преобразователей частоты.

В качестве устройства управления можно предложить контроллер, к которому подключается панель оператора (ПО). Использование контроллера позволит обеспечить требуемый режим сушки в зависимости от типа и вида зерна, т. к. будет варьироваться температура нагрева зерна и температура теплоносителя. ПО позволит оперативно отслеживать ход процесса, кроме того, с ее помощью можно предусмотреть задание оператором типа и вида зерновой культуры, в соответствии с которыми должны быть обеспечены оптимальные режимы сушки. Контроллер, получая сигналы от датчиков, по заданной программе управляет исполнительными механизмами через выходные сигналы.

Данный состав ТСА отражен на рисунке 2. Предварительно можно определить, что для реализации автоматического управления необходим контроллер с 7 аналоговыми входами для подключения датчиков температуры и влажности и двумя дискретными входами для датчиков уровня, а также двумя аналоговыми выходами для связи с преобразователями частоты и 17 дискретными выходами для управления исполнительными механизмами.

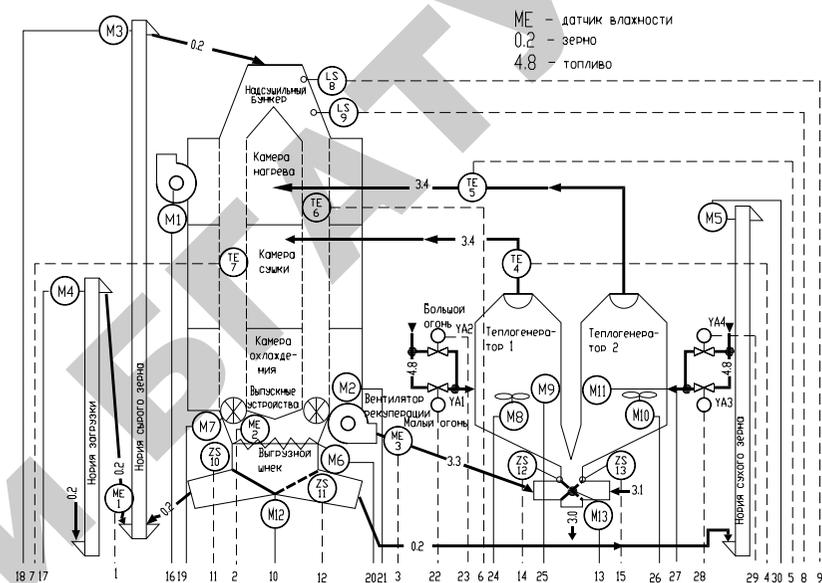


- Д1 – датчик влажности зерна на входе; Д2 – датчик влажности зерна на выходе;
 Д3 – датчик влажности теплоносителя; Д4 – датчик температуры зерна в камере нагрева;
 Д5 – датчик температуры зерна в камере сушки; Д6 – датчик температуры теплоносителя
 в камере нагрева; Д7 – датчик температуры теплоносителя в камере сушки;
 Д8 – датчик верхнего уровня зерна; Д9 – датчик нижнего уровня зерна; ПО – панель
 оператора; ПЧ1 и ПЧ2 – преобразователи частоты; ИМ1 – двигатель норки загрузки;
 ИМ2 – двигатель норки сырого зерна; ИМ3 – двигатель вентилятора сушилки;
 ИМ4 – двигатель вентилятора рекуперации; ИМ5 – двигатель норки сухого зерна;
 ИМ6 – двигатель выпускных устройств; ИМ7 – двигатель выгрузного шнека;
 ИМ8 и ИМ9 – двигатели топочных вентиляторов; ИМ10 и ИМ11 – двигатели топочных
 насосов; ИМ12 – исполнительный механизм заслонки; ИМ13 – исполнительный механизм
 клапана; ИМ14 и ИМ15 – клапаны «малый огонь»;
 ИМ16 и ИМ17 – клапаны «большой огонь»

Рисунок 2 – Структура САУ колонковой сушилкой

Анализируя данный ТП, определяем вид АУУ, которое будет управлять объектом. Т. к. 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 поддержание температуры нагрева зерна и выходной влажности, поэтому устройство управления также будет выполнять функцию регулятора.

Итак, покажем объем автоматизации технологического процесса на схеме автоматизации (рисунок 3). На этапе ее разработки будем пользоваться понятием типа датчика без учета его типоразмера и технических характеристик. Требования к оформлению схемы автоматизации изложены в приложении Д.



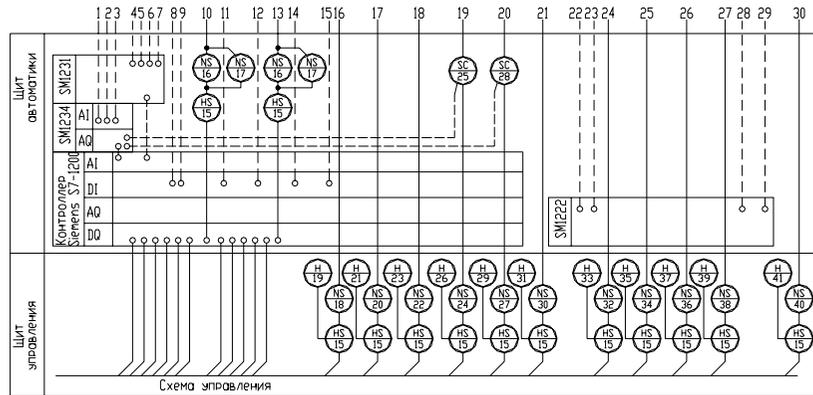


Рисунок 3 – Схема автоматизации сушилки СЗК-8

Зерно после первичной очистки поступает в норию сырого зерна (с электродвигателем *M3*). При больших объемах поступающего зерна используется дополнительная нория загрузки (*M4*) с завальной ямой. Из норрии зерно поступает в приемный бункер сушилки и распределяется по двум колонкам. Для контроля верхнего и нижнего уровня в бункере сушилки используем датчики уровня *LS*. В нижней зоне колонок выгрузное устройство (*M7*) подает зерно в нижний бункер, откуда шнеком (*M6*) выгружает его в зависимости от влажности (*ME2*) через перекидной клапан (*M12*) на выгрузку через норию сухого зерна (при влажности менее 14 %) либо на повторную сушку (при влажности более 14 %).

В начальный период сушки зерно пропускают на повторную сушку через перекидной клапан (*M12*). При стабилизации режима сушки до кондиционной влажности клапан устанавливается на выгрузку зерна из сушилки.

В камеру нагрева поступает теплоноситель от теплогенератора 2. Пройдя через слой зерна, теплоноситель отдает тепло, насыщается влагой и выбрасывается наружу вентилятором (*M1*).

В камере сушки зерно имеет меньшую влажность, чем в зоне нагрева, и подвергается большей температуре теплоносителя, который, пронизывая зерно, насыщается влагой в меньшей степени.

Вентилятор рекуперации (*M2*) подает воздушные потоки из камер сушки и охлаждения к распределителю (*M13*), который в зависимости от влажности отработанного теплоносителя (*ME3*) устанавливает распределитель на выброс теплоносителя или на его повторное использование.

В теплогенераторах воздух подогревается в теплообменнике. Сгорание топлива происходит в камере сгорания. Продукты сгорания не смешиваются с теплоносителем и выбрасываются наружу. Для контроля температуры теплоносителя используют термометры сопротивления *TE4* и *TE5*.

Контроллер должен изменять пропускную способность сушилки в зависимости от исходной и конечной влажности зерна. Температура и подача теплоносителя регулируется автоматически отдельно для каждой камеры в зависимости от температуры нагрева зерна (*TE6* и *TE7*). При влажности сырого зерна менее 22 %, измеряемой влагомером *ME1*, механизм *M13* переключает потоки теплоносителя на рекуперацию. При отклонении от нормы температуры (*TE6*

и $TE7$) или влажности зерна на выходе ($ME2$) контроллер выдает команду выпускным устройствам ($M6$ и $M7$) увеличить или уменьшить скорость перемещения зерна по колонкам (преобразователь частоты SC) и/или изменить режим работы соответствующего теплогенератора (перейти с «большого» (клапаны $YA2$ и $YA4$) на «малый огонь» (клапаны $YA1$ и $YA3$) и наоборот).

Требования к САУ ТП

Таким образом, САУ процессом сушки должна обеспечивать:

- поточную работу оборудования сушилки при условии успешного запуска топки;
- поддержание режимов сушки в зависимости от исходной и конечной влажности зерна, его вида и типа;
- повторное использование теплоносителя при условии, что его влажность меньше допустимой для использования;
- контроль технологических параметров.

Требования к САУ процессом сушки зерновых должны быть подробно сформулированы в виде технического задания на проектирование. Пример задания приведен в приложении Г.

2.2 Разработка системы автоматического управления (на примере зерносушилки)

2.2.1 Структура и состав систем автоматического управления технологическими процессами

2.2.1.1 Система автоматического управления (САУ)

Система автоматического управления (САУ) – это совокупность объекта управления (ОУ) и автоматического устройства управления (АУУ), взаимодействующих между собой [13].

Методика разработки САУ ТП определяется видом АУУ. В зависимости от структуры ОУ можно выделить три вида АУУ:

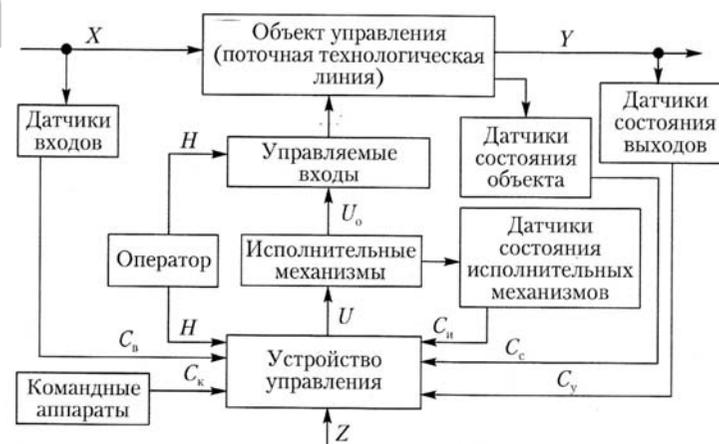
- автомат, или логическое автоматическое управляющее устройство (ЛУУ), где все входные, выходные величины и параметры состояний могут принимать только дискретные значения

и используются для управления поточными технологическими линиями, состоящими из отдельных операций и механизмов, и сложными машинами, состоящими 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, который обеспечивает обратную замкнутую цепь в технологическом агрегате (установке, аппарате) для стабилизации выходного параметра (параметров) установки;

- комбинированное автоматическое управляющее устройство, включающее оба устройства, указанные выше.

Упрощенная структурная схема САУ с первым видом АУУ представлена на рисунке 4.



X – входы объекта; Y – состояние объекта; U_o , U – управляющие воздействия; H – ручное воздействие; C_v , C_n , 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 4 – Упрощенная схема САУ

САУ помимо объекта управления состоит из устройства управления, совокупности датчиков, командных аппаратов, исполнительных

механизмов. Устройство управления, отслеживая состояние ОУ 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 устанавливая иной режим работы.

Структура ОУ может быть представлена в виде совокупности производственных звеньев, связанных между собой материальными потоками. Т. к. ОУ является распределенным, то развернутая структура управления таким объектом может быть представлена в виде рисунка 5. Как правило, звенья обработки чередуются со звеньями хранения, которые связаны звеньями транспортировки. Производственное звено (технологическая операция) – любое механическое или физико-химическое воздействие на продукт либо преобразование одних продуктов в другие.

Функционирование технологического ОУ состоит в изменении состояния звеньев обработки и транспортировки (переход с одной операции на другую) и изменении состояния звеньев хранения (количества продуктов, хранящихся в них) и обеспечивается исполнительными устройствами (ИУ).

ИУ – это устройство САУ или САР, воздействующее на процесс в соответствии с полученной информацией [14].

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

Функцию автоматического включения и отключения электроприводов ИМ выполняют магнитные пускатели. Они, также как контакторы и реле, преобразуют электрический сигнал в операцию – переключение контактов. Эти устройства имеют различное конструктивное решение, но в их основу положен один принцип действия [15, с. 9].

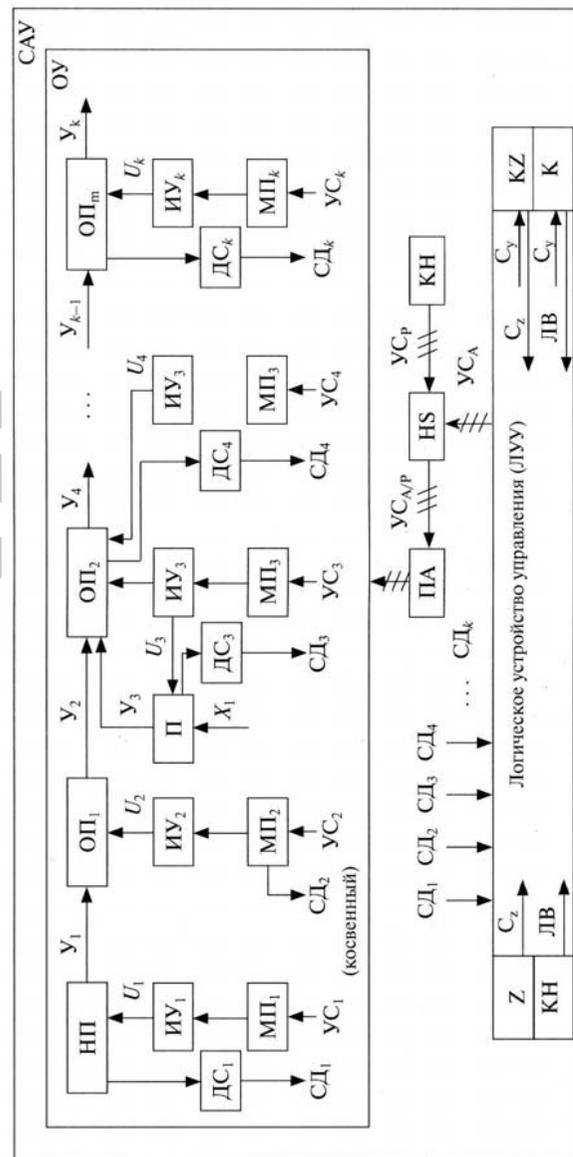


Рисунок 5 – Обобщенная схема САУ (распределенный ОУ)
 НП – накопитель-питатель; П – питатель; ОП – технологическая операция; ИУ – исполнительное устройство;
 ДС – датчик состояния; ПА – пусковые аппараты; HS – переключатель режима работы (автоматический-ручной);
 КН – командные аппараты ручного воздействия; Z – программное реле времени; KZ – реле времени; K – реле;
 МП – магнитный пускатель; X – входные воздействия; Y – выходные координаты; U – управляющие воздействия;
 ЛВ – логические воздействия датчиков и командных аппаратов; СД – сигналы с датчиков; УС – управляющий сигнал;
 УС_А – множество управляющих сигналов автоматического управления; УС_Р – множество сигналов ручного управления

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

В качестве датчиков состояния ОУ в САУ используются датчики типа «датчик-реле». Для 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 расхода, уровня, протока), расход, уровень (разность давления, положение поплавка, наполнение резервуара (емкости) сыпучими или жидкими материалами), скорость движения (по разности давления, по отклонению подвижного элемента и др.), размер, скорость, вращение, частота, качество (рН-потенциал, Rodox-потенциал и др.). Датчик-реле используется для нахождения 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-нет»), который функционирует в электрической цепи контроля или управления, где контактную коммутацию дискретного сигнала может осуществлять механический контакт, контакт реле или геркон (рисунок 6).

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

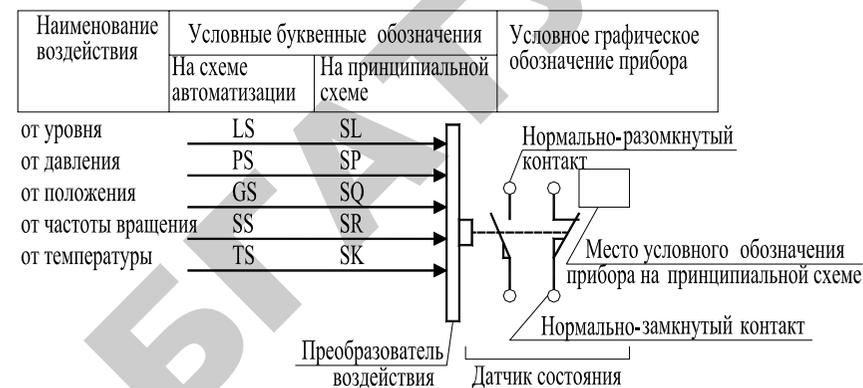


Рисунок 6 – Структура датчика состояния

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 7. Здесь повышение уровня воды в сосуде воздействует на поплавок и вызывает поворот коромысла, на другом конце которого закреплена перемычка. При достижении водой определенного уровня перемычка замыкает контакты. При снижении уровня воды в емкости контакты размыкаются. Установку порогового значения уровня воды в емкости можно обеспечить раствором коромысла.



Рисунок 7 – Схема датчика уровня жидкости в сосуде

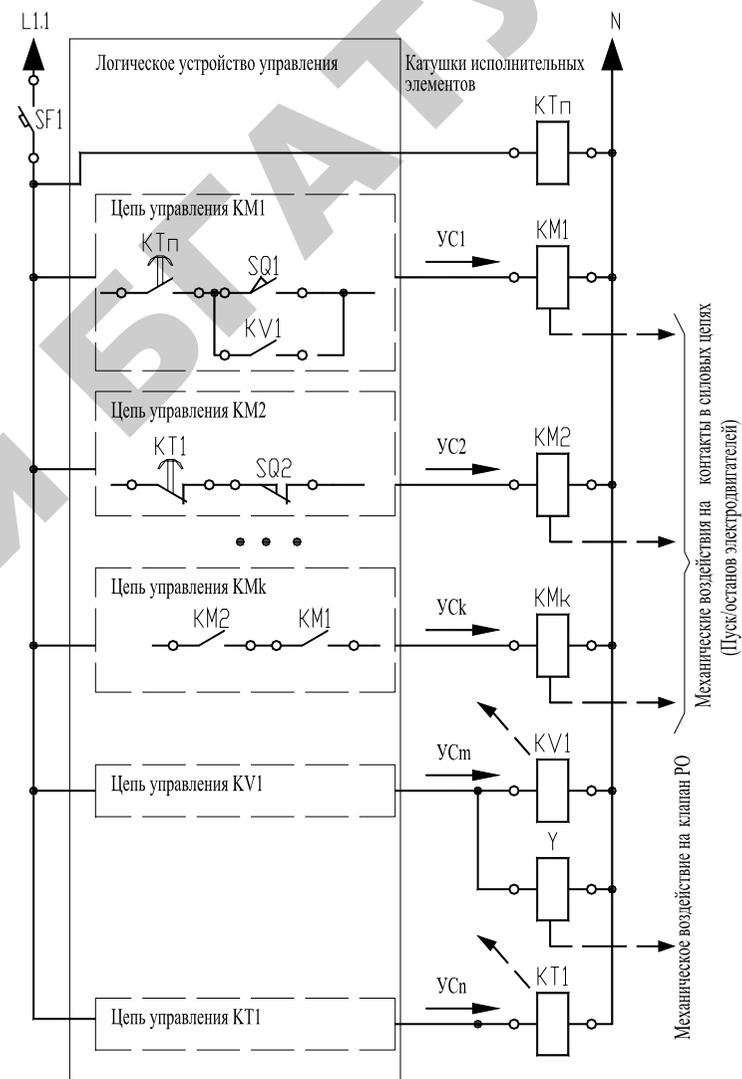
К командным аппаратам относятся: кнопки, переключатели, тумблеры, а также реле времени. При помощи первых в автоматические системы ручным воздействием оператора подаются дискретные сигналы, вторые обеспечивают циклическую работу оборудования в соответствии с временным алгоритмом. Принцип действия данных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

Устройство управления логического типа (рисунки 8, 9) реализует алгоритм функционирования ОУ, т. е. устанавливает последовательность включения-отключения ИУ объекта в зависимости от сигналов командных аппаратов и датчиков состояния.

При реализации ЛУУ на релейно-контактной (РКС) элементной базе (рисунок 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 ОУ. При разработке РКС и описании алгоритма управления ОУ используют Булеву алгебру, теорию автоматов, таблицы автоматов, граф состояний, логические таблицы. Один из методов разработки РКС изложен в учебном пособии [3, с. 48–85].

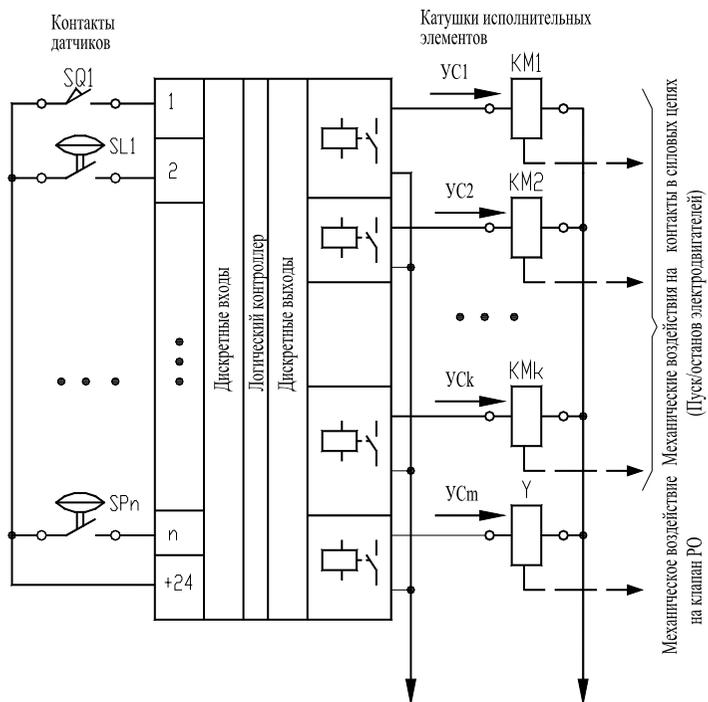
Большим недостатком реализации ЛУУ на релейных элементах является большая металлоемкость, т. к. ряд логических, временных и других функций приходится выполнять с помощью отдельных аппаратов. В связи с этим увеличивается объем монтажных работ и снижается надежность работы САУ ТП.

Заменой ЛУУ на релейных элементах стали микропроцессорные устройства управления, обладающие на порядок большей надежностью [16]. В 1996 г. 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 контроллера является то, что структура управления реализуется в программе, а датчики и исполнительные элементы соединяются по типовой схеме подключения (рисунок 9).



КТп – программное реле времени; КМ1...КМк – катушки магнитных пускателей; KV1 – промежуточное реле; Y – электромагнитный клапан; КТ1 – реле времени; УС1...УСn – управляющий сигнал

Рисунок 8 – Блок-схема ЛУУ, реализованного на релейно-контактной элементной базе



$KM1...KMk$ – катушки магнитных пускателей; Y – электромагнитный клапан;
 $УС1...УСm$ – управляющий сигнал

Рисунок 9 – Блок-схема ЛУУ, реализованного на контроллере

2.2.1.2 Система автоматического регулирования (САР)

Под системой автоматического регулирования понимают совокупность объекта управления (ОУ) и устройства автоматического регулирования – регулятора (Р) (рисунок 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.

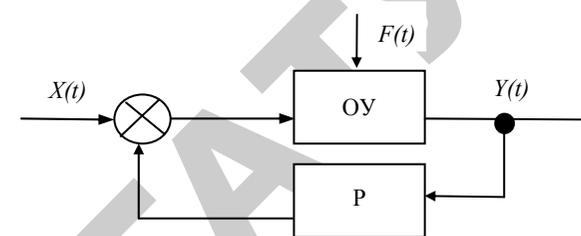


Рисунок 10 – Структурная схема САР

Функционирование технологических установок характеризуется наличием возмущающих и задающих воздействий.

Возмущающее воздействие, или помеха, (F) возникает в результате взаимодействия автоматической системы с внешней средой и вызывает незапланированные изменения выходной переменной. Такие воздействия приводят к нарушению равновесия материальных и энергетических потоков и возникновению неустановившегося 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 заданной величине и выдачи регулирующей величины для управления регулирующим устройством.

Структурные схемы регуляторов приведены на рисунке 11. Конструктивно контур регулирования составляют датчик, регулирующийся прибор и исполнительный орган.

Воспринимают изменения параметров ОУ *датчики* (рисунок 12). Датчик САР состоит из первичного измерительного преобразователя (ПП) и нормирующего преобразователя (НП).

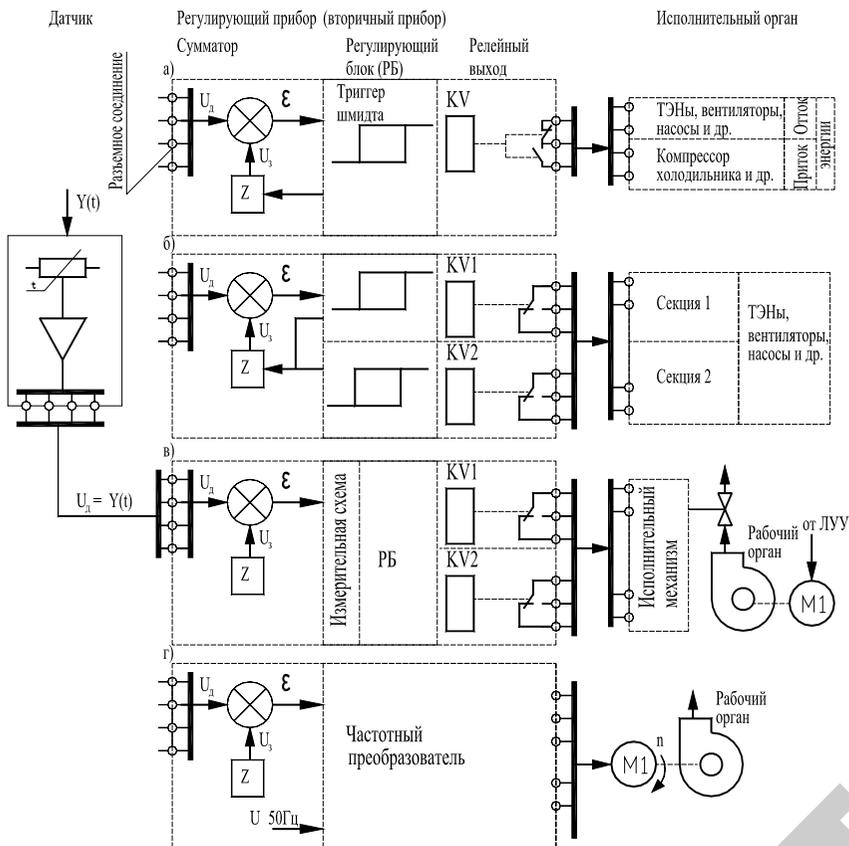


Рисунок 11 – Блок-схема устройств автоматического регулирования:
 а – двухпозиционный регулирующий прибор; б – трехпозиционный регулирующий прибор; в – прибор непрерывного регулирования; г – преобразователь частоты

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.

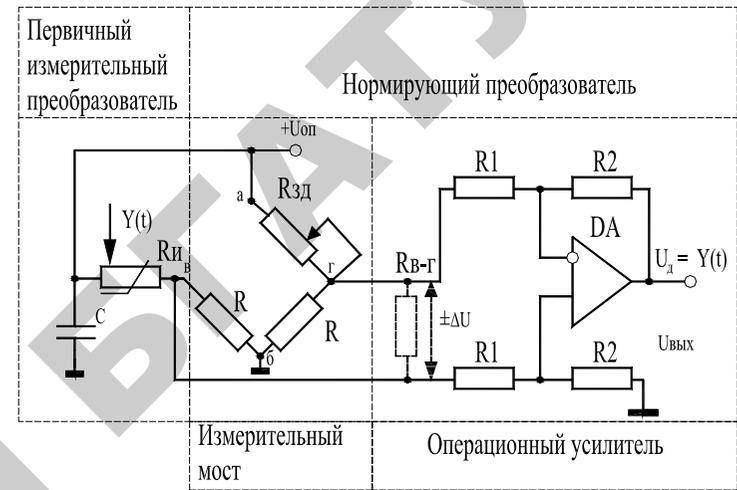


Рисунок 12 – Датчик регулятора с первичным измерительным преобразователем параметрического типа

НП, или нормализатор, преобразует сигнал от термоэлектрического преобразователя, сигнал постоянного тока, сигнал постоянного напряжения, сигнал взаимной индукции в **унифицированный токовый сигнал**, или сигнал напряжения. НП может быть объединен в одно изделие с блоком питания.

Для измерения внешнего воздействия $Y(t)$ используется ПП R_n (рисунок 12) потенциметрического 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 $R_n R = R_{зд} R$. При изменении $Y(t)$ изменяется значение параметра $R_n \pm \Delta R$ и нарушается равновесие измерительного моста. На диагонали в-г появляется напряжение $\pm \Delta U$, которое преобразуется в сигнал $U_d = Y(t)$.

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

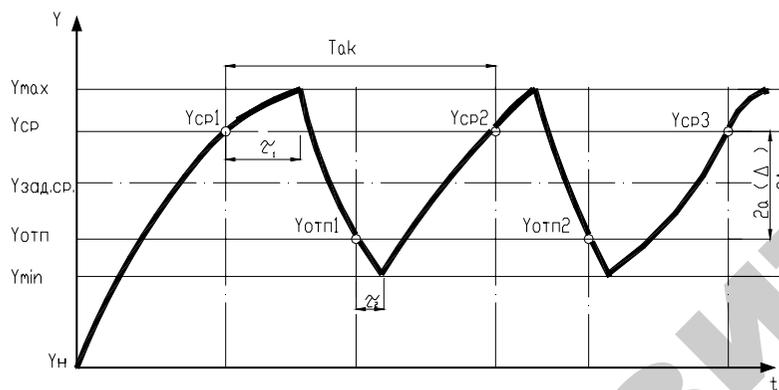
Конструктивно датчик может быть выполнен как единое изделие, в котором ПП совмещен с электронным модулем. Такое полевое средство автоматизации называется интеллектуальным

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 (позиционные или непрерывные)**.

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 13). В суммирующем устройстве вторичного прибора при включении регулятора 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.



Y_n , Y_{\min} и Y_{\max} — начальное, минимальное и максимальное значения регулируемого параметра; $Y_{\text{сп}}$ и $Y_{\text{отп}}$ — значения регулируемого параметра, при котором срабатывает и отпускается реле регулятора; $Y_{\text{зад. сп}}$ — 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

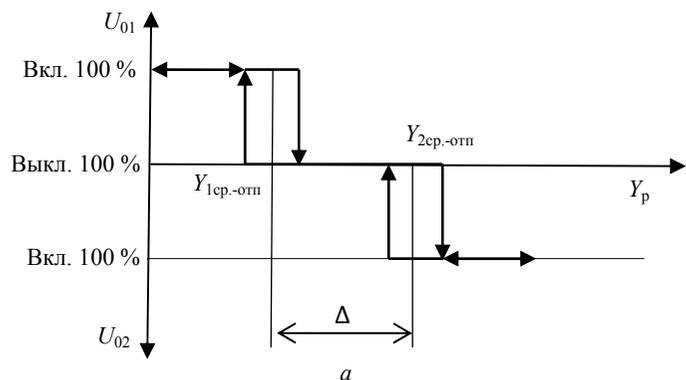
Рисунок 13 – Динамика двухпозиционного регулирования

У **двухпозиционного регулятора** регулирующей блок настраивается на два параметра: $Y_{\text{сп}}$ и $\Delta = Y_{\text{сп}} - Y_{\text{отп}}$. В точках $Y_{\text{сп}1}$, $Y_{\text{сп}2}$, $Y_{\text{сп}3} \dots$ происходит срабатывание реле регулятора, а в точках $Y_{\text{отп}1}$, $Y_{\text{отп}2} \dots$ — 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 11, б), в отличие от двухпозиционных (рисунок 11, а), имеют на выходе регулирующего блока два исполнительных элемента (реле), что позволяет разделить ИУ на две секции и путем коммутации улучшить качество регулирования. Моменты срабатывания реле показаны на рисунке 14, а. Состояние контактов трехпозиционного регулирующего прибора для трех диапазонов измеряемого параметра отражено на диаграмме (рисунок 14, б), где знак «+» обозначает замыкание контакта, а знак «-» — размыкание.

Регуляторы непрерывного действия (рисунок 11, в) используются при повышенных технологических требованиях к качеству регулирования, при этом допускаются небольшие отклонения параметра $Y(t)$ от его номинального значения Y_n , $Y_{\min} < Y_n = Y_{\text{зад. сп}} < Y_{\max}$. 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, регулирование не происходит (рисунок 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.

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 литературе [4, 18, 19].



Обозначение контактов регулирующего прибора	Регулирующий прибор отключен	Состояние измеряемого параметра		
		ниже	норма	выше
	+	-	+	+
	-	+	-	-
	+	+	+	-
	-	-	-	+

б

U_{01} и U_{02} – управляющее воздействие; Y_p – рабочая зона регулирующего прибора, в единицах параметра регулируемой величины

Рисунок 14 – Статическая характеристика трехпозиционного регулируемого прибора (а) и диаграмма срабатывания контактов его реле (б)

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

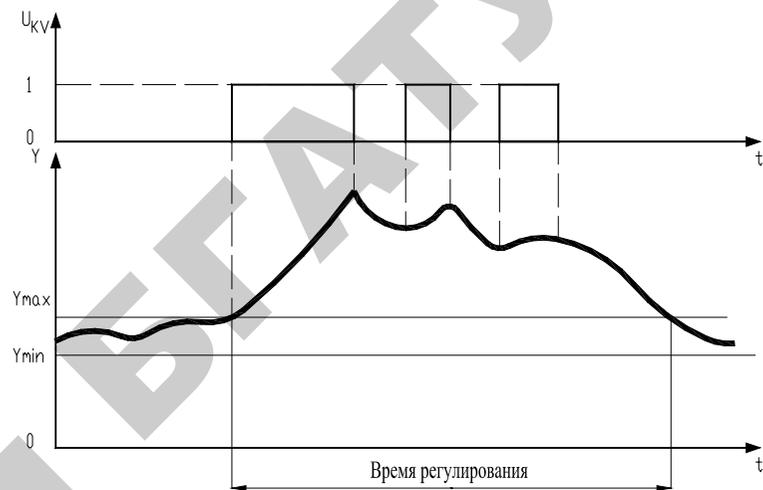


Рисунок 15 – Динамика непрерывного регулирования

Регуляторы непрерывного действия с частотно-регулируемым приводом (рисунок 11, з) обеспечивают регулирование производительности агрегата путем изменения частоты вращения асинхронного электродвигателя в функции ПИД-регулирования. Это 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 перевод этого алгоритма в структурные формулы управления или структурную схему управления, а на базе последних – разработку программы управления. В случае системы с регулятором принципы построения управления несколько иные,

базирующиеся на разработке контуров управления (см. рисунок 11), предполагающие выбор закона регулирования, построение математической модели контура регулирования, подбор параметров закона регулирования, анализ качества регулирования и в случае необходимости корректировку аппаратного состава контура регулирования или применение 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

В случае проектирования САУ процессом сушки зерновых, как было показано в подразделе 2.1, приходится иметь дело с устройством управления вида автомат и регулятор. Однако, прежде чем приступить к разработке САУ процессом сушки зерновых, необходимо определиться с типами ТСА, особенности которых придется учитывать при реализации алгоритма управления. Но на этапе разработки САУ могут возвращаться к выбору ТСА.

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 формирует управляющие сигналы, подаваемые на его выходы.

Контроллеры по их назначению подразделяются 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 [20]. 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 [21].

Микроконтроллеры – это малые контроллеры, которые в едином, легко программируемом блоке заменяют множество отдельных компонентов (реле времени, промежуточные реле, контакторы и т. д.). Функции таких контроллеров достаточно широки, но они могут обрабатывать ограниченное количество входных сигналов (до 18) и управлять ограниченным количеством исполнительных механизмов (до 13), подключаемых к выходам. Так, например, распространенные сегодня α -контроллеры (фирмы Mitsubishi) [16] могут не только выполнять функции логического управления, но и управлять в реальном времени, обрабатывать аналоговые сигналы, вести регулирование (встроенная функция ПИД-регулятора). Они позволяют пересылать данные 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 приведены в приложении Е.

Модульные контроллеры – это сочетание на едином базовом шасси модулей центральных процессоров, коммуникации, специальных

модулей, модулей ввода/вывода. Это позволяет конфигурировать индустриальную систему, обеспечивающую построение автоматизированных систем управления производством.

Выбирают контроллер по функциональным возможностям, количеству входов и выходов, роду входных и выходных сигналов (аналоговые и цифровые), напряжению питания, стоимости. Пример выбора рассмотрен в подпункте 2.2.2.5.

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 $1/3 \dots 2/3$ пределов измерений);
- инерционность прибора должна быть значительно ниже инерционности объекта.

Если передаточная функция объекта имеет вид:

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

а передаточная функция датчика

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

то должны быть выполнены условия:

$$\tau_{д} \leq (0,2 \dots 0,3) \cdot \tau_{об},$$

$$T_{д} \leq (0,2 \dots 0,3) \cdot T_{об},$$

где $k_{об}, k_{д}$ – коэффициент передачи объекта и датчика соответственно;
 $\tau_{об}, \tau_{д}$ – 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) после выбора всех элементов в САУ находят типоразмер датчика. Типоразмер датчика определяется также возможностью подключения ко входам контроллера либо регулятора.

При выборе датчиков следует руководствоваться данными каталогов. Кроме того, принцип действия многих типов датчиков изложен в специальной литературе [23, 24].

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 (выбираются в зависимости от значения момента, необходимого для вращения регулирующего органа). Характеристика некоторых электродвигательных ИМ приведена в приложении Е.

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

$$M_з = k(M_p + M_r), \quad (1)$$

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:

$$M_p = 0,07 \Delta P_{po} \cdot D_y^3,$$

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

$$M_t = 0,785 D_y^2 \cdot P_{и} \cdot r_{ш} \cdot \lambda,$$

где $P_{и}$ – избыточное давление перед регулирующим органом, Па;

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

λ – коэффициент трения в опорах.

Момент вращения на валу выбираемого ИМ должен быть не меньше момента, необходимого для вращения заслонки: $M_d \geq M_3$.

2.2.2.4 Выбор аппаратуры управления и защиты

Аппаратура управления и защиты должна обеспечивать:

а) включение и отключение электроприборов и участков сетей в нормальном режиме работы;

б) 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 1 практикума [27, с. 158].

Порядок выбора аппаратуры управления и защиты:

1. Определяют расчетные параметры цепи.

К расчетным параметрам цепи относят длительный и кратковременный ток линии [24, с. 150].

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 принимают его номинальный ток.

Для группы токоприемников длительный ток определяют как

$$I_{дл} = \frac{S_{расч}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (2)$$

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

U – напряжение линии, В.

$$S_{расч} = \sqrt{P_{расч}^2 + Q_{расч}^2},$$

$$P_{расч} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{пот i},$$

$$P_{пот} = \frac{P_H}{\eta_H} \cdot k_3^2,$$

$$Q_{расч} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_{расч i},$$

$$Q_{расч i} = \frac{P_H}{\eta_H} \cdot \left[m(1 - k_3^2) + k_3^2 \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H}}{\cos \varphi_H} \right], \quad (3)$$

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

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

$P_{пот}$ – потребляемая мощность электродвигателя, Вт;

P_H – мощность электродвигателя, Вт;

η_H – номинальный КПД;

k_3 – коэффициент загрузки электродвигателя;

$\cos \varphi_H$ – номинальный коэффициент мощности;

m – коэффициент, зависящий от значения предыдущего коэффициента, определяется по диаграмме (приложение 2 практикума [27, с. 168]).

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

Для группы электродвигателей кратковременный ток определяют как

$$I_{кр} = \sqrt{I_{наиб}^2 + (\sum I_n)^2}, \quad (4)$$

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

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

2. Выбирают защитные аппараты и аппаратуру управления по следующим условиям [25, с. 68]:

- автоматические выключатели (характеристика некоторых аппаратов приведена в приложении Е):

$$\begin{aligned} U_{ном.а} &\geq U_{ном.л}, \\ I_{ном.а} &\geq I_{дл}, \\ I_{ном.расц} &\geq I_{дл}, \\ I_{уст.эл-м.р} &\geq 1,25I_{кр}, \end{aligned} \quad (5)$$

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

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

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

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

- при выборе предохранителей принимают наибольшее значение тока плавкой вставки, рассчитанного по формулам

$$\begin{aligned} I_{вст} &\geq I_{дл}, \\ I_{вст} &\geq \frac{I_{кр}}{\alpha}, \end{aligned} \quad (6)$$

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

- тепловые реле применяют для защиты асинхронных электродвигателей от перегрузки:

$$\begin{aligned} U_{ном.а} &\geq U_{ном.л}, \\ I_{ном.а} &\geq I_{дл}; \end{aligned} \quad (7)$$

- электромагнитные пускатели выполняют функции аппаратов дистанционного управления, предназначены для включения и отключения токоприемников, защиты от работы на пониженном напряжении, блокировки и реверсирования электродвигателей:

$$\begin{aligned} U_{ном.а} &\geq U_{ном.л}, \\ I_{ном.а} &\geq I_{дл}. \end{aligned} \quad (8)$$

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

- промежуточные реле применяют для коммутации цепей управления и маломощных двигателей; выбирают по роду тока, напряжению катушки, значению коммутируемого тока, исполнению;

- кнопочные выключатели предназначены для коммутации электрических цепей управления и применяются в подвижных и неподвижных стационарных установках. Выбирают кнопочные выключатели по напряжению, значению коммутируемого тока, количеству контактов, наличию устройств сигнализации.

2.2.2.5 Пример выбора технических средств автоматизации

Выбор контроллера. Как было отмечено в подпункте 2.2.2.1, в качестве устройства управления в последнее время рационально

использовать контроллер, который выбирают, в первую очередь, по функциональным возможностям, количеству входов и выходов, роду входных и выходных сигналов (аналоговые и цифровые), напряжению питания и, конечно, стоимости.

Контроллер реализует функции управления, регулирования и контроля. В рассматриваемом случае (пример САУ сушилкой) для контроллера используется 20 цифровых выходов, два аналоговых выхода, 7 цифровых входов и 7 аналоговых входов. Реализовать данную конфигурацию, используя наиболее простой в программировании контроллер 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 [22]. 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 1214 DC/DC/DC с напряжением питания 24 В, 10 дискретными выходами, 15 входами (13 цифровыми и 2 аналоговыми). Поскольку аналоговых входов недостаточно, а также не хватает выходов, то необходимо подобрать сигнальные модули: SM 1231 – для подключения датчиков температуры (4 канала) [22, с. 3/75], SM 1222 – для расширения дискретных выходов [22, с. 3/65], SM 1234 – для подключения датчиков влажности (3 канала) и связи с преобразователями частоты [22, с. 3/89].

Схема подключения выбранного процессорного модуля S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC приведена в приложении Е (рисунок Е.11, в), а специальных модулей расширения – на рисунке 16.

На рисунке 17 показаны цепи подключения контроллера на фрагменте принципиальной схемы при его использовании в качестве устройства управления процессом сушки зерновых. Т. к. принято напряжение питания контроллера постоянного тока величиной 24 В, то предусмотрен блок питания *GVI*, который преобразует величину напряжения 220 В со схемы управления. Мощность блока питания должна быть достаточной с учетом питания процессорного и сигнальных модулей.

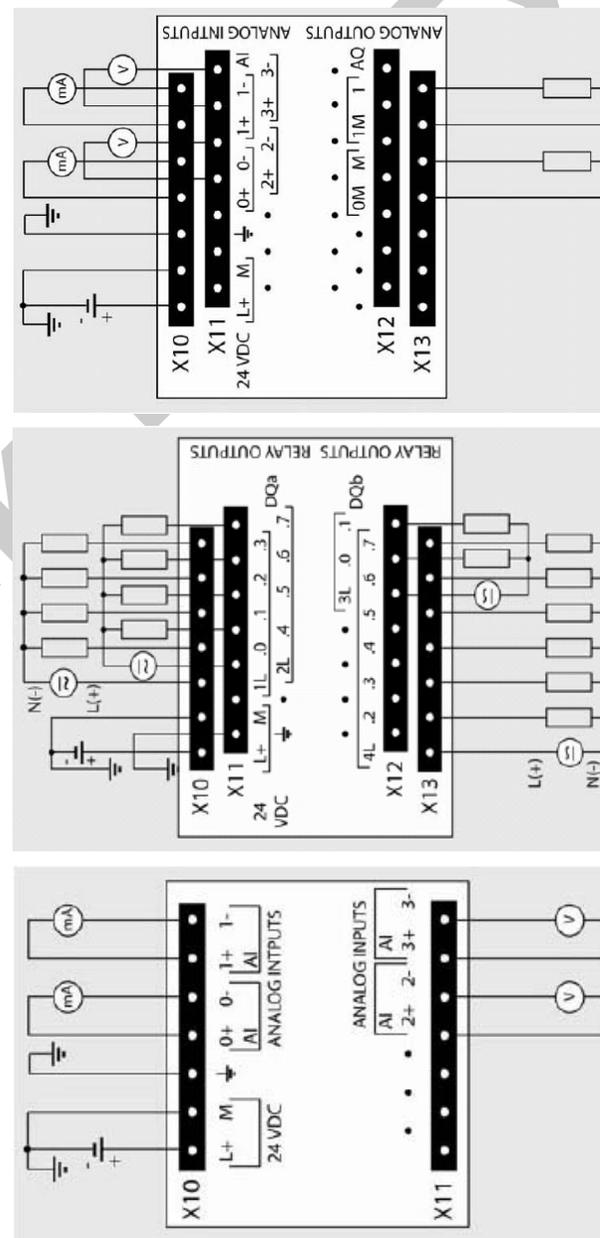


Рисунок 16 – Схемы внешних подключений к сигнальным модулям: а – SM 1231 (4 аналоговых входа); б – SM 1222 6ES7 222 – 1BH32-0XB0 (16 дискретных выходов типа реле); в – SM1234 (4 аналоговых входа и 2 аналоговых выхода)

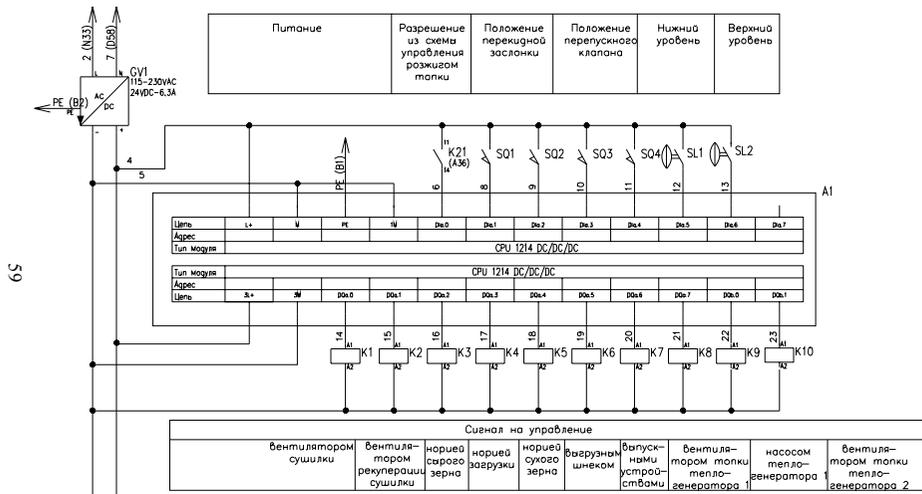


Рисунок 17 – Схема подключения процессорного модуля CPU 1214 DC/DC/DC

На входы $D1a.0...D1a.6$ контроллера $A1$ подключены датчики $SQ1...SQ4$, $SL1$, $SL2$ и приходит сигнал разрешения на управление сушилкой от топочного блока через контакт реле $K21$. Датчики подают сигналы о состоянии параметров процесса. В соответствии с программой управления контроллер подает сигналы на выходы $DQa.0...DQa.7$, $DQb.0$, $DQb.1$. При этом данные сигналы через контакты промежуточных реле $K1...K10$ будут переданы к магнитным пускателям, управляющим приводами сушилки. Подключение сигнальных модулей показано на рисунках 18–20.

Выбор датчиков. Как было отмечено в подпункте 2.2.2.2, датчики выбирают в первую очередь по роду контролируемого параметра и условиям работы. В качестве датчика уровня можно использовать мембранные датчики уровня (СУМ-1, СУМ-1-01, СУ-1Ф). Номенклатура таких датчиков, выпускаемых современной промышленностью, достаточна для выбора типа. Далее датчики выбирают по точности и динамическим свойствам. Остановимся на датчике уровня СУМ-1 [26]. Он достаточно чувствителен и срабатывает при усилии, приложенном к мембране, которое составляет всего 0,5 Н (что эквивалентно силе, которую оказывает тело весом 50 г), а также достаточно надежен (вероятность безотказной работы за 2000 ч наработки не менее 0,94).

Для контроля температуры выбираем датчик с унифицированным сигналом ТСМУ-205-0...+100 °С, $L = 160$ мм (см. приложение Е). Температурный диапазон и характеристики датчика отвечают заданным требованиям.

Датчик влажности необходим с унифицированным сигналом. Выбираем влагомер поточный ПВЗ-20Д [9, с. 535]. Диапазон измерений – 0...100 %, имеется аналоговый выход 0...10 В, питание 24 В. Датчик обладает малой инерционностью (60 с) и высокой точностью (погрешность измерения $\pm 0,5$ %).

Выбор аппаратуры управления и защиты производим по аналогии с примером [27, с. 26–29].

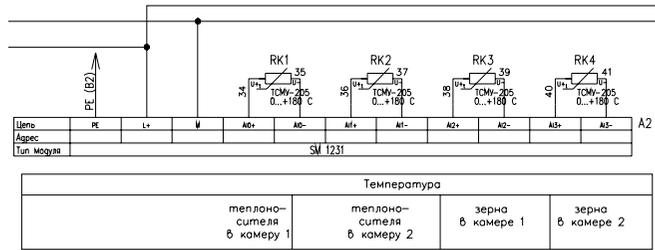


Рисунок 18 – Схема подключения датчиков температуры к сигнальному модулю SM 1231

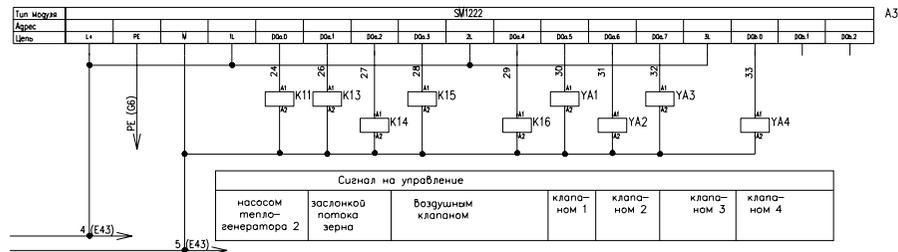


Рисунок 19 – Схема подключения сигнального модуля SM 1222

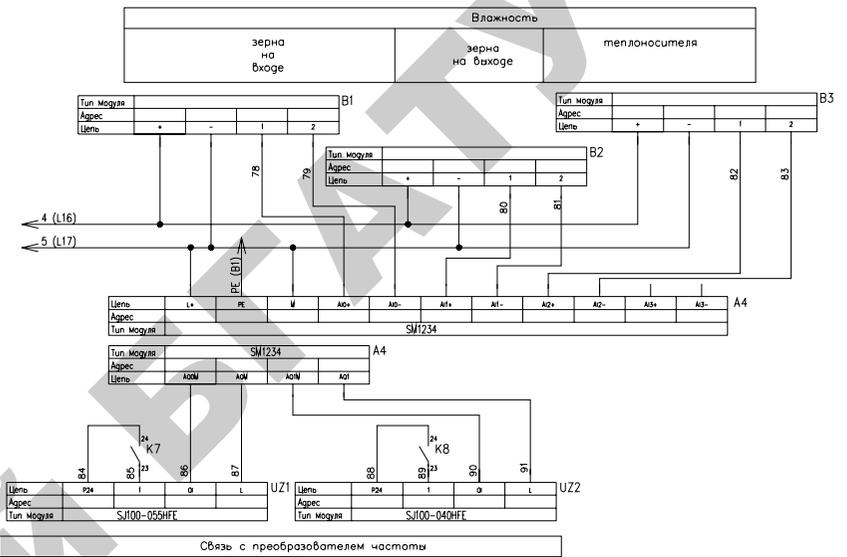


Рисунок 20 – Схема подключения сигнального модуля SM 1234

2.2.3 Разработка алгоритма и структуры управления

Методика синтеза САУ ПТЛ изложена в учебном пособии [4, с. 36–51]. Первым шагом синтеза САУ ПТЛ является **словесное описание алгоритма управления** технологическим процессом, 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. Процесс сушки зерна осуществляется в потоке, поэтому построение системы управления в этом случае отвечает заданным правилам. Последовательность пуска оборудования линии сушки обязательно должна идти против хода зерна. Объем автоматизации процесса сушки зерновых определен в предыдущем разделе и показан на схеме автоматизации (рисунок 3), обозначениями приборов и технических средств на которой и будем пользоваться при описании алгоритма управления.

При наличии зерна и при условии розжига топки контакт промежуточного реле подает сигнал готовности сушилки к работе. При этом запускают топочные вентиляторы, вентилятор сушилки и рекуперации, а клапаны подачи топлива работают в режиме «большой огонь» до разогрева сушилки. При стабилизации режима сушки до кондиционной влажности (показания датчика $ME2$) механизмом $M12$ заслонка устанавливается на выгрузку зерна из сушилки. При отклонении от нормы температуры или влажности зерна на выходе (датчики $TE7$ и $ME2$) выдается команда выпускным устройствам $M6$ и $M7$ увеличить или уменьшить скорость перемещения зерна по колонкам (преобразователь частоты SC) и/или изменить режим работы соответствующего теплогенератора (перейти с «большого» (клапаны $YA2$ и $YA4$) на «малый огонь» (клапаны $YA1$ и $YA3$) и наоборот). На работу выпускных устройств, кроме того, влияют показания датчиков уровня $LS8$, $LS9$. Эти же датчики управляют работой норий загрузки. Нория сухого зерна работает при условии работы выгрузного шнека и установки

заслонки на выгрузку. Вентилятор рекуперации ($M2$) подает воздушные потоки из камер сушки и охлаждения к распределителю ($M13$), который в зависимости от влажности отработанного теплоносителя (датчик $ME3$) устанавливает распределитель на выброс теплоносителя или на его повторное использование. При завершении процесса сушки следует выгрузить из шахт зерно и остановить оборудование сушилки (обратно ходу зерна) и теплогенератора.

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

Обозначим символами командные и исполнительные элементы САУ кормораздатчика в соответствии с рисунком 3 для составления символической записи алгоритма примера (таблица 5). В приведенном примере каждый из реверсивных электродвигателей $M12$ и $M13$ рассматривается как два исполнительных органа (X_{12}, \bar{X}_{12}) и (X_{13}, \bar{X}_{13}) соответственно.

Таблица 5 – Буквенное обозначение командных приборов и исполнительных устройств

Обозначение элемента	Наименование командного прибора и исполнительного устройства	Обозначение на схеме автоматизации (рисунок 3)	Обозначение на принципиальной схеме (рисунки 17–20, 46–48)
1	2	3	4
b_1	Концевой выключатель, фиксирующий положение заслонки на выгрузку		В составе ИМ $M12$
b_2	Концевой выключатель, фиксирующий положение заслонки на повторную сушку		В составе ИМ $M12$
b_3	Концевой выключатель, фиксирующий положение клапана на выброс теплоносителя		В составе ИМ $M13$

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
b_4	Концевой выключатель, фиксирующий положение клапана на повторное использование теплоносителя	В составе ИМ $M13$	
b_5	Датчик нижнего уровня зерна	$LS9$	$SL1$
b_6	Датчик верхнего уровня зерна	$LS8$	$SL2$
b_7	Датчик температуры теплоносителя в камере нагрева	$TE5$	$RK1$
b_8	Датчик температуры теплоносителя в камере сушки	$TE4$	$RK2$
b_9	Датчик температуры зерна в камере нагрева	$TE6$	$RK3$
b_{10}	Датчик температуры зерна в камере сушки	$TE7$	$RK4$
b_{11}	Датчик влажности зерна на входе	$ME1$	$B1$
b_{12}	Датчик влажности зерна на выходе	$ME2$	$B2$
b_{13}	Датчик влажности теплоносителя	$ME3$	$B3$
y_1	Сигнал разрешения	–	$K21$
X_1	Управление двигателем вентилятора сушилки	$NS18$	$KM1$
X_2	Управление двигателем вентилятора рекуперации	$NS30$	$KM2$
X_3	Управление приводом нории сырого зерна	$NS22$	$KM3$
X_4	Управление приводом нории загрузки	$NS20$	$KM4$
X_5	Управление приводом нории сухого зерна	$NS40$	$KM5$
X_6	Управление приводом выгрузного шнека	$NS27$	$KM6$
X_7	Управление приводом выпускных устройств	$NS24$	$KM7$
X_8, X_{10}	Управление приводом топочных вентиляторов	$NS32, NS36$	$KM8, KM10$
X_9, X_{11}	Управление приводом насосов топки	$NS34, NS38$	$KM9, KM11$
$\overline{X_{12}}, \overline{X_{12}}$	Управление исполнительным механизмом заслонки (влево и вправо)	$NS16, NS17$	$K13, K14$

Окончание таблицы 5

1	2	3	4
$\overline{X_{13}}, \overline{X_{13}}$	Управление исполнительным механизмом клапана (влево и вправо)	$NS14, NS42$	$K15, K16$
X_{14}, X_{16}	Управление клапанами «большой огонь»	$YA2, YA4$	$YA2, YA4$
X_{15}, X_{17}	Управление клапанами «малый огонь»	$YA1, YA3$	$YA1, YA3$
Z_1 и z'_1	Катушка и контакт программного реле времени на разогрев сушилки	В программе контроллера	
Z_2 и z'_2	Катушка и контакт программного реле времени выдержки на выгрузку зерна и останов сушилки	В программе контроллера	

Если какой-либо прибор не выпускается промышленностью, следует пересмотреть 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 (таблица 6). Действия над элементами в записи алгоритма приняты в соответствии с правилами [4, с. 33]. Одновременно проверим символическую запись алгоритма на реализуемость и на правильность составления [4, с. 43].

После проверки можно сделать выводы:

- алгоритм составлен верно, т. к. конечное весовое состояние равно нулю;

- в тактах алгоритма есть повторения значений весового состояния, но окончательный вывод о необходимости промежуточных реле будет сделан на этапе составления частных таблиц включения.

Структурные схемы САУ ПТЛ относятся к классу двоичных систем. Все их входные, выходные величины и параметры состояний могут принимать только дискретные значения.

Математическое описание алгоритма схемы, обеспечивающей управление соответствующим ОУ, позволяет перейти к графическому отображению принципиальной схемы и ее дальнейшей реализации.

Таблица 6 – Проверка алгоритма на реализуемость

Такт	1	2	3	4	5	6
Вес	1	$\begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 8 \end{bmatrix}$	16	$\begin{bmatrix} 32 \\ 64 \\ 128 \\ 256 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 512 \\ 1024 \\ 2048 \\ 4092 \end{bmatrix}$	8184
Алгоритм	$\uparrow y_1$	$\begin{bmatrix} \uparrow X_8 \\ \uparrow Z_1 \\ \uparrow X_{10} \end{bmatrix}$	$\uparrow z'_1$	$\begin{bmatrix} \uparrow X_1 \\ \uparrow X_9 \\ \uparrow X_{11} \\ \uparrow X_3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \uparrow X_4 \\ \uparrow X_2 \\ \uparrow X_{15} \\ \uparrow X_{17} \end{bmatrix}$	$\uparrow b_{13}$
Весовое состояние	1	15	31	511	8187	16371

Продолжение таблицы 6

Такт	7	8	9	10	11	12	13
Вес	16368	32736	65472	16368	130944	261888	523776
Алгоритм	$\uparrow \overline{X_{13}}$	$\uparrow b_3$	$\uparrow b_4$	$\downarrow \overline{X_{13}}$	$\uparrow b_5$	$\uparrow X_6$	$\uparrow X_7$
Весовое состояние	32739	65475	130947	114579	245523	507411	1031187

Продолжение таблицы 6

Такт	14	15	16	17	18	19
Вес	1047552	$\begin{bmatrix} 256 \\ 512 \end{bmatrix}$	1047552	130944	$\begin{bmatrix} 261888 \\ 523776 \\ 256 \\ 512 \end{bmatrix}$	130944
Алгоритм	$\uparrow b_6$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_3 \\ \downarrow X_4 \end{bmatrix}$	$\downarrow b_6$	$\downarrow b_5$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_6 \\ \downarrow X_7 \\ \uparrow X_3 \\ \uparrow X_4 \end{bmatrix}$	$\uparrow b_5$
Весовое состояние	2078739	2077971	1030419	899475	114579	245523

Продолжение таблицы 6

Такт	20	21	22	23	24	25
Вес	8184	2095104	65472	32736	2095104	4190208
Алгоритм	$\downarrow b_{13}$	$\uparrow \overline{X_{13}}$	$\downarrow b_4$	$\downarrow b_3$	$\uparrow \overline{X_{13}}$	$\uparrow b_7$
Весовое состояние	237339	2332443	2266971	2234235	139131	4329339

Продолжение таблицы 6

Такт	26	27	28	29	30
Вес	$\begin{bmatrix} 2048 \\ 8380416 \end{bmatrix}$	4190208	$\begin{bmatrix} 8380416 \\ 2048 \end{bmatrix}$	16760832	$\begin{bmatrix} 4092 \\ 33521664 \end{bmatrix}$
Алгоритм	$\begin{bmatrix} \downarrow X_{15} \\ \uparrow X_{14} \end{bmatrix}$	$\downarrow b_7$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_{14} \\ \uparrow X_{15} \end{bmatrix}$	$\uparrow b_8$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_{17} \\ \uparrow X_{16} \end{bmatrix}$
Весовое состояние	12707707	8517499	139131	16899963	50417535

Продолжение таблицы 6

Такт	31	32	33	34	35
Вес	16760832	$\begin{bmatrix} 33521664 \\ 4092 \end{bmatrix}$	67043328	$\begin{bmatrix} 4 \\ 134085556 \\ 268173312 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 16 \\ 536346624 \end{bmatrix}$
Алгоритм	$\downarrow b_8$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_{16} \\ \uparrow X_{17} \end{bmatrix}$	$\uparrow b_{12}$	$\begin{bmatrix} \downarrow Z_1 \\ \uparrow \overline{X_{12}} \\ \uparrow X_5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \downarrow z'_1 \\ \uparrow b_2 \end{bmatrix}$
Весовое состояние	33656703	139131	67182459	469442423	1005789031

Продолжение таблицы 6

Такт	36	37	38	39
Вес	1072693248	134086656	67043328	$\begin{bmatrix} 268173312 \\ 2145386496 \end{bmatrix}$
Алгоритм	$\uparrow b_1$	$\downarrow \overline{X_{12}}$	$\downarrow b_{12}$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_5 \\ \uparrow \overline{X_{12}} \end{bmatrix}$
Весовое состояние	2078482279	1944395623	1877352295	3754565479

Продолжение таблицы 6

Такт	40	41	42	43	44
Вес	1072693248	536345524	2145386496	1	$\begin{bmatrix} 256 \\ 512 \\ 134086656 \\ 268173312 \\ 2048 \\ 4092 \\ 64 \\ 128 \end{bmatrix}$
Алгоритм	$\downarrow b_1$	$\downarrow b_2$	$\downarrow \overline{X_{12}}$	$\downarrow y_1$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_3 \\ \downarrow X_3 \\ \uparrow \overline{X_{12}} \\ \uparrow X_5 \\ \downarrow X_{17} \\ \downarrow X_{15} \\ \downarrow X_9 \\ \downarrow X_{11} \end{bmatrix}$
Весовое состояние	2681872231	2145525607	139111	139110	402391978

Продолжение таблицы 6

Такт	45	46	47	48	49
Вес	536346624	1072693248	134086656	130944	4290772992
Алгоритм	$\uparrow b_2$	$\uparrow b_1$	$\downarrow \overline{X_{12}}$	$\downarrow b_5$	$\uparrow Z_2$
Весовое состояние	938738602	2011431850	1877345194	1877214250	6167987242

Продолжение таблицы 6

Такт	50	51	52
Вес	8581545984	$\begin{bmatrix} 2 \\ 8 \\ 32 \\ 1024 \\ 261888 \\ 523776 \\ 2145386496 \end{bmatrix}$	1072693248
Алгоритм	$\uparrow z'_2$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_8 \\ \downarrow X_{10} \\ \downarrow X_1 \\ \downarrow X_2 \\ \downarrow X_6 \\ \downarrow X_7 \\ \uparrow \overline{X_{12}} \end{bmatrix}$	$\downarrow b_1$
Весовое состояние	14749533226	16894132992	15821439744

Окончание таблицы 6

Такт	53	54	55
Вес	536346624	$\begin{bmatrix} 268173312 \\ 2145386495 \\ 4290772992 \end{bmatrix}$	8581545984
Алгоритм	$\downarrow b_2$	$\begin{bmatrix} \downarrow X_5 \\ \downarrow \overline{X_{12}} \\ \downarrow Z_2 \end{bmatrix}$	$\downarrow z'_2$
Весовое состояние	15285093120	8581545984	0

Структурные схемы САУ ПТЛ разрабатываются, как правило, для основного (автоматического) режима работы, затем дополняются элементами и связями, способными реализовать дополнительные режимы работы (ручной, наладочный).

Разработка структурных схем САУ ПТЛ начинается с составления **частных таблиц включения** 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:

- данный элемент и все те командные и промежуточные элементы, от которых этот элемент срабатывает и отключается;
- некоторые другие вспомогательные элементы, необходимые для реализации данной частной таблицы включения.

В горизонтальные строки таблицы вписаны все электрические элементы (Э). Вертикальные столбцы – это такты (Т).

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 либо нажатие на кнопку управления или концевой выключатель), а знаком «-» – его выключение или отпускание.

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

Рассмотрим пример построения частных таблиц включения и получения первоначальных структурных формул для **примера символической записи** процесса сушки. В частную таблицу включения, например, элемента X_8 – электродвигателя топочного вентилятора (таблица 7) – согласно символической записи алгоритма (таблица 6) войдут элементы: y_1 – элемент пуска сушилки в работу; z'_2 – выдержка времени на выгрузку зерна для окончания процесса сушки.

При корректном заполнении таблицы включения вес в последнем такте должен равняться «0».

Таблица 7 – Таблица включения ИЭ X_8

Элемент	Вес	Такты					
		1	2	3	4	5	6
X_8	1		+			-	
y_1	2	+		-			
z'_2	4				+		-
Весовое состояние		2	3	1	5	4	0

Для того чтобы упростить анализ частной таблицы включения элемента, обозначим:

- такт, предшествующий такту включенного состояния ИЭ, – *тактом срабатывания* (такт 1);
- такт, предшествующий такту отключенного состояния ИЭ, – *тактом отпускания* (такт 4);
- такты включенного состояния ИЭ – *рабочими тактами* ИЭ (такты 1–3);
- остальные такты – *холостыми*.

Из структурной теории релейных устройств известна следующая общая формула для определения первоначальной структуры какого-либо элемента X [4, с. 46]:

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

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

Определим цепь включения ИЭ X_8 по таблице 7. ИЭ X_8 в такте срабатывания включается тогда, когда для логического произведения контактов этого такта у элемента y_1 будет использован замыкающий контакт (состояние «+»), а у элемента z'_2 будет использован замкнутый контакт (состояние «-»).

Таким образом:

$$f_{\text{сп}}(X_8) = y_1 \cdot \overline{z'_2}.$$

Структурная формула в такте отпускания будет иметь вид:

$$f_{\text{отп}}(X_8) = \overline{y_1} \cdot z'_2,$$

а полная структурная формула цепи управления ИЭ X_8

$$f(X_8) = y_1 \cdot \overline{z'_2} + x_8 \left(\overline{y_1} \cdot z'_2 \right).$$

Используя закон де Моргана (формулировка $\overline{a \cdot b} = \overline{a} + \overline{b}$) и учитывая закон двойной инверсии ($\overline{\overline{a}} = a$) [28, с. 256], произведем преобразование структурной формулы контактов ИЭ X_8

$$f(X_8) = y_1 \cdot \overline{z_2'} + x_8 (y_1 + \overline{z_2'})$$

В результате преобразований получена структурная формула контактов ИЭ X_8 , состоящая из трех параллельных цепей.

Для упрощения первоначальной структурной формулы контактов ИЭ X_8 можно воспользоваться **таблицей покрытия**. Ее назначение – исключить из первоначальной структурной формулы ИЭ слагаемые, которые или не реализуют какие-либо такты, или реализуют их с помощью дополнительных цепей контактов. Таблица покрытия (таблица 8) строится следующим образом: в столбец «Структурная формула» выписываются все произведения, имеющиеся в первоначальных структурных формулах элементов. Столбец «Такты» содержит номера тактов включенного состояния данного элемента, в т. ч. и такта срабатывания. Такт отпускания в таблицу покрытия не входит.

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

Воспользовавшись частной таблицей включения ИЭ X_8 и полученной первоначальной структурной формулой $f(X_8)$, построим таблицу покрытия для ИЭ X_8 (таблица 8) и произведем минимизацию первичной структурной формулы элементов. Для заполнения строк таблицы проанализируем состояние элементов каждой последовательной цепи (строки таблицы покрытия) по таблице включения (таблица 7) в тактах 1–3 (вошедших в таблицу покрытия).

Таблица 8 – Таблица покрытия ИЭ X_8

№ цепочки контактов	Структурная формула	Такты		
		1	2	3
1	$y_1 \cdot \overline{z_2'}$	X	X	–
2	$y_1 \cdot x_8$	–	X	–
3	$\overline{z_2'} \cdot x_8$	–	X	X

Для первой цепи в 1-м такте таблицы включений элемент y_1 имеет знак «+», элемент сработал, следовательно, контакт в цепи замкнут. Элемент z_2' в этом же такте имеет знак «–» (не успел сработать или разомкнуться), значит, он замкнут («–» для инверсного элемента означает замкнутое состояние, в отличие от неинверсного). Поэтому вся цепь в 1-м такте замкнута, что можно обозначить знаком «X». Во 2-м такте состояние элементов не изменилось. А в 3-м такте вернулся в исходное состояние элемент y_1 (имеет знак «–»). Если в последовательной цепи разомкнут хотя бы один элемент, разомкнута вся цепь. Аналогично проверяют все цепи по тактам таблицы включения для заполнения таблицы покрытия.

Итак, цепочка контактов 1 обеспечит замкнутую цепь в тактах 1 и 2 в соответствии с записью начального условия $f_{\text{оп}}(X_8)$. Цепочка контактов 2 обеспечит замкнутую цепь только в такте 2, а цепь 3 – в тактах 2 и 3.

Таким образом, замкнутую цепь в тактах 1–3 обеспечат две параллельно соединенные цепочки контактов (рисунок 21):

$$f(X_8) = \overline{z_2'} (y_1 + x_8)$$

при этом обеспечивается «перехват». В данном случае перехват происходит в такте 2, когда цепочка 1 еще не разомкнулась, а цепочка 3 уже замкнута.

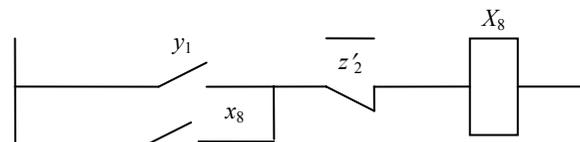


Рисунок 21 – Структурная схема управления ИЭ X_8

Элемент X_8 срабатывает, когда будет подан сигнал разрешения (y_1). При размыкании контакта y_1 (режим отключения сушилки) цепь питания ИЭ X_8 будет удерживать контакт x_8 , пока не разомкнется контакт z_2 после выдержки времени, необходимой для выгрузки остатков зерна. Т. е. схема действует согласно алгоритму.

Аналогично получают структурные формулы управления и схемы для других ИЭ.

На основании полученных частных структурных схем всех элементов можно составить полную структурную схему управления ТП, по возможности минимизировав ее (рисунок 22), либо остановиться на полученных структурных формулах управления, которые послужат основанием для разработки программы управления.

При наличии разрешающего сигнала на включение y_1 срабатывают топочные вентиляторы X_8 и X_{10} . После выдержки на разогрев сушилки (закрывается контакт z_1) срабатывают топочные насосы X_9 , X_{11} , вентилятор сушилки X_1 , нория сырого зерна X_3 . По сигналам датчиков температуры b_7 , b_8 начинается процесс регулирования температуры теплоносителя через клапаны «большого» и «малого огня» $X_{14}...X_{17}$. Далее срабатывает нория загрузки X_4 . Когда зерно достигает требуемого уровня, датчик b_5 подает сигнал разрешения на работу выпускных устройств X_7 и выгрузного шнека X_6 . При допустимой влажности зерна на выходе (b_{12}) заслонка переводится в положение на выгрузку зерна, срабатывает нория сухого зерна X_5 .

Необходимо иметь в виду, что скорость вращения выпускных устройств устанавливается с помощью преобразователя частоты, на который контроллер формирует плавно изменяющийся сигнал по закону, подобранному в подразделе 2.3. Поэтому схема управления этими устройствами дорабатывается на этапе создания программы управления.

По сигналу датчика влажности отработанного теплоносителя b_{13} устанавливается положение воздушного клапана X_{13}, \bar{X}_{13} . Если необходимо завершить процесс сушки (отсутствие сигнала y_1), линия загрузки сушилки отключается автоматически и в течение времени z_2 происходит работа выгрузных устройств, после этого останавливают топку и оборудование сушилки.

Таким образом, структурная схема управления работает в соответствии с заданным нами алгоритмом, но требует доработки в части реализации контуров плавного регулирования выгрузными устройствами.

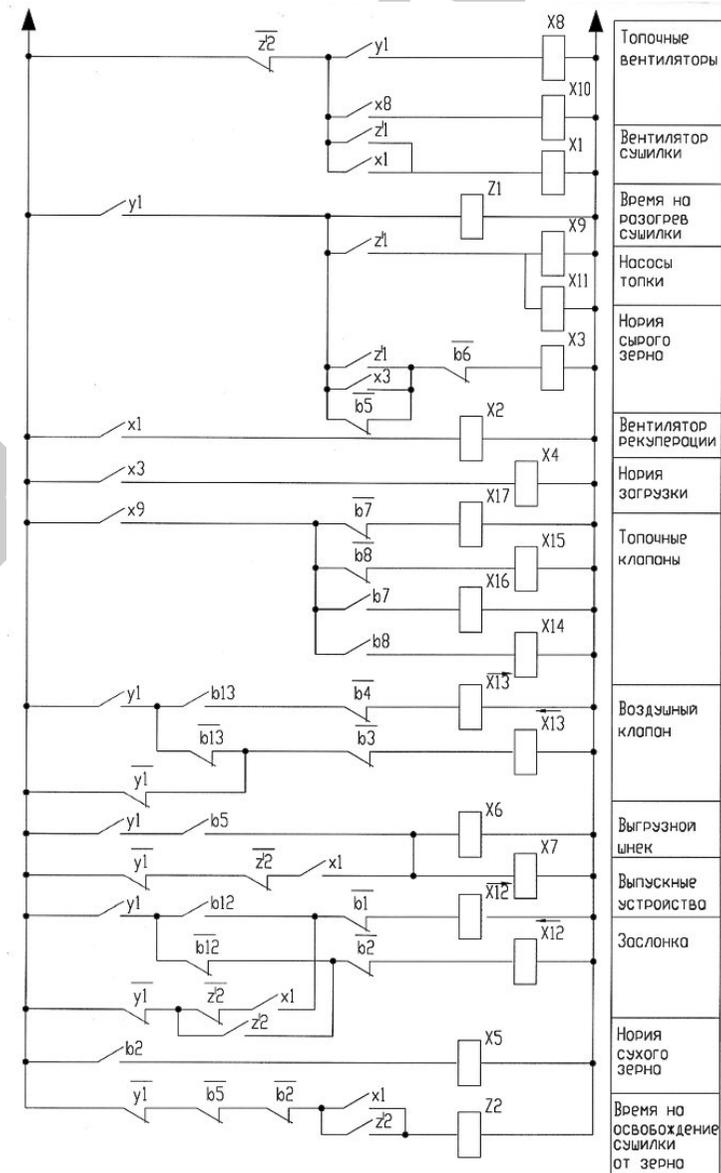


Рисунок 22 – Полная структурная схема управления процессом сушки

2.3 Разработка системы автоматического регулирования

Контур регулирования строят на базе типовой схемы (рисунок 11), проанализировав все воздействия на объект, т. е. фактически на основании модели САР.

В общем виде математическая модель зерносушилки как ОУ может быть представлена зависимостью между входными и выходными переменными. Температура нагрева θ и влажность ω зерна на выходе из зерносушилки зависят от температуры θ_r , расхода L , относительной влажности ϕ подаваемого в сушилку теплоносителя, начальной температуры θ_0 , исходной влажности ω_0 зерна, скорости движения V и времени t пребывания зерна в сушильной камере, а также конструктивных параметров K сушилки:

$$\theta, \omega = f(\theta_r, L, \phi, \theta_0, \omega_0, V, t, K) \quad (9)$$

В подобных зерносушилках выходными управляемыми параметрами являются температура θ и влажность ω зерна на выходе, а входными управляющими параметрами – температура $\theta_{то}$ теплоносителя и скорость движения V зерна через шахту [3, с. 351]. Начальные температура θ_0 и влажность ω_0 зерна на входе в сушилку с точки зрения автоматического управления являются возмущающими воздействиями. Математическая модель зерносушилки представлена на рисунке 23.

Все передаточные функции в модели равны выражению

$$W(P) = \frac{K(TP + 1)e^{-\tau P}}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1}$$

Известны коэффициенты для функций шахтной зерносушилки СЗШ-16А ($T_1 = 176$ с, $T_2 = 86$ с):

$$W_{11}(P) - K = 0,31; \tau = 60 \text{ с}; T = 88 \text{ с};$$

$$W_{12}(P) - K = 0,6; \tau = 1380 \text{ с}; T = 0;$$

$$W_{13}(P) - K = -0,2; \tau = 1680 \text{ с}; T = 0;$$

$$W_{14}(P) - K = 1,33; \tau = 60 \text{ с}; T = 84 \text{ с};$$

$$W_{21}(P) - K = 0,063; \tau = 300 \text{ с}; T = 0;$$

$$W_{22}(P) - K = 0,11; \tau = 1800 \text{ с}; T = 80 \text{ с};$$

77

$$W_{23}(P) - K = 0,67; \tau = 1500 \text{ с}; T = 80 \text{ с};$$

$$W_{24}(P) - K = 8,1; \tau = 300 \text{ с}; T = 60 \text{ с}.$$

Для колонковой зерносушилки коэффициенты необходимо уточнить на базе экспериментальных данных. Но это требует большого объема работы, выполнить который в рамках курсового проекта невозможно. Поэтому воспользуемся данными, приведенными выше.

Рассмотрим контур регулирования по каналу: скорость движения V зерна через шахту – температура θ зерна на выходе – передаточная функция $W_{14}(P)$.

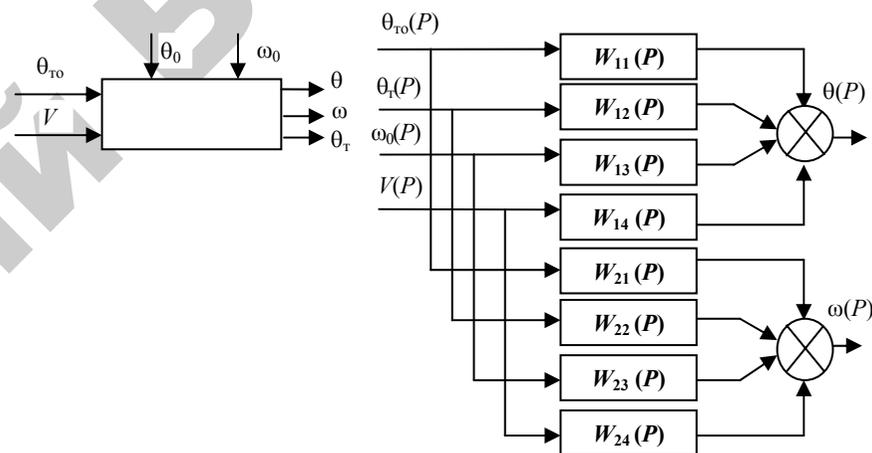


Рисунок 23 – Математическая модель шахтной зерносушилки как ОУ температурой и влажностью

Определим закон регулирования, реализуемый с помощью САР в контуре регулирования. Поскольку выгрузное устройство может изменять скорость выгрузки плавно, то и закон регулирования необходимо принять плавный. Основное условие выбора принципа регулирования определяется соотношением запаздывания регулирующего воздействия и постоянной времени ОУ τ / T [4, с. 121]. Считается, что если $\tau / T < 0,2$, то может быть использовано позиционное регулирование, а при $\tau / T > 1$ требуются особо чувствительные регуляторы, например импульсные. В промежутке от 0,2 до 1 применяется плавное регулирование. В данном

случае соотношение равно 0,71, что подтверждает возможность использования законов плавного регулирования.

Выбрать разновидность плавного закона регулирования можно, например, с помощью диаграммы А. Я. Лернера [4, с. 122] либо полного математического анализа САР [29]. Воспользуемся первой упрощенной методикой.

При постоянной времени объекта $T = 84$ с, времени запаздывания $\tau = 60$ с и времени регулирования $t_{\text{рег}} = 300$ с по приведенным ниже формулам определим координаты на диаграмме.

$$\psi_{\Pi} = \frac{T}{\tau} = \frac{84}{60} = 1,4,$$

$$\psi_{\Sigma} = \frac{t_{\text{рег}}}{\tau} = \frac{300}{60} = 5.$$

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

Выбранный закон регулирования и регулятор должны обеспечить один из типовых переходных процессов. Однако, в зависимости от значений параметров настройки регулятора, отклонения от уставок, определяемые технологическими нормами, могут быть различными.

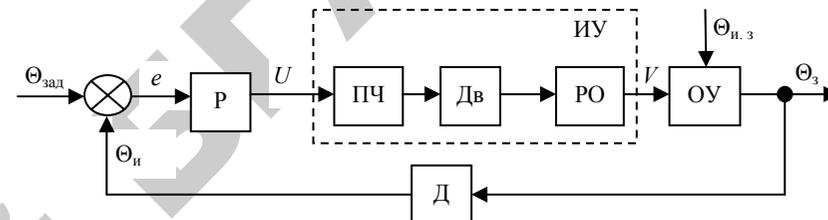
Существуют несколько методик, по которым проводят расчет параметров настройки регулятора [27, с. 51]:

- 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).

Представим контур регулирования в виде функциональной схемы (рисунок 24), удобной для проведения анализа.

Итак, регулируемым параметром является температура нагрева зерна Θ_3 , максимальное значение которой определяется видом и типом зерновой культуры. Возмущающее воздействие – температура зерна на входе $\Theta_{\text{и.з}}$, управляющее воздействие – скорость выгрузки зерна V . Действительное значение температуры измеряет датчик температуры Д. Сигнал с датчика поступает в контроллер, который является и сравнивающим устройством, и регулятором Р.

Сигнал сравнения поступает на блок в программе контроллера, формирующий закон регулирования, и на аналоговом выходе контроллера формируется плавно изменяющийся сигнал напряжения U , который поступает на преобразователь частоты ПЧ, устанавливающий частоту двигателя Дв выгрузного устройства РО. ПЧ, Дв и РО составляют исполнительное устройство ИУ.



Р – регулятор; ПЧ – преобразователь частоты; Дв – двигатель; РО – рабочий орган; ОУ – объект управления; Д – датчик

Рисунок 24 – Функциональная схема САР сушилки по контуру температура нагрева зерна – скорость выгрузки

Однако для анализа САР необходимо знать математическое описание звеньев, чтобы на его основании составить структурную алгоритмическую схему (рисунок 25). Передаточная функция сушилки по заданному каналу регулирования приведена выше. ИУ состоит из нескольких блоков: ПЧ, Дв и РО, которые стоят последовательно, поэтому их можно представить в виде эквивалентного звена, передаточная функция которого получена путем перемножения передаточных функций составных звеньев. В структурной алгоритмической схеме они будут заменены одним блоком с соответствующей передаточной функцией. Передаточные функции остальных звеньев и их параметры представлены в соответствии с рекомендациями [29].

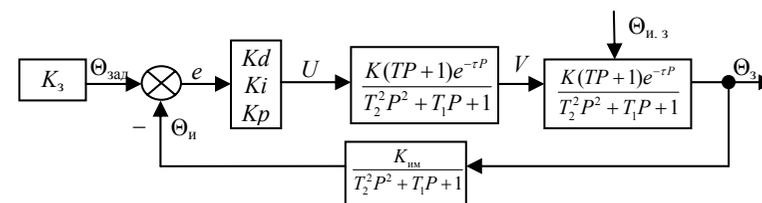


Рисунок 25 – Структурная алгоритмическая схема САР сушилки по контуру температура нагрева зерна – скорость выгрузки

Современные программные средства позволяют легко моделировать работу САУ, если известно математическое описание ее основных звеньев. Наиболее полные возможности для решения таких задач дает матричная лаборатория Matlab, которая имеет мощные средства математически ориентированного программирования, диалога, графики и комплексной визуализации [30]. Популярности системы Matlab способствует ее мощное расширение Simulink, предоставляющее пользователю удобные и простые средства (в т. ч. визуального объектно-ориентированного программирования) для блочного моделирования линейных и нелинейных динамических систем, а также множество других пакетов расширения системы.

Чтобы проанализировать контур регулирования в Matlab, необходимо представить структурную схему рисунка 25 в виде типовых блоков библиотеки Simulink (рисунок 26).

Запуск системы Matlab осуществляется из рабочего меню через кнопку «Пуск» или с помощью ярлыка на рабочем столе. После запуска появляется основное окно системы (рисунок 27).

Для подбора параметров ПИД-регулятора необходимо задать модель САУ 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.

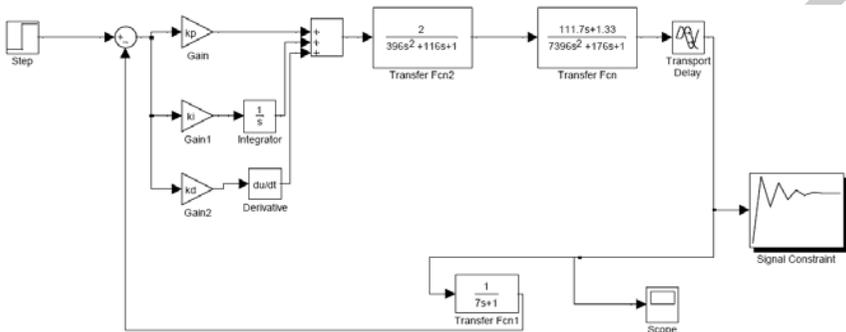


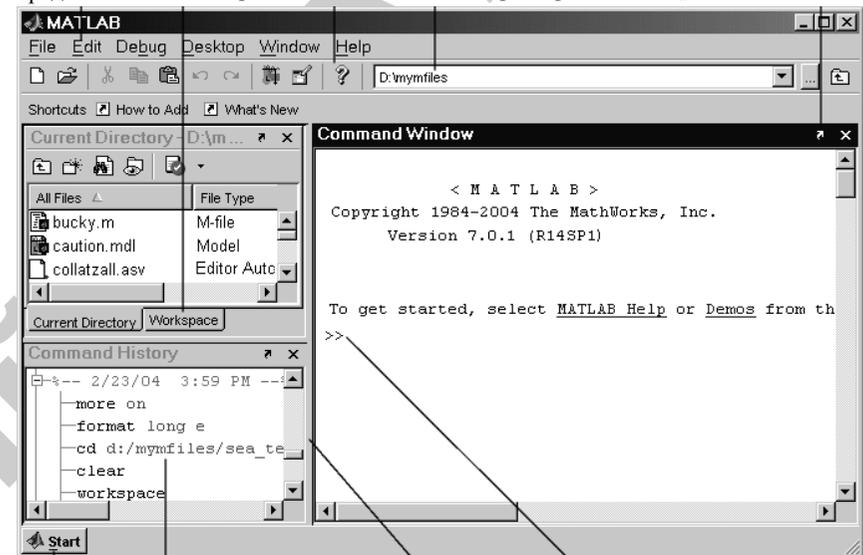
Рисунок 26 – Структурная алгоритмическая схема САУ сушилки, адаптированная для анализа в Matlab

Меню Правка зависит от используемого средства для перехода

Используйте вкладку для перехода

Просмотр или изменение текущей директории

Переместите командное окно с рабочего стола



Щелкните кнопку «Пуск» для быстрого вызова инструментов и пакетов расширений

Просмотрите или вырежьте использованные ранее функции из окна истории команд

Потяните разделитель для изменения размеров окна

Введите Matlab-функцию в командную строку

Рисунок 27 – Основное окно системы Matlab

Пакет расширения Simulink служит для создания имитационных 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 представлением результатов.

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

Для создания модели САР (рисунок 26) должны быть активными окно библиотеки Simulink Library Browser и окно Simulink. Последовательно перетянем все блоки модели из библиотеки (пути прописаны в таблице 9) в окно Simulink, настраивая параметры каждого блока в диалоге, вызываемом двойным щелчком левой кнопки (ЛК) мыши по изображению блока. При этом получим вид, представленный на рисунке 28. Остается соединить блоки линиями связи. Подведем мышь к выходу блока и, удерживая ее ЛК, прорисуем линию до соединения со входом другого блока.

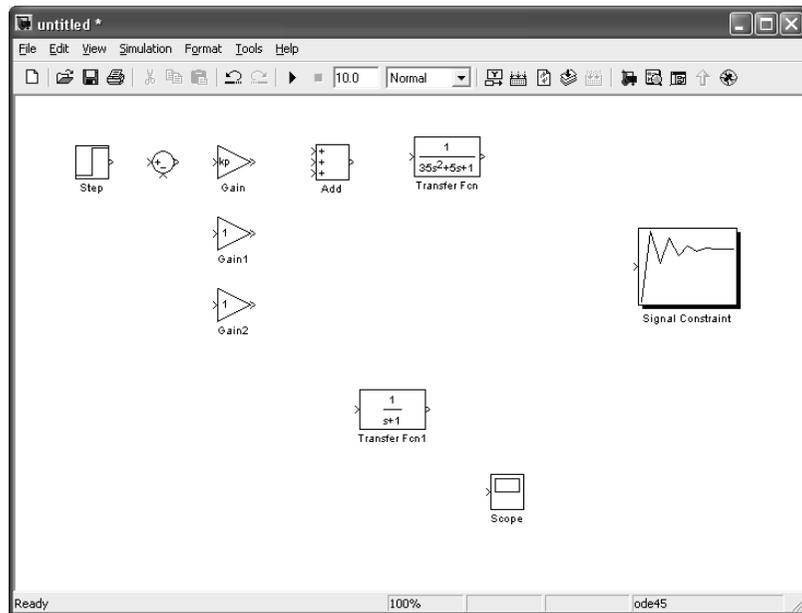


Рисунок 28 – Создание модели САР в Simulink

Таблица 9 – Параметры блоков, используемых в модели САР

Условное обозначение блока	Описание блока	Путь в библиотеке	Параметры
	Step – генерирует ступенчатый сигнал	Simulink → Sources → Step	По умолчанию
	Sum – суммирует или вычитает входные сигналы	Simulink → Math Operations → Sum	В диалоге параметров в строке List if signs требуется установить +-
	Gain – усиливает входной сигнал	Simulink → Math Operations → Gain	В диалоге параметров на вкладке 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 if 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

Однако, прежде чем приступить к моделированию и оптимизации САР, требуется задать начальные значения параметров регулятора: K_p , K_i и K_d . Поэтому в головном 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 29), установив в окне Simulink в области Simulation Stop Time время моделирования, равное 3000 с, и нажмем на кнопку старта . Чтобы просмотреть график, откроем

окно Score, дважды щелкнув ЛК мыши по одноименному блоку. Для большей наглядности нажмем на кнопку автомасштаба  в окне Score. При этом на графике имеем существенную величину статической ошибки (50 %) и значительную продолжительность времени регулирования (950 с).

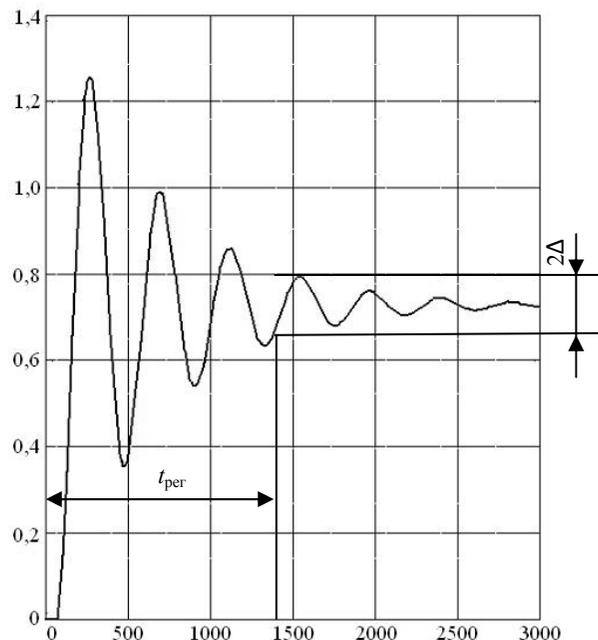


Рисунок 29 – Переходная функция САР сушилки с начальными параметрами: 2Δ – допустимая статическая ошибка; $t_{\text{пер}}$ – время регулирования

Далее перейдем к подбору параметров регулятора, используя блок Signal Constraint. Двойным щелчком ЛК мыши по указанному блоку вызовем диалог оптимизации, где необходимо задать границы (перетаскиваются мышью), в которые должен укладываться переходной процесс. Чтобы настроить изменяемые параметры K_p , K_i и K_d , необходимо открыть диалог по пути меню Optimization → Tuned Parameters и нажать на кнопку Add. После нажатия на кнопку старта будет происходить подбор параметров с одновременным построением графиков (рисунок 30).

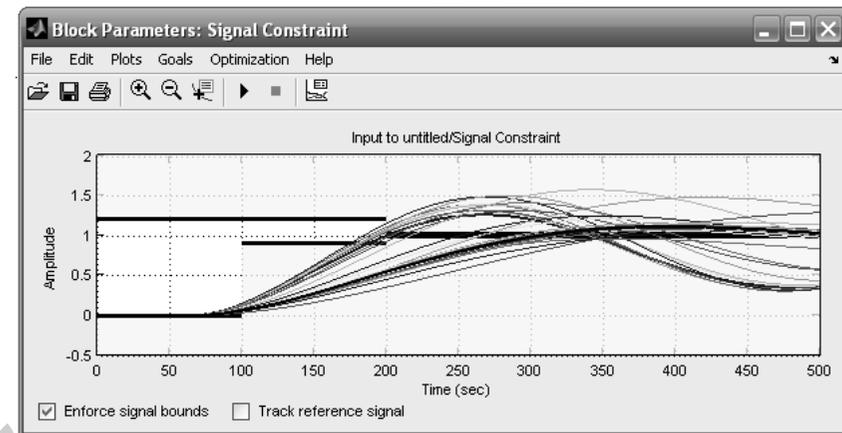


Рисунок 30 – Подбор параметров в блоке оптимизации Matlab

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

В качестве метода оптимизации по умолчанию установлен метод градиентного спуска. Однако при использовании данного метода не удалось получить требуемые показатели переходного процесса (рисунок 31). Кроме того, наблюдаются возрастающие колебания. Поэтому изменим метод оптимизации на Симплекс-метод, где результат гораздо лучше (рисунок 32). Зацикливание обеспечивается при параметрах: $K_d = -7,6 \cdot 10^{-4}$; $K_i = 0,0018$; $K_p = 0,43$. Время регулирования составляет 900 с, перерегулирование – 10 %.

Однако наилучший результат получается при использовании метода прямого поиска (рисунок 33). Зацикливание обеспечивается при параметрах: $K_d = 49,3$; $K_i = 0,0024$; $K_p = 0,76$. Время регулирования составляет 280 с, перерегулирование – 7 %, запаздывание – 60 с, статическая ошибка равна нулю.

Данные параметры понадобятся для того, чтобы задать значения в контуре регулирования, реализуемом в программе контроллера.

Если математическое описание объекта управления отсутствует, необходимо провести его идентификацию, используя методику [3, с. 141–164].

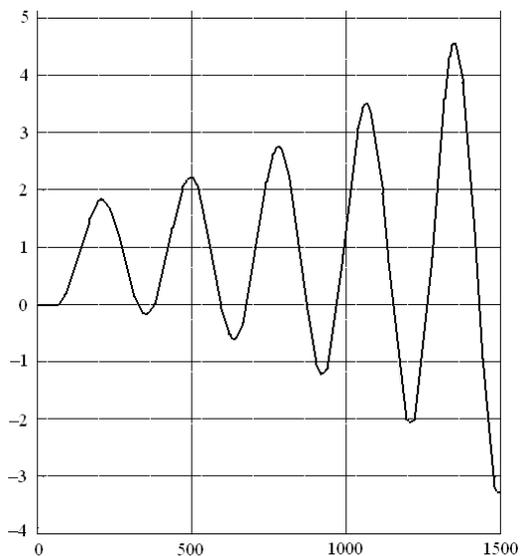


Рисунок 31 – Результат моделирования при использовании метода градиентного спуска

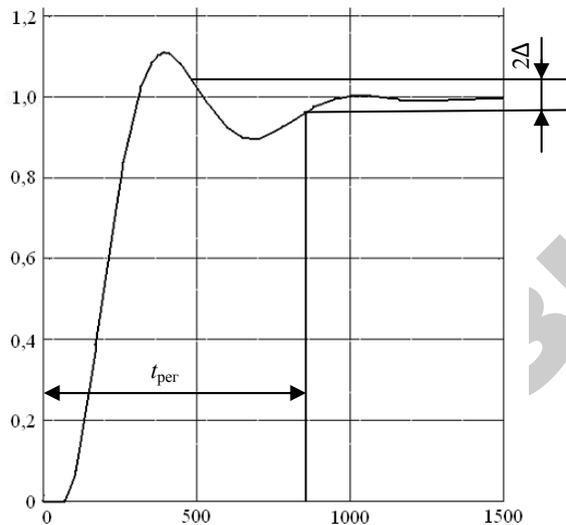


Рисунок 32 – Результат моделирования при использовании Симплекс-метода

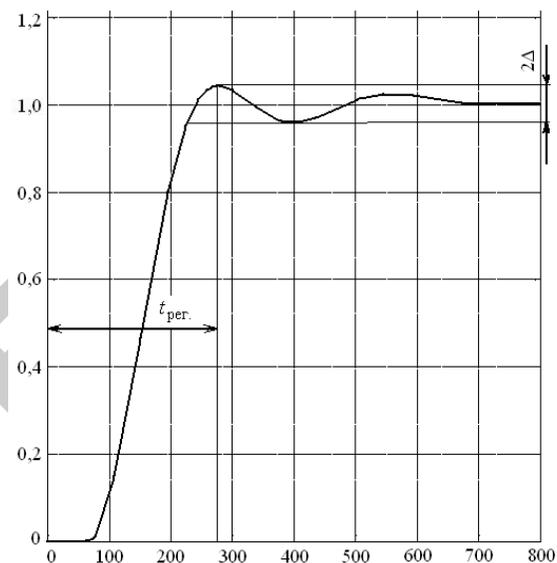


Рисунок 33 – Переходная функция САР сушилки с оптимальными параметрами (результат моделирования при использовании метода прямого поиска)

2.4 Разработка средств визуализации управления

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

При визуализации управления используют следующие технические средства:

- компьютер с установленной SCADA-системой (Trace mode, Genesis) и периферией;
- контроллер с панелью оператора;
- контроллер с дисплеем.

Выбор технических средств для обеспечения визуализации зависит от количества отображаемой информации и величины ОУ. В случае масштабных объектов используют SCADA-системы, познакомиться

с возможностями которых можно в практикуме [27, с. 124–150]. Для визуализации контролируемых параметров отдельных технологических линий или установок подходит контроллер с панелью оператора, а для небольших установок достаточно и небольшого встроенного дисплея контроллера.

Для визуализации процесса сушки зерновых будем использовать панель оператора, подключаемую к контроллеру Siemens S7-1200. Выберем панель SIMATIC KTP600 Basic color DP (имеет 5,7” цветной сенсорный TFT-дисплей, шесть функциональных клавиш, интерфейс RS 422 / RS 485) [22, с. 3/140]. Программирование панели осуществляется с помощью программы TIA portal.

Следует предусмотреть несколько рабочих экранов панели оператора. На первом экране будем отслеживать работу механизмов сушилки в целом (рисунок 34), поэтому на изображение всего устройства накладываем сигнальные лампы с привязкой к соответствующим параметрам программы, реализуемой в контроллере. На второй экран панели оператора вынесем значимые для контроля параметры: температуру в четырех точках и влажность в трех (рисунок 35). Переход на данные экраны организуется через загрузочный экран, а переключение между ними производится с помощью соответствующих кнопок в верхнем левом углу.

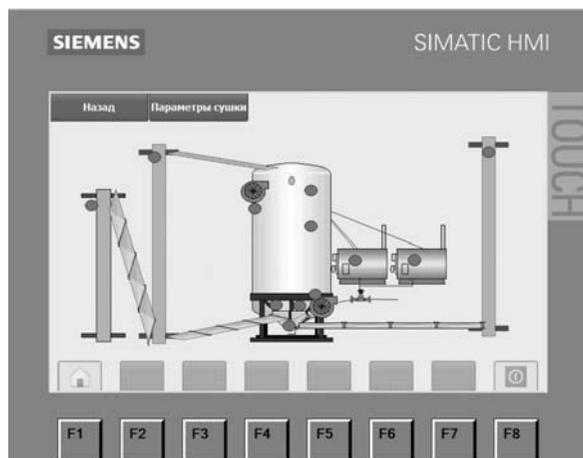


Рисунок 34 – Первый экран панели оператора

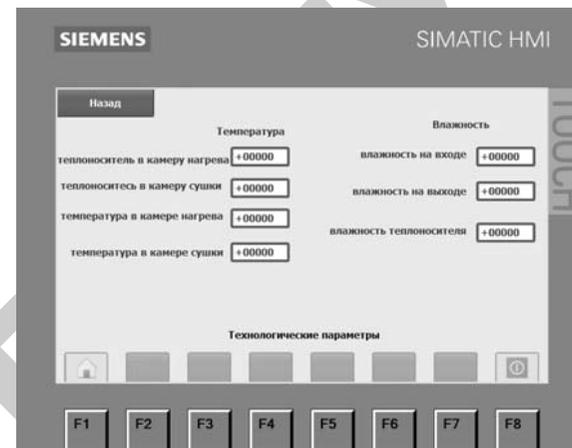


Рисунок 35 – Второй экран панели оператора

2.5 Разработка программы управления

2.5.1 Краткая характеристика языков программирования контроллера

Для программирования контроллеров в соответствии со стандартами МЭК предусмотрено несколько языков программирования, которые можно разделить на две группы: графические и текстовые [17]. 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 относят: 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, работающий с последовательностью цепей, каждая из которых содержит логическое или арифметическое выражение, вызов функционального блока, переход или инструкцию возврата.

LD – это графический язык, реализующий структуру электрических цепей.

IL – это список инструкций со списком мнемонических команд.
ST – это набор инструкций высокого уровня, которые могут использоваться в операторах (If...Then...Else) и в циклах (While...Do).

Принципы использования языка программирования FBD изложены в учебном пособии [4, с. 84–92]. С особенностями текстовых языков можно познакомиться в системном руководстве [31].

2.5.2 Пример разработки программы для контроллера фирмы Siemens

Программирование контроллеров S7-1200 обеспечивается системой STEP 7 в виде TIA portal (Totally Integrated Automation Portal), где поддерживается несколько языков программирования: LD, FBD и ST. Воспользуемся первым языком. Портальное представление 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.

Запускаем TIA portal, нажимаем в стартовом портале на кнопку Start и выбираем портал Create new project (рисунок 36). При этом указывается область сохранения и имя проекта.

Затем необходимо задать конфигурацию системы. Для этого в дереве First steps выбираем шаг Configure a device. В стартовом портале переходим на первую задачу Devices & Networks (Устройства и сети). Нажимаем на ключ Add new device. В высветившемся списке устройств выделяем необходимый тип контроллера (рисунок 37). Далее добавляем специальный модуль с помощью библиотеки (расположена справа) и ставим его после CPU контроллера в слот 2 (рисунок 38).

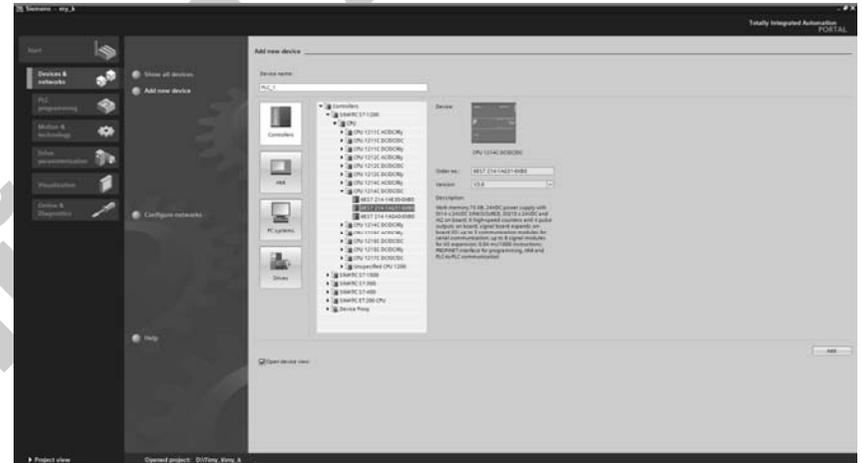


Рисунок 37 – Выбор типа контроллера

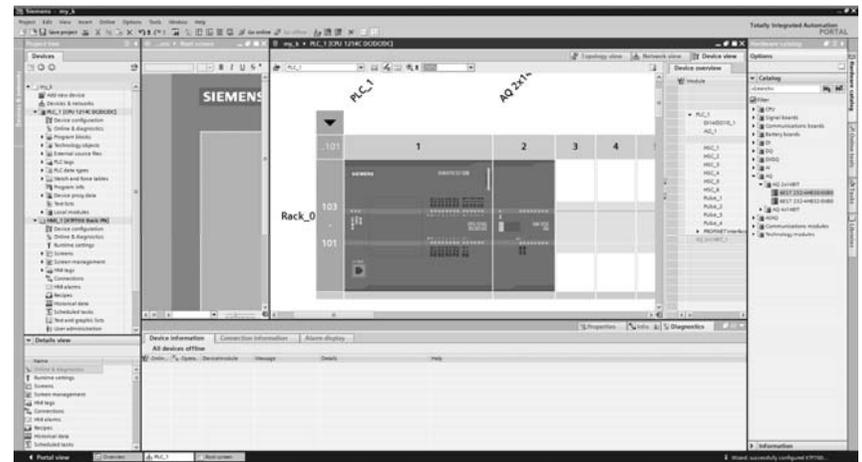


Рисунок 38 – Результат конфигурации системы управления



Рисунок 36 – Начало работы в среде TIA portal

Сконфигурировав систему управления, переходим к заданию имен входов и выходов контроллера и переменных внутренней памяти, так называемой глобальной памяти (глобальная память CPU представляет собой 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 38) или заполнить список свойств проекта в области слева (рисунок 39). Имя задается в первой колонке таблицы. Тип данных можно изменить в колонке 3, выбрав его из списка возможных. Адреса входов и выходов заданы по умолчанию (колонка 4). В колонке Comment можно дать пояснения к принятым именам.

Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Visible	Access	Comment
y1	Default tag table	Bool	%I0.0				сигнал разрешения
b1	Default tag table	Bool	%I0.1				заслонка на выгрузку
b2	Default tag table	Bool	%I0.2				заслонка на повторную сушку
b3	Default tag table	Bool	%I0.3				клапан закрыт
b4	Default tag table	Bool	%I0.4				клапан открыт
b5	Default tag table	Bool	%I0.5				нижний уровень
b6	Default tag table	Bool	%I0.6				верхний уровень
x1	Default tag table	Bool	%Q0.0				вентилятор сушилки
x2	Default tag table	Bool	%Q0.1				вентилятор рекуперации
x3	Default tag table	Bool	%Q0.2				нория сырого зерна
x4	Default tag table	Bool	%Q0.3				нория загрузки
x5	Default tag table	Bool	%Q0.4				нория сухого зерна
x6	Default tag table	Bool	%Q0.5				выгрузной шнек
x7	Default tag table	Bool	%Q0.6				выпускные устройства
x8	Default tag table	Bool	%Q0.7				вентилятор топки 1
x9	Default tag table	Bool	%Q1.0				насос топки 1
x10	Default tag table	Bool	%Q1.1				вентилятор топки 2
x11	Default tag table	Bool	%Q8.0				насос топки 2
x12.1	Default tag table	Bool	%Q8.1				заслонка на повторную сушку
x12.2	Default tag table	Bool	%Q8.2				заслонка на выгрузку
x13.1	Default tag table	Bool	%Q8.3				клапан на рекуперацию
x13.2	Default tag table	Bool	%Q8.4				клапан на выброс
x14	Default tag table	Bool	%Q8.5				малый огонь tt1
x15	Default tag table	Bool	%Q8.6				большой огонь tt1
x16	Default tag table	Bool	%Q8.7				малый огонь tt2
x17	Default tag table	Bool	%Q9.0				большой огонь tt2
b7	Default tag table	Int	%IW1.2				теплоноситель в камеру нагрева
b8	Default tag table	Int	%IW1.4				теплоноситель в камеру сушки
b9	Default tag table	Int	%IW1.6				температура в камере нагрева
b10	Default tag table	Int	%IW1.8				температура в камере сушки
b11	Default tag table	Int	%IW1.28				влажность на входе
b12	Default tag table	Int	%IW1.30				влажность на выходе
b13	Default tag table	Int	%IW1.32				влажность теплоносителя
x18	Default tag table	Int	%QW1.28				ПЧ 1
x19	Default tag table	Int	%QW1.30				ПЧ 2

Рисунок 39 – Задание имен в глобальной памяти контроллера

При создании пользовательской программы для решения задачи автоматизации команды вставляются в кодовые блоки:

Organization block (OB) реагирует на определенное событие в CPU и может прервать исполнение программы пользователя (является единственным кодовым блоком, необходимым для пользовательской программы); Function block (FB) и Function (FC) – это подпрограммы, которые исполняются при вызове из другого кодового блока (OB, FB или FC).

Итак, для создания организационного блока воспользуемся деревом проекта (область слева на рисунке 38). Для PLC открываем вкладку Program blocks и отмечаем пункт Add new blocks. В открывшемся диалоговом окне (рисунок 40) выбираем блок OB, тип исполнения программы (Program cycle) и язык программирования (LAD).

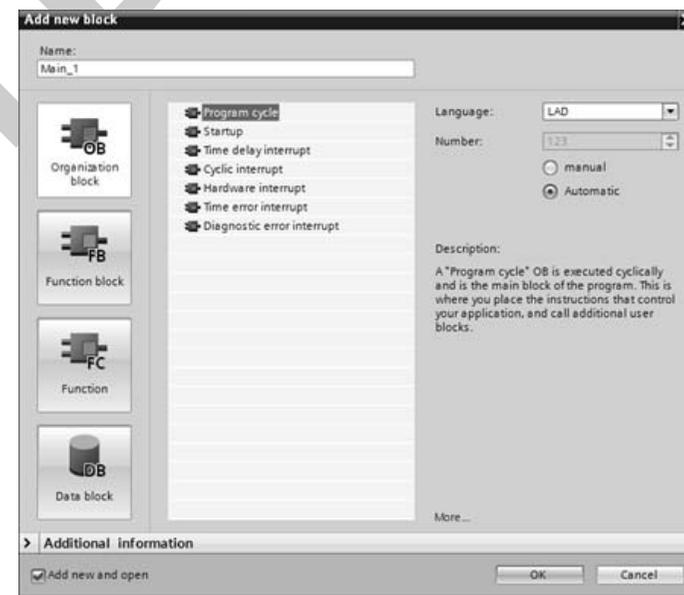


Рисунок 40 – Диалоговое окно для создания организационного блока пользовательской программы

Основой для написания программы является структура управления (рисунок 22), которая в программе должна быть представлена специальными символами и функциями.

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 аналогичными кнопками в электрических цепях. Однако, согласно структуре управления, необходимо также организовать две выдержки времени, для чего используются блоки таймеров TON, сигнал с которых уходит на меркер, задействованный в цепях управления выходами. Кроме того, особенность организации управления состоит в том, что оно ведется по аналоговому сигналу датчика, который требует сравнения с определенной величиной или преобразования по определенному закону. Перевод структуры управления (рисунок 22) в программу управления отражен в таблице 10.

В полном объеме программа управления для контроллера приведена на рисунках 41–44.

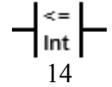
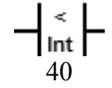
Таблица 10 – Перевод символьных обозначений структуры управления в символьные обозначения программы управления для контроллера S7-1200

Обозначение элемента в структуре	Наименование командного прибора и ИУ	Обозначение в программе контроллера (рисунки 41–44)
1	2	3
b_1	Концевой выключатель, фиксирующий положение заслонки на выгрузку	Нормально-замкнутый контакт %I0.1 “b1” 
b_2	Концевой выключатель, фиксирующий положение заслонки на повторную сушку	Нормально-замкнутый контакт %I0.2 “b2” 
b_3	Концевой выключатель, фиксирующий положение клапана на выброс теплоносителя	Нормально-замкнутый контакт %I0.3 “b3” 

Продолжение таблицы 10

1	2	3
b_4	Концевой выключатель, фиксирующий положение клапана на повторное использование теплоносителя	Нормально-замкнутый контакт %I0.4 “b4” 
b_5	Датчик нижнего уровня зерна	Нормально-замкнутый контакт %I0.5 “b5”  Нормально-разомкнутый контакт %I0.5 “b5” 
b_6	Датчик верхнего уровня зерна	Нормально-замкнутый контакт %I0.6 “b6” 
b_7	Датчик температуры теплоносителя в камере нагрева	Блок сравнения %IW112 “b7”  %IW112 “b7” 
b_8	Датчик температуры теплоносителя в камере сушки	Блок сравнения %IW114 “b8”  %IW114 “b8” 
b_9	Датчик температуры зерна в камере нагрева	Сигнал, подаваемый на блок ПИД-регулятора и в окно панели оператора
b_{10}	Датчик температуры зерна в камере сушки	Сигнал, подаваемый на блок ПИД-регулятора и в окно панели оператора

Продолжение таблицы 10

1	2	3
b_{11}	Датчик влажности зерна на входе	Сигнал, подаваемый в окно панели оператора
b_{12}	Датчик влажности зерна на выходе	Блок сравнения %IW130 "b12" %IW130 "b12"   14 14
b_{13}	Датчик влажности теплоносителя	Блок сравнения %IW130 "b12" %IW132 "b13"   14 40
y_1	Сигнал разрешения	Нормально-замкнутый контакт %I0.0 "y1"  Нормально-разомкнутый контакт %I0.0 "y1" 
X_1	Управление двигателем вентилятора сушиллки	Итог логической цепочки (выход) %Q0.0 "x1" —()—
X_2	Управление двигателем вентилятора рекуперации	Итог логической цепочки (выход) %Q0.1 "x2" —()—

Продолжение таблицы 10

1	2	3
X_3	Управление приводом нории сырого зерна	Итог логической цепочки (выход) %Q0.2 "x3" —()—
X_4	Управление приводом нории загрузки	Итог логической цепочки (выход) %Q0.3 "x4" —()—
X_5	Управление приводом нории сухого зерна	Итог логической цепочки (выход) %Q0.4 "x5" —()—
X_6	Управление приводом выгрузного шнека	Итог логической цепочки (выход) %Q0.5 "x6" —()—
X_7	Управление приводом выпускных устройств	Итог логической цепочки (выход) %Q0.6 "x7" —()—
X_8, X_{10}	Управление приводом топочных вентиляторов	Итог логической цепочки (выход) %Q1.1 "x10" %Q0.7 "x8" —()— —()—
X_9, X_{11}	Управление приводом насосов топки	Итог логической цепочки (выход) %Q8.0 "x11" %Q1.0 "x9" —()— —()—
$\overline{X_{12}}, \overline{X_{12}}$	Управление исполнительным механизмом заслонки (влево и вправо)	Итог логической цепочки (выход) %Q8.2 "x12.2" %Q8.1 "x12.1" —()— —()—

Окончание таблицы 10

1	2	3
$\overline{X_{13}}, \overline{X_{13}}$	Управление исполнительным механизмом клапана (влево и вправо)	Итог логической цепочки (выход) %Q8.4 "x13.2" %Q8.3 "x13.1" —()— —()—
X_{14}, X_{16}	Управление клапанами «большой огонь»	Итог логической цепочки (выход) %Q8.7 "x16" %Q8.5 "x14" —()— —()—
X_{15}, X_{17}	Управление клапанами «малый огонь»	Итог логической цепочки (выход) %Q9.0 "x17" %Q8.6 "x15" —()— —()—
Z_1 и z'_1	Катушка и контакт программного реле времени на разогрев сушилки	Таймер на включение %DB5 "IEC_Timer_0_DB_4"
Z_2 и z'_2	Катушка и контакт программного реле времени выдержки на выгрузку зерна и останов сушилки	Таймер на включение %DB1 "IEC_Timer_0_DB"

Для управления преобразователем частоты необходимо использовать ПИД-регулирование (рисунок 44, network 16 и 17). Выходное значение ПИД-регулятора состоит из трех компонентов: пропорциональный, интегральный, дифференциальный. Значения коэффициентов по этим компонентам установим согласно анализу, проведенному в подразделе 2.3.

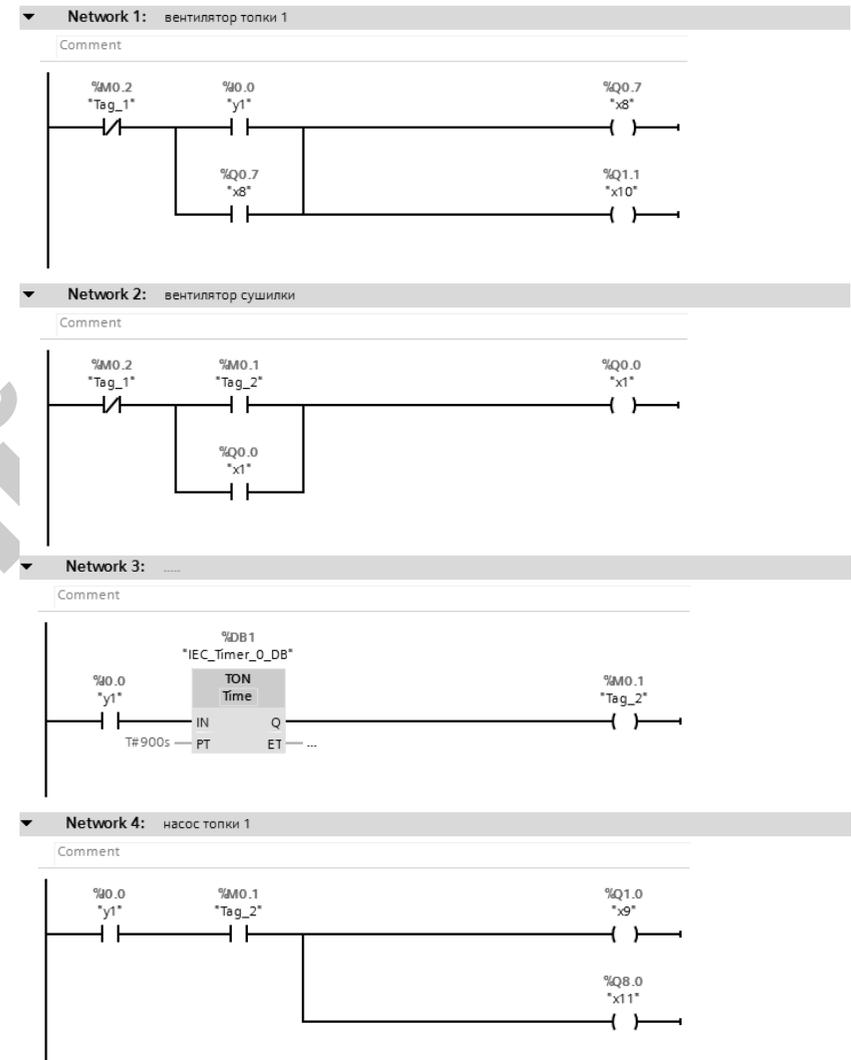


Рисунок 41 – Программа управления для контроллера (network 1–4)

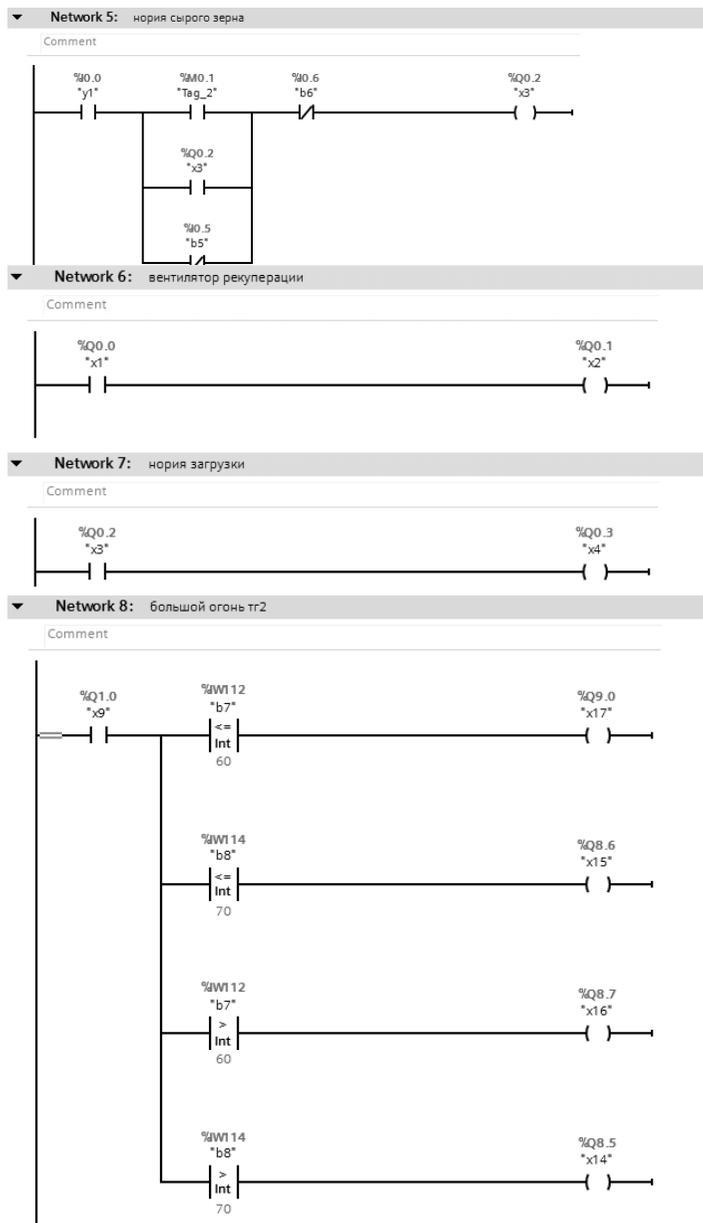


Рисунок 42 – Программа управления для контроллера (network 5–8)

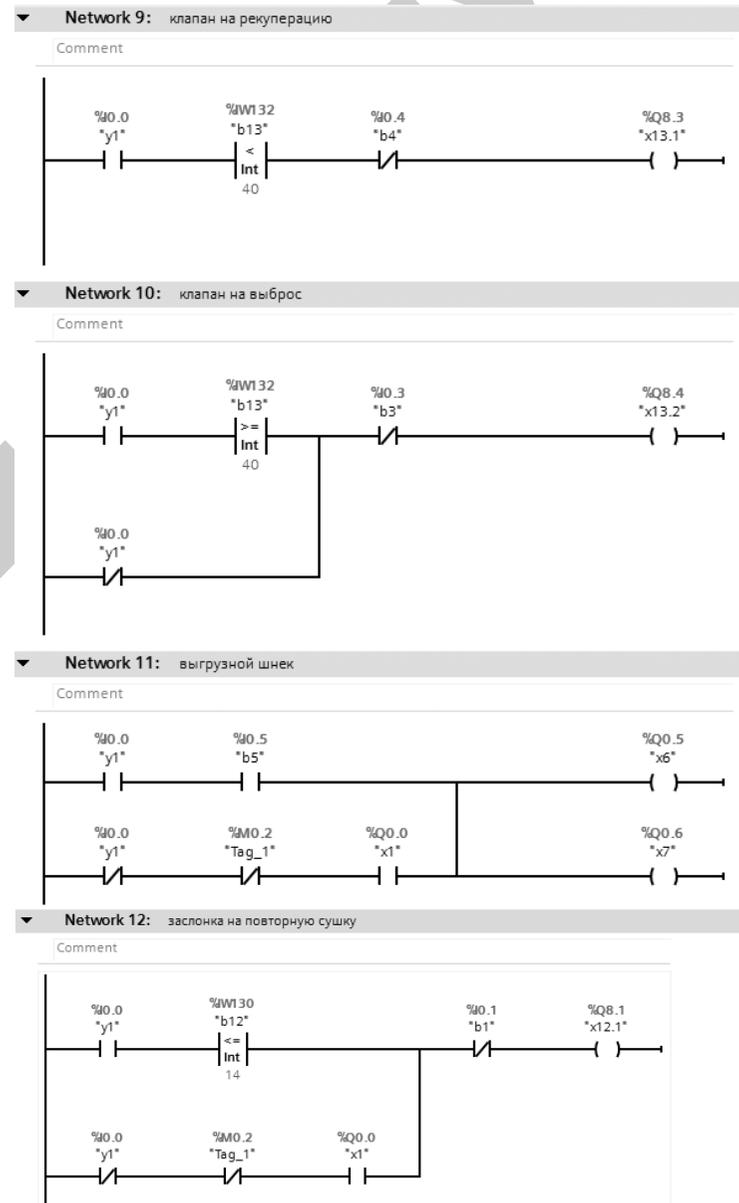


Рисунок 43 – Программа управления для контроллера (network 9–12)

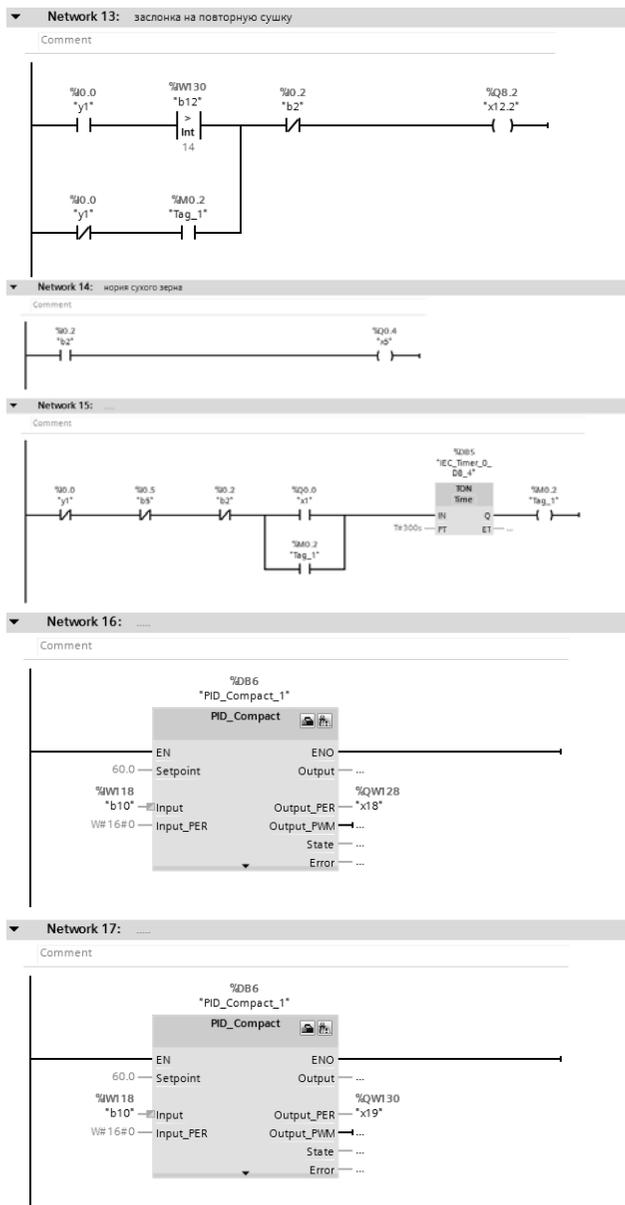


Рисунок 44 – Программа управления для контроллера (network 13–17)

Загрузка программы в контроллер осуществляется через меню Online пункт Download to device (рисунок 45).



Рисунок 45 – Загрузка программы в контроллер

2.6 Разработка полной принципиальной электрической схемы управления, регулирования, контроля и сигнализации

Принципиальная электрическая схема управления разрабатывается на основе структуры управления (рисунок 22). Принципиальные схемы управления состоят из силовых цепей или цепи главного тока и из вспомогательных цепей.

Силовые цепи строятся по типовым правилам, описанным в учебном пособии [4, с. 179]. На рисунке 46 показаны силовые цепи для варианта управления оборудованием сушилки. Для привода выгрузного шнека и выпускных устройств предусмотрено частотное регулирование. Типовые схемы подключения частотного преобразователя взяты из руководства [32]. Тепловую защиту двигателей в этом случае реализует преобразователь частоты, поэтому в силовой цепи не предусмотрены тепловые реле.

Вспомогательные цепи, или цепи управления (рисунки 47 и 48), строятся на базе структуры управления и схем подключения контроллера и дополняются типовыми цепями в соответствии с принципами [4, с. 192–207].

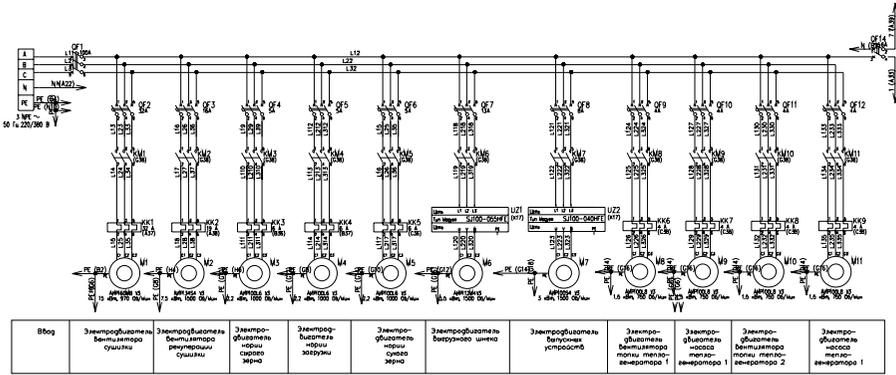


Рисунок 46 – Силовая часть принципиальной электрической схемы управления оборудованием сушилки

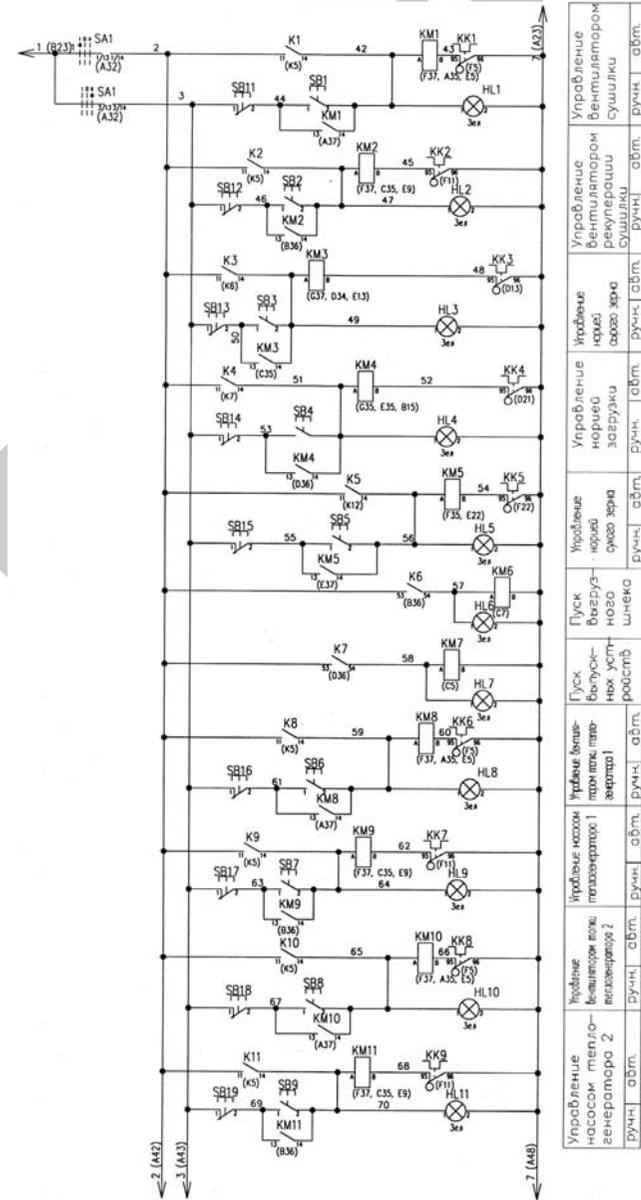


Рисунок 47 – Цепи управления оборудованием сушилки

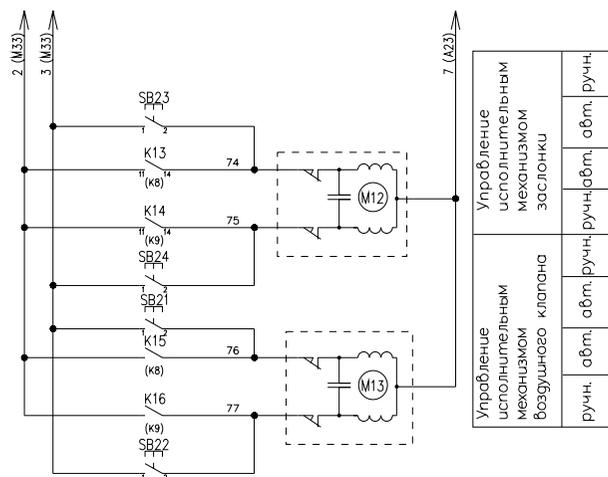


Рисунок 48 – Цепи управления ИМ сушилки

К цепям управления также относят схемы подключения контроллера и специальных модулей (рисунки 17–21).

Учитывая требование, что управление должно быть обеспечено в двух режимах, для их разделения следует предусмотреть переключатель. Принцип построения схемы в этом случае иллюстрирует рисунок 6.14 [4, с. 193]. Диаграмма работы переключателя *SA1* приведена на рисунке 49. В соответствии с диаграммой контакт 1/13–1/14 переключателя *SA1* (положение рукоятки I) обеспечивает работу схемы в автоматическом режиме, контакт 3/13–3/14 – в ручном режиме (положение рукоятки II).

Цепи ручного управления (рисунок 50) содержат кнопки «Пуск», «Стоп» и блокировочный контакт для управления пускателем нереверсивного электродвигателя (например, кнопки *SB1*, *SB11* и контакт *KM1*).

Сигнализация может быть технологическая (сигнализирует о работе привода либо установке механизмов в конечные положения) и аварийная. Технологическая представлена лампами *HL1...HL11*.

Требования к оформлению принципиальных схем изложены в учебном пособии [4, с. 182–192]. Условные графические обозначения (УГО) элементов приведены в учебно-методическом пособии [2] и соответствующих ГОСТах.

Диаграмма переключателя
SA1 NEF30–Pcp

Соединенные контакты	Положение рукоятки		
	-45	0	45
1/13–1/14	X		
3/13–3/14			X
Выбор режима работы	Автом.	Выкл.	Ручн.
Условное обозначение	I	0	II

Рисунок 49 – Диаграмма переключателя

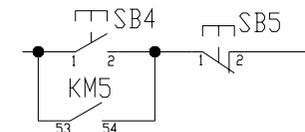


Рисунок 50 – Пример организации цепей ручного управления

Чтение схемы осуществляют в целом: и по силовой части, и по цепям управления (совместно рисунки 46–48 и 17–21). Питание на схему подает автоматический выключатель *QF1*, а на цепи управления – *QF14*. Разделение режимов работы обеспечивает переключатель *SA1*. Согласно диаграмме для работы схемы управления в автоматическом режиме рукоятку переключателя следует установить в положение I, в случае ручного управления – в положение II.

В случае ручного управления сигнал на включение (или отключение) соответствующего электродвигателя подается с помощью кнопок *SB1...SB9* (*SB11...SB19*), *SB21...SB24*.

В случае автоматического режима управления переключатель *SA1* через контакты 1/13–1/14 подключает блок питания *GUI* и тем самым запитывает контроллер. При этом на входы *D1a.0...D1a.6* контроллера *A1* датчики *SQ1...SQ4*, *SL1* и *SL2* подают сигналы о состоянии параметров процесса. Сигналы с датчиков температуры и влажности приходят на соответствующий специальный

модуль (A2 или A4). Обработав входные сигналы в соответствии с программой управления, контроллер подает сигналы на выходы. Через контакты промежуточных реле K1...K16 данные сигналы подаются на магнитные пускатели, управляющие приводами сушилки, или непосредственно включают электромагнитные клапаны. В соответствии с показаниями датчика температуры нагрева зерна специальный модуль A4 формирует аналоговый сигнал и передает его на управляющие входы преобразователей частоты UZ1 и UZ2, которые устанавливают скорость вращения привода выгрузного шнека и выпускных устройств. Работа электроприводов сушилки и показания датчиков температуры и влажности отображаются на соответствующем экране панели оператора.

Для полного чтения принципиальной схемы необходимо составить перечень элементов (рисунки 51 и 52), который может быть выполнен в виде отдельного документа либо размещен на листе принципиальной схемы. Воспользуемся последним вариантом. Требования по заполнению перечня изложены в учебном пособии [4, с. 189]. В данном случае оборудование разделено на три группы: по месту, в щите управления (силовая аппаратура) и в щите автоматики (контроллер и другие ТСА).

На основе принципиальной электрической схемы управления, контроля и сигнализации разрабатывают другую документацию проекта автоматизации. Требования по выполнению схемы соединений внешних проводок и пример выполнения приведены в учебном пособии [4, с. 207–212]. В данном случае предполагается, что существующее силовое оборудование располагается в щите управления, а ТСА следует разместить в отдельном щите автоматики. Для этого щита должна быть выполнена следующая документация: перечень элементов щита (рисунок 53), вид на его внутренние плоскости (рисунок 54), вид спереди (рисунок 55), таблица надписей на табло и в рамках (рисунок 56).

Принципы компоновки аппаратуры в щитах автоматики и требования к документации на щиты автоматики изложены в учебном пособии [4, с. 213–231]. Пример разработки щита автоматики приведен в практикуме [28, с. 116]. Исходные данные для компоновки аппаратуры в щите автоматики содержит практикум [28, с. 277–313].

25	26	27	28	29	30	31
Поз. обозначение	Наименование				Код	Примечание
	_ По месту _					
V1...V3	Влагомер ПВ3–20Д				3	
M1	Двигатель АИР160МВ У3, 15 кВт, 380 В, 50 Гц				1	
	IM1081,97 об/мин ТУ16–97.БВИЕ 525222.001ТУ					
M2	Двигатель АИР134S4 У3, 7,5 кВт, 380 В, 50 Гц				1	
	IM3081, 1500 об/мин ТУ 16–525.709–87					
M3...M5	Двигатель АИР100L6 У3, 2,2 кВт, 380 В, 50 Гц				3	
	IM1081,1000 об/мин ТУ 16–97.БВИЕ 525222.001ТУ					
M6	Двигатель АИР112M4У3, 5,5 кВт, 380 В, 50 Гц				1	
	IM3081, 1500 об/мин ТУ 16–525.709–87					
M7	Двигатель АИР100S4 У3, 3 кВт, 380 В, 50 Гц				1	
	IM3081, 1500 об/мин ТУ 16–525.709–87					
M8...M11	Двигатель АИР100L8 У3 У3, 1,5 кВт, 380 В, 50 Гц				4	
	IM1081,750 об/мин ТУ 16–97.БВИЕ 525222.001ТУ					
M12...M13	Исполнительный механизм МЭО 4/100				2	
RK1...RK4	Термопреобразователь сопротивления				4	
	ТСМУ–205–0...+180 С, L=160mm,					
	Взрывозащищенный, IP55, ОЖО.467.173ТУ					
SL1...SL2	Датчик уровня СУМ–1				2	
SQ1...SQ4	Концевой выключатель (в составе МЭО)				4	
YA1...YA4	Клапан жидких сред ВН1 С–1, =24 В, G=1				4	
	ТУ16–23.7.190–91					
	_ Щит управления _					
HL1...HL11	Арматура светосигнальная АЕ321221У, 220 В,				11	
	зеленый колпачок ТУ16–535.582–72					
K 21	Реле ОРТ–24DC/24DC/2				1	
KK1	Реле тепловое РТЛ–2053				1	
KK2	Реле тепловое РТЛ–1021				1	
KK3...KK5	Реле тепловое РТЛ–1010				3	
KK6...KK9	Реле тепловое РТЛ–1008				4	
KM1	Пускатель магнитный ПМЛ–310004Б, 50 Гц				1	
	220 В, ТУ16–664.001–83					
KM2,KM6	Пускатель магнитный ПМЛ–210004Б, 50 Гц				2	
	220 В, ТУ16–664.001–83					
KM3...KM5,	Пускатель магнитный ПМЛ–1100 04Б,50 Гц				8	
KM7...KM11	380 В, ТУ16–664.001–83					

Рисунок 51 – Перечень элементов (первый лист принципиальной электрической схемы)

56	57	58	59	60	61	62
Поз. обозначение	Наименование		Кол.	Примечание		
QF1	Выключатель ВА47-100-3P-D,400В,50Гц,63А ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003		1			
QF2	Выключатель ВА47-29-3P-D,400В,50Гц,32А ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003		1			
QF3	Выключатель ВА47-29-3P-D,400В,50Гц,16А ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003		1			
QF4...QF6	Выключатель ВА 47-29-3P-D,400В,50Гц,5А ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003		3			
QF7	Выключатель ВА47-29-3P-D,400В,50Гц,13А ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003		1			
QF8	Выключатель ВА47-29-3P-D,400В,50Гц,8А ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003		1			
QF9...QF12	Выключатель ВА47-29-3P-D,400В,50Гц,4А ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003		4			
QF14	Выключатель ВА47-29-2P-D,400В,50Гц,6А ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003		1			
SA1	Кнопка поворотная NEF30-Pcp, I-0-II (stable/stable/stable), синий, XX, XX		1			
SB1...SB9	Выключатель KE181Y3, исп. 4, синий ТУ16-642.015-84		9			
SB11...SB19	Выключатель KE181YXЛ3, исп. 5, красный ТУ16-642.015-84		9			
Щит автоматики						
A1	Базовый модуль S7-1200 CPU 1214		1			
A2	Сигнальный модуль SM 1231		1			
A3	Сигнальный модуль SM1222		1			
A4	Сигнальный модуль SM1234		1			
GV1	Источник стабилизированного питания CP-SNT 160W, 24VDC/6.5A		1			
K1...K16	Реле OPT-24DC/24DC/2		15			
SB21...SB23	Выключатель KE181Y3, исп. 4, синий ТУ16-642.015-84		4			
UZ1	Преобразователь частоты SJ100-055HFE		1			
UZ2	Преобразователь частоты SJ100-040HFE		1			

Рисунок 52 – Перечень элементов
(второй лист принципиальной электрической схемы)

112

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Документация				
024901915-АТХ		Таблица соединений	1	
Стандартные изделия				
1		Щит ШИМ-3Д-1-1000х600х500	1	
2		ВН-рейка	1,6	м
3		Игольчатый МР15 ТК3-246-90 ИХ/З1 ДС1 3613-90	2	
Прочие изделия				
4	A1	Базовый модуль Siemens S7-1200 CPU 1214	1	
5	A2	Сигнальный модуль SM 1231	1	
6	A3	Сигнальный модуль SM 1222	1	
7	A4	Сигнальный модуль SM 1234	1	
8	A5	Панель оператора	1	
9	GV1	Источник стабилизированного питания CP-SNT 160 W, 24VDC/6.5A	1	
10	K1...K16	Реле OPT-24DC/24DC/2	16	
024901915 - АТХ				
Описание составных частей системы				
Имя	Имя_дет.	Имя_парамет.	Дата	
Создан	Генератор	Дополнительные параметры	Страна	Пункт
Создан	Генератор	Имя_параметра	Страна	Пункт
Создан	Генератор	Имя_параметра	Страна	Пункт
Создан	Генератор	Имя_параметра	Страна	Пункт
024901915 - АТХ				
Имя_параметра				

Рисунок 53 – Перечень элементов щита автоматики

Вид на внутренние плоскости (развернуто)

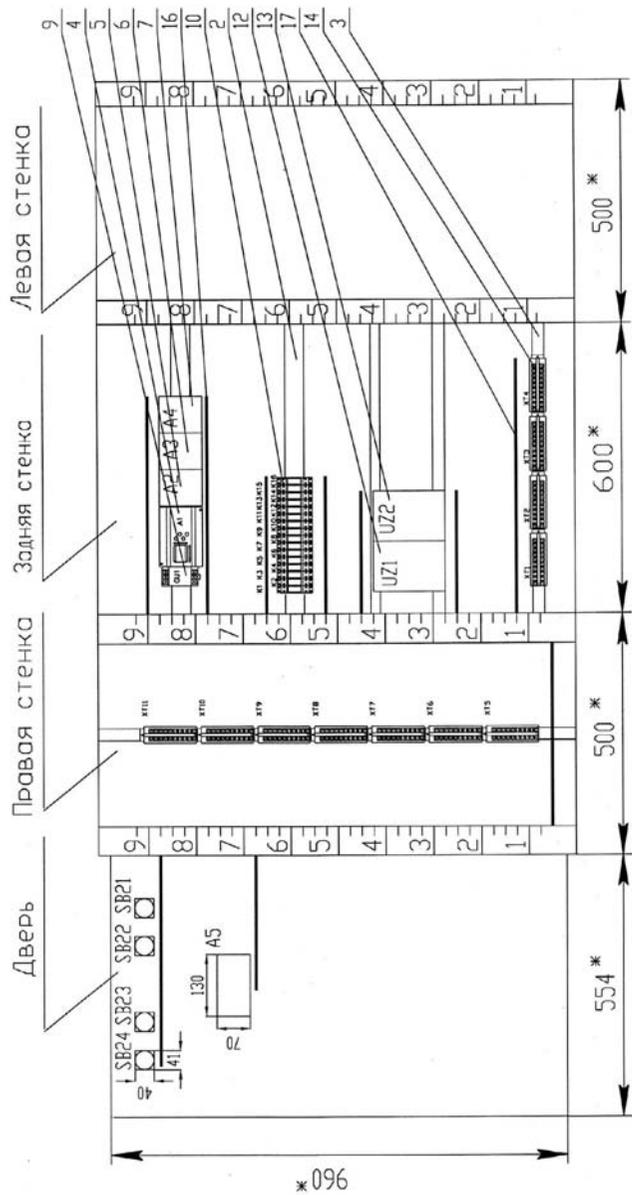
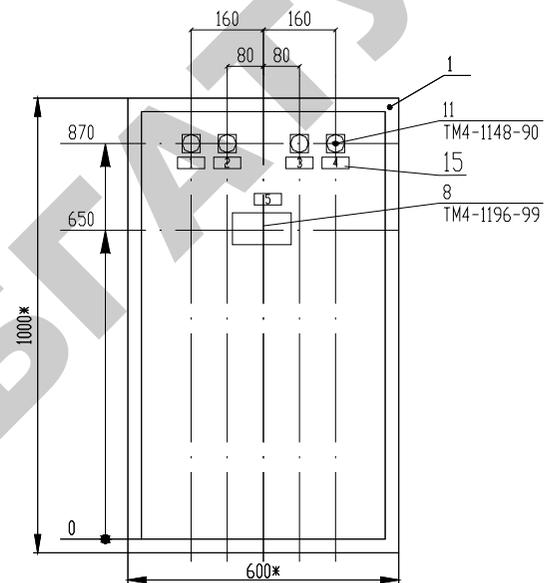


Рисунок 54 – Щит автоматики (вид на внутренние плоскости)



1. * Размеры для справок
2. Покрытие - вариант 2 ОСТ36.13-90

Рисунок 55 – Щит автоматики (вид спереди)

Надписи на табло и в рамках					
Номер надписи	Текст надписи	Кол.	Номер надписи	Текст надписи	Кол.
	Рамка РПМ 66x26				
1	Механизм на сзшку	1			
2	Механизм на выгрезку	1			
3	Клапан открыть	1			
4	Клапан закрыть	1			
5	Параметры регулирования	1			

Рисунок 56 – Фрагмент таблицы надписей на табло и в рамках

3 Разработка схем питающей и распределительной сети

3.1 Требования к системам питания систем автоматизации

Система питания систем автоматизации должна обеспечивать необходимую надежность (бесперебойность) питания, соответствующее качество электроэнергии (отклонения и колебания напряжения, несинусоидальность формы кривой, пульсация напряжения должны находиться в допустимом диапазоне), экономичность, удобство и безопасность обслуживания.

При разработке проектной документации систем питания рассматривают следующие вопросы:

- выбор и обоснование схем электропитания, рода тока, значения напряжения и мощности источника;
- расчет параметров сети и выбор аппаратуры управления и защиты цепей питания;
- выбор и расчет системы освещения щитов и устройств электропитания;
- выбор способа прокладки проводок;
- расчет сечений и выбор марок проводок.

Остановимся на этих вопросах более подробно.

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

В схемах электропитания выделяют два основных звена:

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

С учетом взаимного расположения щитов питания контрольно-измерительных приборов и автоматики (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 питания (рисунок 57) применяют, когда щиты питания размещаются в различных направлениях от источника питания и когда расстояние между щитами больше, чем от источника питания до щитов.

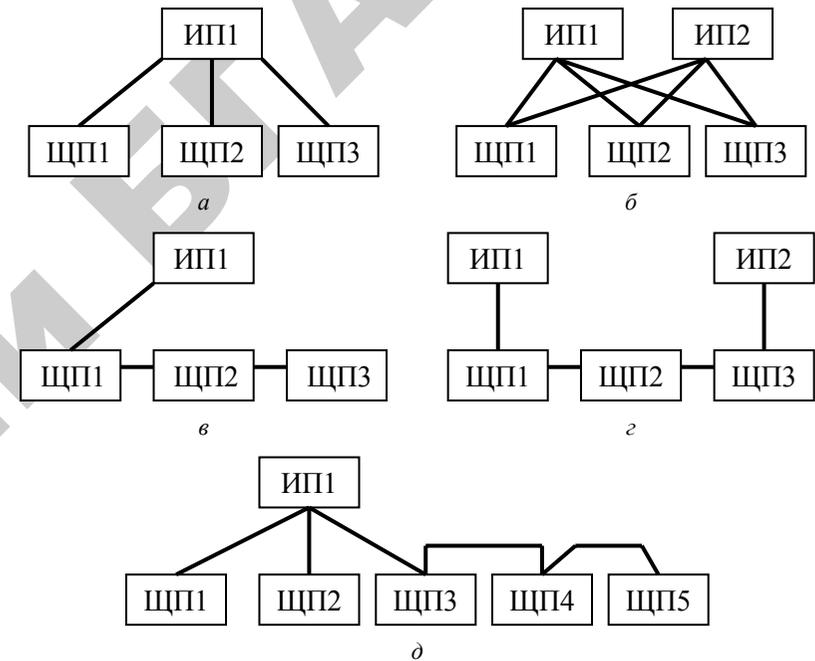


Рисунок 57 – Схемы питания: а – радиальная с односторонним питанием; б – радиальная с двухсторонним питанием; в – магистральная с односторонним питанием; г – магистральная с двухсторонним питанием; д – радиально-магистральная

Магистральные схемы питания применяют для питания группы щитов, если расстояние между щитами значительно меньше расстояния до источника питания. Схемы с **односторонним** питанием применяют только для щитов, допускающих перерывы в электропитании.

Как правило, распределительные сети строят по радиальному принципу.

Конфигурация питающей сети зависит от категории надежности электроснабжения 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 [33]:

- электроприемники категории 1 – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, расстройство сложного ТП, 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 которой должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого, взаимно резервирующего источника питания;

- 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;

- электроприемники категории 3 – все остальные электроприемники, не подпадающие 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 ч (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 осуществляется нормальная работа наиболее удаленных или наиболее чувствительных к отклонению напряжения электроприемников: КИП и регулирующих устройств – ±5 %, аппаратов управления, электродвигателей – 5–10 %, сигнальных ламп – 2,5–5 %

Расчет и выбор аппаратуры управления и защиты цепей питания рассмотрен в подпункте 2.2.2.4.

Сечения проводников выбирают в соответствии с выбранными аппаратами защиты и расчетными токами линии.

По условию нагревания проводника длительным расчетным током

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{k_{\text{п}}},$$

где $I_{\text{пр}}$ – ток проводника, А;

$k_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей [34, с. 21].

По условию соответствия сечения провода выбранному току срабатывания защитного аппарата

$$I_{\text{пр}} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_{\text{п}}},$$

где k_3 – кратность допустимого тока проводника по отношению к его номинальному току или току срабатывания защитного аппарата [34, п. 3.1.9 и п. 3.1.11];

I_3 – ток срабатывания защитного аппарата, А.

По расчетному току проводника в соответствии с таблицами 1.3.4–1.3.11 [34] подбирают сечение проводника. После этого проверяют, правильно ли выбраны провода и кабели по условиям механической прочности и по допустимой потере напряжения.

Принципиальная схема распределительной сети

Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (ввод): обозначение тип $I_{ном, А}$ расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети 1		Участок сети 2		Кабель, провод	Труба		Электроприемник							
		Пусковой аппарат: обозначение; тип $I_{ном, А}$ расцепитель или плавкая вставка, А; реле, А	Участок сети 2	Участок сети 1	Обозначение		Марка	Каб-во жил и сечение	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Р. уст. или Р. ном., кВт	Расч. или ном. ток, А	Наименование, тип, обозначение чертежа принципиальной схемы		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
25	33	5	33	5	17	13	25	13	25	13	16	12	12		35	
10	10															
15	35															
287																

Рисунок 59 – Форма принципиальной схемы распределительной сети

- в графе «Магистраль» (форма 2) указывают буквенно-цифровое обозначение магистрали, ее координаты по плану расположения электрооборудования (при необходимости), тип шинпровода и его номинальный ток (для магистралей нетипового изготовления – материал и сечение шин), 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 « $I_{расч}...$ » кроме указанных параметров (при необходимости) 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 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). Эти данные помещают в кабельном или кабельнотрубном журналах.

Примеры выполнения принципиальной схемы питающей и распределительной сетей приведены в учебно-методическом пособии [36].

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

В каждой ячейке графы «Аппарат отходящей линии (ввода)» должно быть четыре строки: обозначение (при отсутствии – прочерк); тип аппарата; номинальный ток аппарата $I_{ном, А}$; расцепитель или плавкая вставка аппарата, А.

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 $I_{ном, А}$; расцепитель

или плавкая вставка или уставка теплового реле, А. Если пусковой аппарат поставляется комплектно с технологическим оборудованием, то в графе указывают обозначение на плане, ставят знак «*» и делают ссылку 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 первая цифра – номер токоприемника на плане, затем буква *H* для силовых электропроводок и *K* – для цепей управления и сигнализации, далее порядковый номер трассы к электроприемнику, указанному на первом месте настоящего обозначения.

Графы 11–12 заполняют, если используется проводка в трубах.

В графах 13–16 указывают цифровое или буквенно-цифровое обозначение электроприемника 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 от аппарата отходящей линии до электроприемника 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.

3.3 Пример выполнения принципиальной схемы питающей и распределительной сети

Принципиальная схема распределительной сети строится по радиальному принципу (рисунок 60). По требованиям ГОСТ 21.613–2014 обозначаем трассы электропроводок распределительной сети буквенно-цифровыми обозначениями.

Принципиальная схема распределительной сети

Устройство	Аппарат отходящей линии (ввод): обозначение Тип, А; Групп, А; расчетный ток плавкая вставка, А	Участок сети 1	Пусковой аппарат: обозначение; тип, А; Групп, А; тип плавкой вставки, А; тип тепл. реле, А	Участок сети 2	Кабель, провод				Труба		Электроприемник			
					Обозначение	Марка	Кол-во жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	Обозначение	Ряд, Рок, кВт	Групп, А
	0F2 ВА47-29 630 30	1	КМ1 ПМЛ-3160М 40 30	1	1Н1 ABBГ 4x4	4x4	2	-	-	1	150	300 210	Электродвигатель вентилятора сшки	
														2
	0F3 ВА47-29 630 160	1	КМ2 ПМЛ-2160М 20 15	1	2Н1 ABBГ 4x25	4x25	2	-	-	2	2	22	44 308	Электродвигатель насосного агрегата
	0F4 ВА47-29 630 50	1	КМ3 ПМЛ-1160М 10 5	1	3Н1 ABBГ 4x25	4x25	2	-	-	2	2	22	44 308	Электродвигатель насосного агрегата
	0F5 ВА47-29 630 50	1	КМ4 ПМЛ-1160М 10 5	1	4Н1 ABBГ 4x25	4x25	2	-	-	2	2	22	44 308	Электродвигатель насосного агрегата
	0F6 ВА47-29 630 30	1	КМ5 ПМЛ-1160М 10 5	1	5Н1 ABBГ 4x25	4x25	2	-	-	2	2	22	44 308	Электродвигатель насосного агрегата

Электродвигатель выездного шнека	11.0 77.0	5.5	6	-	-	2	4x2.5	ABB [®]	6Н1	КМ6 ПМЛ-1160М 25	OF7 BA47-29 630 13.0
Электродвигатель выпускных устройств	7.5 52.5	3.7	7	-	-	33	4x2.5	ABB [®]	6Н2	КМ7 ПМЛ-1160М 10	OF8 BA47-29 630 8.0
Электродвигатель вентилятора точки теплогенератора 1	3.0 21.0	1.5	8	-	-	2	4x2.5	ABB [®]	8Н1	КМ8 ПМЛ-1160М 4	OF9 BA47-29 630 4.0
Электродвигатель насоса теплогенератора 1	3.0 21.0	1.5	9	-	-	2	4x2.5	ABB [®]	9Н1	КМ9 ПМЛ-1160М 4	OF10 BA47-29 630 4.0
Электродвигатель вентилятора точки теплогенератора 2	3.0 21.0	1.5	10	-	-	2	4x2.5	ABB [®]	10Н1	КМ10 ПМЛ-1160М 10	OF11 BA47-29 630 4.0
Электродвигатель насоса теплогенератора 2	3.0 21.0	1.5	11	-	-	2	4x2.5	ABB [®]	11Н1	КМ11 ПМЛ-1160М 4	OF12 BA47-29 630 4.0
Электродвигатель выездного шнека съемки	4.4 30.8	2.2	12	-	-	2	4x2.5	ABB [®]	12Н1	КМ12 ПМЛ-1160М 10	OF13 BA47-29 630 5.0
Электродвигатель заслонки зерна	1.5 10.5	0.75	13	-	-	2	4x2.5	ABB [®]	11Н2	КМ13 ПМЛ-1160М 10	OF14 BA47-29 630 2.0
Электродвигатель воздушной клансы	1.5 10.5	0.75	14	-	-	2	4x2.5	ABB [®]	12Н2	КМ14 ПМЛ-1160М 10	OF15 BA47-29 630 2.0

Рисунок 60 – Пример выполнения принципиальной схемы распределительной сети

Сушильный комплекс в отношении требований к надежности электроснабжения относится ко второй категории [33]. 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 61 предусмотрено два ввода и выбрано вводно-распределительное устройство ВРУ1-21-51УХЛ4.

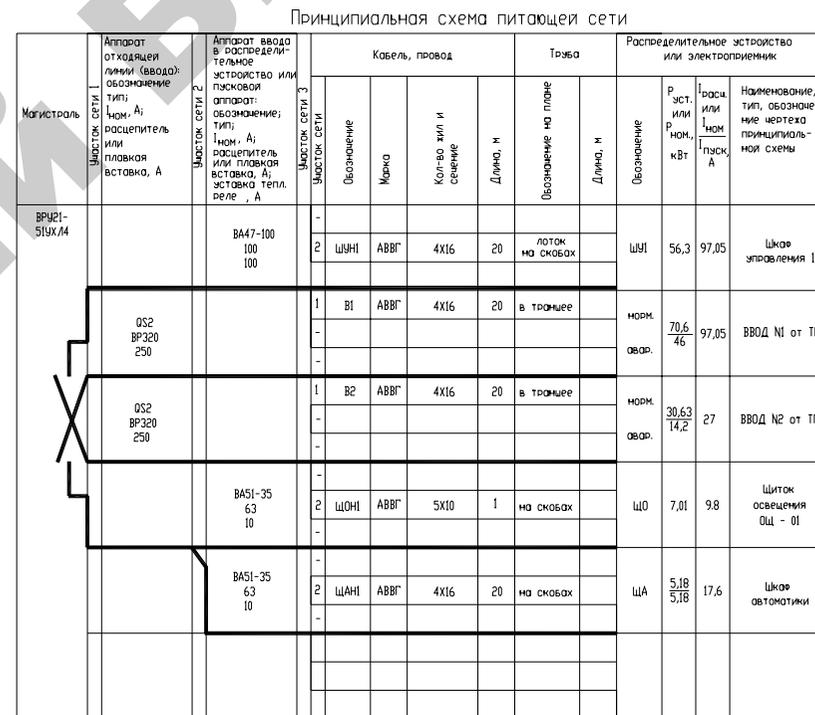


Рисунок 61 – Пример выполнения принципиальной схемы питающей сети

Аппаратуру управления и защиты выбираем в соответствии с положениями, изложенными в подпункте 2.2.2.4, а электропроводку и сечения проводов – в соответствии с выбранными аппаратами защиты и значениями расчетных токов линии.

4 Расчет надежности системы автоматического управления. Средства обеспечения надежности

4.1 Показатели надежности

В соответствии с ГОСТ 24.701–86 [71] 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 и заменяется на исправное (резистор, диод, кнопка, реле и т. п.). Под *устройством* (управления) подразумевают совокупность элементов, определенным образом связанных между собой и 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. Так, показателями надежности для элементов являются:

- интенсивность отказов $\lambda(t)$ – это вероятность отказа неремонтируемого изделия (элемента) в единицу времени после данного момента времени при условии, что отказ до этого момента не возник:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N(\Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (10)$$

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 (чем он меньше, тем формула точнее).

Значения интенсивности отказов для ряда элементов устройств управления приведены в практикуме [27, приложение 5];

- средняя наработка до отказа

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda(t)} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{cp_i}}{N}, \quad (11)$$

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

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

- вероятность безотказной работы $P(\tau)$ – это вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не возникнет отказа элемента:

$$P(\tau) = e^{-\int_0^{\tau} \lambda(t) dt}, \quad (12)$$

где τ – заданный интервал времени Δt .

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

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{cp}}}. \quad (13)$$

Показатель, противоположный вероятности безотказной работы, называется вероятностью отказа:

$$Q(\tau) = 1 - P(\tau). \quad (14)$$

Средняя наработка до отказа связана с вероятностью безотказной работы соотношением

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (15)$$

К числу показателей надежности элемента следует отнести его ресурс, а также срок службы и срок хранения. Эти показатели

будут характеризовать такие свойства надежности, как долговечность и сохраняемость.

Отказом 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 $T_{\text{доп}}$.

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

- вероятность восстановления за допустимое время восстановления

$$P_B(T_{\text{доп}}) = 1 - e^{-\frac{T_{\text{доп}}}{T_B}}, \quad (16)$$

где T_B – среднее время восстановления устройства;

- вероятность безотказной работы устройства управления

$$P_C(\tau) = P_{\text{б/в}}(\tau) + [1 - P_{\text{б/в}}(\tau)] \cdot P_B(T_{\text{доп}}), \quad (17)$$

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

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

- коэффициент готовности, характеризующий долю времени работы устройства по отношению ко времени работы и восстановления:

$$k_r = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + T_B}. \quad (18)$$

Таким образом, для восстанавливаемых устройств управления могут быть выбраны следующие показатели надежности:

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

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

4.2 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 учебно-методическом комплексе [37, с. 243–246]. Специальные методы обеспечения надежности приведены в учебно-методическом комплексе [37, с. 238–241].

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 предполагает примерно следующее:

- все элементы соединены в структурной схеме надежности последовательно;
- при разработке схемы специальные методы обеспечения надежности не используются;
- электрические нагрузки элементов номинальные;
- система работает при нормальных климатических и механических нагрузках;
- λ -характеристики элементов на протяжении всего рассматриваемого интервала времени постоянны, т. е. $\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$;
- время работы и число циклов срабатывания элементов одинаковые.

Расчетные формулы показателей надежности следующие:

- интенсивность отказов системы

$$\Lambda = \sum_{j=1}^k n_j \cdot \lambda_j, \quad (19)$$

где λ_j – интенсивность отказов j -го элемента;

n_j – число элементов j -го типа;

k – число элементов в схеме;

- вероятность безотказной работы системы

$$P(\tau) = e^{-\Lambda \cdot \tau}, \quad (20)$$

где τ – время работы системы;

- наработка до первого отказа

$$T_{cp} = \frac{1}{\Lambda}. \quad (21)$$

Порядок прикидочного расчета:

- подсчитывается интенсивность отказов для каждого типа элементов (n_j, λ_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.

4.3 Пример расчета надежности

Как было сказано в подразделе 4.2, сначала проводят прикидочный расчет надежности. Если его результаты неудовлетворительны, переходят к окончательному расчету надежности, нередко применяя специальные способы обеспечения надежности.

При прикидочном расчете надежности для определения вероятности безотказной работы (основного показателя надежности) необходимо знать расчетное время. Сушилка работает около двух месяцев в год (примерно 1440 часов). В течение этого срока оборудование должно проработать безотказно, после чего необходимо обеспечить его техническое обслуживание (в других случаях принимают, что надежность системы управления должна быть не ниже надежности оборудования).

Также для прикидочного расчета необходимо знать номенклатуру элементов и их интенсивность отказов [27, с. 178]. Сведем расчет в таблицу 11.

Таблица 11 – Таблица интенсивности отказов элементов САУ

Элемент схемы	Количество элементов n , шт.	Интенсивность отказов, λ_j , 10^{-6} , 1/ч	Общая интенсивность $\lambda = \lambda_j \cdot n$, 10^{-6} , 1/ч
Панель оператора	1	0,2	0,2
Контроллер	1	0,2	0,2
Сигнальный модуль	3	0,2	0,6
Датчик уровня	2	0,25	0,5
Датчик температуры	4	0,09	0,36
Влагомер	3	0,25	0,75
Источник питания	1	0,2	0,2
Выключатель автоматический	13	0,3	3,9
Пускатель магнитный	11	0,25	2,75
Реле промежуточное	16	0,25	4
Реле тепловые	9	1,2	10,8
Выключатель кнопочный	22	0,063	1,386
Переключатель	1	0,175	0,175
Арматура светосигнальная	11	0,5	5,5
Преобразователь частоты	2	1	2
Электродвигатель	11	5	55
Исполнительный механизм	2	9	18
Клапан	4	8	32
		Сумма Λ	138,32

Наработка до первого отказа системы (по формуле 21)

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{138 \cdot 10^{-6}} = 7246 \text{ ч.}$$

Вероятность безотказной работы (по формуле 20)

$$P(\tau) = e^{-\Lambda \cdot \tau} = e^{-138 \cdot 10^{-6} \cdot 1440} = 0,82.$$

Наиболее наглядным показателем является вероятность безотказной работы системы. По результатам вычислений, из 1000 элементов в течение 1440 ч проработают безотказно 820 и откажут 180. Значение вероятности безотказной работы (0,82) говорит о достаточно высокой надежности, поэтому специальных методов обеспечения надежности не требуется. Однако следует отметить, что наименее надежны из всех элементов системы исполнительные механизмы, клапаны и электродвигатели, поэтому для обеспечения более высокой надежности их необходимо резервировать.

5 Разработка средств автоматизации проектирования

Одним из важных свойств САПР является возможность ее настройки любым пользователем. Средства адаптации графического редактора (которым является AutoCAD) позволяют сделать работу с ним более удобной для конкретного пользователя, т. е. подстроить редактор под его потребности и вкусы. Есть возможность создать библиотеку типовых элементов чертежей, модифицировать меню или создать собственное, использовать средства создания пакетных файлов или встроенные языки программирования [38, с. 117–131]. Рассмотрим возможности средств адаптации графического редактора на конкретном примере.

Постановка задачи автоматизации проектирования (на примере отдельной операции)

Итак, поставлена задача автоматизировать формирование позиций на чертеже общего вида щита автоматики. Чертеж общего вида щита автоматики включает вид спереди и вид на внутренние плоскости

щита [37, с. 189]. И на одном, и на другом чертеже указывают позиции для аппаратуры согласно перечню элементов щита. Остановимся на последнем чертеже. Он формируется на базе шаблона, содержащего развертку щита, вписанную в лист формата А3 [37, с. 199]. Позиции проставляют на полке линии выноски. Выноски располагаются справа от развертки строго одна над другой. Поэтому необходимо программно запрашивать у пользователя аппарат или точку на аппарате (для которого следует проставить позицию), а разрабатываемая программа должна считать эту информацию и выстроить полки одну над другой с определенным шагом. Далее пользователь задает позицию, и она должна появиться над полкой-выноской.

Таким образом, программа должна:

- 1) запрашивать у пользователя точку на аппарате, для которого необходимо проставить позицию;
- 2) рассчитывать точку отрисовки линии выноски;
- 3) отрисовывать линии выноски;
- 4) запрашивать номера позиций;
- 5) отрисовывать позиции над полкой-выноской;
- 6) рассчитывать новые значения координат для отрисовки последующей полки.

Алгоритм автоматизации формирования позиций на виде на внутренних плоскости щита автоматики

Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 62. Следует заметить, что запросы к пользователю, расчеты и отрисовку необходимо организовать в виде цикла. Пользователь может выйти из организованного цикла посредством «пустого» ввода.

Выбор средств реализации алгоритма

Для реализации алгоритма формирования позиций на чертеже общего вида щита автоматики необходим графический редактор, который поддерживает программирование и настройку интерфейса. Этим требованиям отвечает AutoCAD, имеющий встроенный язык программирования AutoLisp и поддерживающий языки программирования высокого уровня (например, VBA), создание диалогов к пользователю и настройку интерфейса. Запросы к пользователю по указанию точки и позиции можно организовать через диалоговое окно (средства создания диалоговых окон рассмотрены в учебно-методическом комплексе [38, с. 128–131]) либо через

запрос в командной строке. Второе организовать несколько проще средствами языка AutoLisp. Все остальные действия также можно организовать функциями языка AutoLisp. Поэтому нет необходимости использовать VBA. Целесообразно вызывать программу через инструмент панели инструментов AutoCAD.

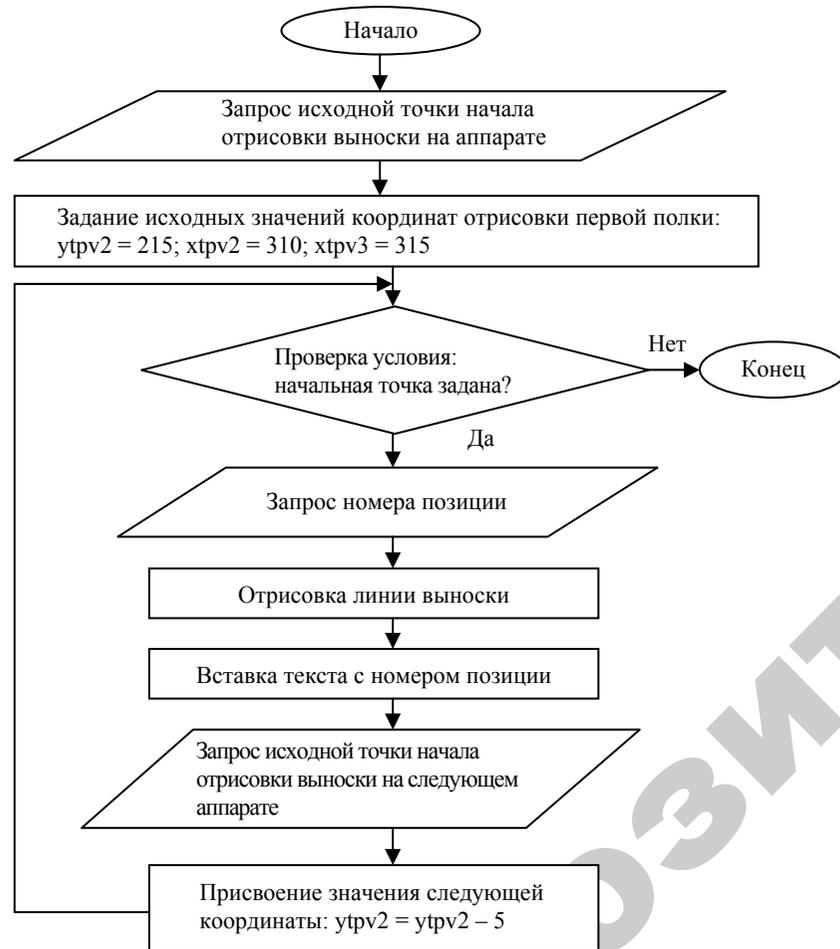


Рисунок 62 – Алгоритм формирования позиций на виде на внутренние плоскости щита автоматики

Разработка программы автоматизации

Для реализации алгоритма на языке программирования AutoLisp необходимо воспользоваться следующими функциями (приложение 7):

- *setq* – функция присвоения значений переменным;
- *getpoint* – функция запроса пользователю для ввода точки;
- *getstring* – функция ввода текстовой строки;
- *list* – функция организации списка из отдельных координат;
- *while* – функция организации цикла;
- *command* – функция работы с командами AutoCAD.

Остальные функции идентичны математическим операциям. Принципы разработки программы на AutoLisp приведены в учебно-методическом комплексе [38, с. 117–131]. Для более полного изучения средств программирования и адаптации в AutoCAD можно рекомендовать пособие [40]. Ниже приведен полный листинг программы. После «;» идет комментарий.

```

;установка исходных значений
(setq tpv1
(getpoint "\nУкажите точку на аппарате в качестве начала полки:"))
;запрос точки начала линии
utpv2 215 xtpv2 310 xtpv3 315)
;присвоение переменным значений исходных координат
(while (/= tpv1 nil)
;организация цикла
(setq tpv2 (list xtpv2 utpv2) tpv3 (list xtpv3 utpv2) tpt (list (+ xtpv2 1)
(+ utpv2 1))
;расчет координат отрисовки линии выноски
npos (getstring "\nВведите номер позиции:"))
;запрос номера позиции
(command "Line" tpv1 tpv2 tpv3 "")
;отрисовка линии выноски
(command "Text" tpt 3 0 npoz)
;отрисовка текста по рассчитанным координатам с номером
;позиции
(setq tpv1
(getpoint "\nУкажите точку на аппарате в качестве начала полки:")
utpv2 (- utpv2 5))
  
```

;присвоение нового значения координаты по оси у для отрисовки
;линии следующей полки
)
;конец цикла

Программа записана в файл `roz_app.lsp`. Загрузка программы осуществляется набором в командной строке AutoCAD: (`load "roz_app"`).

Оформление вызова программы

Для того чтобы пользователь мог легко воспользоваться программой, создадим инструмент , который будет ее вызывать. Можно воспользоваться командой настройки меню *CUI* или щелкнуть ПК мыши в произвольном месте любой панели инструментов и в открывшемся контекстном меню выбрать пункт *Customize...* (*Настроить...*). При этом откроется диалоговое окно настройки (рисунок 63).

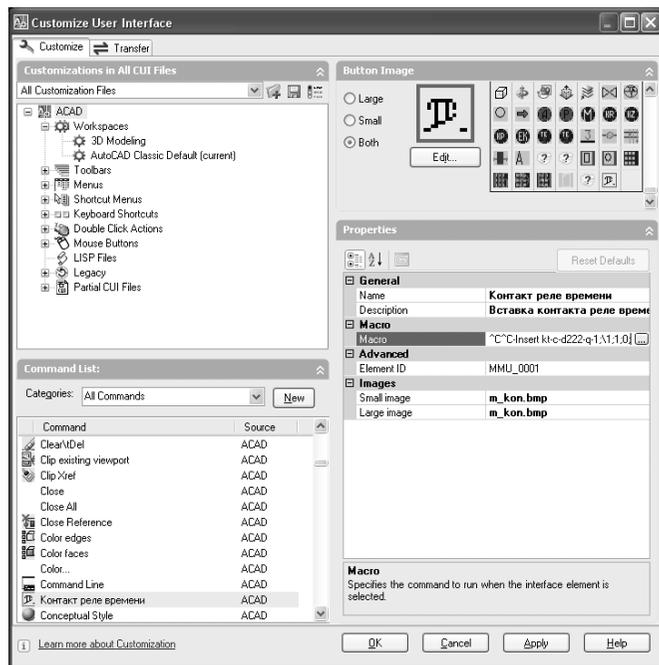


Рисунок 63 – Диалоговое окно настройки интерфейса редактора

Создать новый инструмент можно, используя клавишу *New...* (*Новый*). При этом в правой части диалогового окна станет доступной область свойств инструмента *Properties*. В полях области необходимо задать:

- имя инструмента (поле *Name*);
- описание (поле *Description*), которое будет высвечиваться в строке состояния при указании курсором на инструмент;
- команду и ее опции (поле *Macro*), которые будут выполняться при нажатии на кнопку. Т. к. команда предназначена для вызова Lisp-программы, она должна содержать функцию (`load "roz_app"`), где `roz_app` – имя файла программы;
- изображение для инструмента, выбрав его из списка в правой верхней части диалогового окна либо создав новое. Выбранное в списке можно отредактировать во встроенном редакторе, воспользовавшись клавишей *Edit...* (*Изменить...*).

Остается перетащить созданный инструмент на существующую панель инструментов или на вновь созданную. В первом случае необходимо открыть требуемую панель, пройдя по вложенности в левой верхней части диалогового окна, и перетащить туда инструмент из правой нижней части. Для создания новой панели можно воспользоваться контекстным меню (пункт *New* → *Toolbar*). Далее остается нажать на кнопки *Apply* (*Применить*) и *Close* (*Заккрыть*).

Если все сделано правильно, при нажатии на инструмент будет вызвана программа `roz_app.lsp`. Результат работы с программой можно увидеть на рисунке 54.

6 Заключительные шаги при работе над курсовым проектом

Завершая работу над проектом, продумывают, что даст разработанный вариант автоматизации с экономической точки зрения, и излагают основные выводы в заключении. Для рассматриваемого примера заключение может быть примерно следующим.

При анализе требований к процессу сушки зерновых выявлено, что система автоматизации должна обеспечить на выходе кондиционную влажность зерновых и не допустить перегрева. Допустимая температура нагрева зерновых зависит от их типа и вида.

В качестве устройства управления используется контроллер Siemens S7-1200. На контроллер поступают сигналы с датчиков уровня, температуры и влажности, и он управляет исполнительными устройствами. Сначала сушилка работает в режиме разогрева. После достижения кондиционной влажности на выходе исполнительный механизм заслонки переключается на выгрузку сухого зерна и сушилка работает в основном режиме. Отличительной особенностью предложенного варианта является наличие контура рекуперации, благодаря которому обеспечивается повторное использование теплоносителя, если его влажность не велика. По окончании процесса сушки осуществляется останов теплогенератора и выгрузка из сушилки всего зерна. Все важные технологические параметры выводятся на экран панели оператора, подключаемой к контроллеру.

Также предусмотрен контур регулирования скорости вращения электродвигателей выпускных устройств и выгрузного шнека. Проведенное моделирование работы контура показало приемлемое качество регулирования при параметрах: $Kd = 49,3$; $Ki = 0,0024$; $Kp = 0,76$. Время запаздывания 60 с, время регулирования 280 с, перерегулирование 7 %, статическая ошибка равна нулю.

Вероятность безотказной работы системы равна 0,82, что свидетельствует о достаточной надежности.

Предложенная система автоматического управления позволит снизить текущие издержки и уменьшить расход электроэнергии за счет использования контура рекуперации, но будут увеличены капитальные затраты, связанные с приобретением технических средств автоматизации.

Заключение

В пособии рассмотрен вариант проектирования системы автоматического управления процессом сушки зерновых. Основное техническое решение раскрыто в документации проекта автоматизации. При выполнении проекта автоматизации следует:

- досконально изучить технологический процесс;
- определить возможные пути автоматизации управления;
- проработать возможные варианты использования новейших разработок в области автоматизации и проверить их на предмет внедрения в конкретный технологический процесс;
- разработать алгоритм управления и реализовать его 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 доскональности проработки этих вопросов зависит качество проекта автоматизации в целом.

Список использованных источников

1. Об утверждении Программы развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 05.07.2012 г., № 622 // Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – URL: <http://pravo.newsby.org/belarus/postanovsm1/sovm263/index.htm>. – Дата обращения: 20.10.2017.
2. Гурин, В. В. Общие требования к организации проектирования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ) : учеб.-метод. пособие / В. В. Гурин, Е. С. Якубовская, И. П. Матвеевко [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2014. – 144 с.
3. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : БГАТУ, 2007. – 592 с.
4. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск : Новое знание ; М.: ИНФРА-М, 2015. – 376 с.
5. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов. – М. : Агропромиздат, 1986. – 386 с.
6. Механизация животноводства : учебник для сельскохозяйственных вузов / под ред. В. К. Гриба. – Минск : Ураджай, 1997. – 640 с.
7. ГОСТ 9353–90. Пшеница. Требования при заготовке и поставке. – Взамен ГОСТ 9363–85 ; введ. 1991-01-07. – М. : Стандартиформ, 2010. – 10 с.
8. ГОСТ 28672–90. Ячмень. Требования при заготовке и поставке. – Введ. 1991-01-07. – М. : Стандартиформ, 2010. – 8 с.
9. Шаршунов, В. А. Сушка и хранение зерна : справочное пособие / В. А. Шаршунов, Л. В. Рукшан. – Минск : Мисанта, 2010. – 587 с.
10. Шило, И. Н. Современное оборудование и машины для послеуборочной обработки зерна : справочник / И. Н. Шило, Е. И. Михайловский. – Минск : БГАТУ, 2011. – 508 с.
11. Энергосбережение в технологиях послеуборочной обработки зерна и семян [Электронный ресурс] / Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – URL: <http://belagromech.by/news/e3d996b0d2c6fd66.html>. – Дата обращения: 06.05.2016.

12. Малин, Н. И. Энергосберегающая сушка зерна : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 2701100 «Технология хранения и переработки зерна», «Производство продуктов питания из растительного сырья» / Н. И. Малин. – М. : КолосС, 2004. – 240 с.
13. ГОСТ 34.003–90. Информационная технология. Комплекс стандартов по автоматизированным системам. Автоматизированные системы. Термины и определения. – Введ. 01.01.1992. – М. : Стандартиформ, 1989. – 14 с.
14. ГОСТ 14691–69. Устройства исполнительные для систем автоматического регулирования. Термины. – Введ. 01.01.1970. – М. : Стандартиформ, 1969. – 12 с.
15. Якубовская, Е. С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пособие / Е. С. Якубовская, С. Н. Фурсенко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 312 с.
16. α универсальный контроллер: руководство пользователя. – MITSUBISHI, 2000. – 33 с.
17. IEC 61131-3 [Электронный ресурс] / Википедия. – URL: https://ru.m.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3. – Дата обращения: 12.04.2015.
18. Дубровский, В. А. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования : в 2 ч. / В. А. Дубровский [и др.]. – Киев : Навукова думка, 1981. – 940 с.
19. Автоматика на сельскохозяйственных предприятиях : справочник. – М. : Россельхозиздат, 1978. – 272 с.
20. САУ-МП. Логический контроллер. Паспорт и руководство по эксплуатации. – М. : ОВЕН, 2009. – 100 с.
21. Программируемый контроллер MELSEC FX: руководство пользователя. – MITSUBISHI, 2008. – 101 с.
22. SIEMENS. Программируемые контроллеры S7-1200. – SIEMENS, 2013. – 876 с.
23. Элементы и устройства сельскохозяйственной автоматики : справочное пособие / Н. И. Бохан, Ю. В. Дробышев, В. К. Бензарь [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Ураджай, 1989. – 238 с.

24. Нестеров, А. Л. Проектирование АСУТП : методическое пособие. В 2 кн. Кн. 2. – СПб. : Издательство ДЕАН, 2009. – 944 с.
25. ТКП 45-4.04-149–2009. Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования. – Введ. 01.01.2010. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 74 с.
26. Сигнализатор СУМ-1 [Электронный ресурс]. – URL: <http://sum-1.ru>. – Дата обращения: 12.04.2015.
27. Проектирование и САПР систем автоматизации : практикум / сост. Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2008. – 204 с.
28. Якубовская Е. С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства : практикум для студ. вузов, обуч. по спец. 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сел. хоз-ва (по напр.) и 1-53 01 01-09 Автоматизация технологич. процессов и произ-в (сел. хоз-во) / Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова ; Минсельхозпрод РБ, БГАТУ. – Минск : БГАТУ, 2008. – 320 с.
29. Сидоренко, Ю. А. Теория автоматического управления: учеб. пособие / Ю. А. Сидоренко. – Минск : БГАТУ, 2007. – 124 с.
30. Дьяконов, В. П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6® в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с. – (Библиотека профессионала).
31. SIEMENS. SIMATIC. S7. Программируемый контроллер. S7-1200. Системное руководство. – SIEMENS, 2009. – 398 с.
32. Преобразователи частоты Hitachi: инструкция по эксплуатации. – ВЭМЗ-Спектр, 1999. – 81 с.
33. ТКП 385–2012 (02230). Нормы проектирования электрических сетей внешнего электроснабжения напряжением 0,4–10 кВ сельскохозяйственного назначения. – Введ. 19.04.2012. – Минск : Минскэнерго, 2009. – 102 с.
34. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. – М. : Главгосэнергонадзор России, 1998. – 607 с.
35. ГОСТ 21.613–2014. СПДС. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования. – Взамен ГОСТ 21.613–88 ; введ. 20.10.2014. – М. : Стандартиформ, 2015. – 25 с.
36. Проектирование электроустановок : учеб.-метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию / сост. Е. И. Лицкевич, П. В. Кардашов. – Минск : БГАТУ, 2008. – 54 с.
37. Якубовская, Е. С. Проектирование и САПР систем автоматизации : учеб.-метод. комплекс. В 2 ч. Ч. 2 / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2012. – 280 с.
38. Якубовская, Е. С. Проектирование и САПР систем автоматизации : учеб.-метод. комплекс. В 2 ч. Ч. 1 / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2010. – 232 с.
39. Клюев, А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов : справочное пособие / А. С. Клюев [и др.] ; под ред. А. С. Клюева. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
40. Полещук, Н. Н. Visual LISP и секреты адаптации AutoCAD. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 576 с.
41. Рысс, А. А. Автоматическое управление температурным режимом в теплицах / А. А. Рысс, Л. И. Гурвич. – М. : Агропромиздат, 1986. – 127 с.
42. Агромилк. Современные заменители цельного молока и заменители обезжиренного молока белорусского производства по европейским технологиям. – URL: <http://www.agromilk.by>. – Дата обращения: 06.05.2015.
43. 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.
44. Агротехимпорт: оборудование для ферм КРС [Электронный ресурс]. – URL: www.agrotehimport.ru. – Дата обращения: 01.09.2014.
45. Дональд, Джеймс О. Технология микроклимата бройлерного птичника. – М. : Издательство Arbor Acres, 2012. – 48 с.
46. Робот для смешивания и раздачи кормов [Электронный ресурс]. – URL: http://www.yasnogorfarms.ru/catalog/kormlenie/lely_vector_robotic_feeding. – Дата обращения: 01.09.2015.
47. ГОСТ 21.408–2013. СПДС. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – Взамен ГОСТ 21.408–93 ; введ. 2016-03-01. – Минск : Госстандарт, 2013. – 37 с.

48. 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, 2013. – 27 с.

49. 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.

50. 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.

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

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

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

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

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

56. 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.

57. 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.

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

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

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

61. 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.

62. ГОСТ 2.784–96. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы трубопроводов. – Введ. 01.01.1998. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.

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

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

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

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

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

68. ГОСТ 2.710–81. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – Взамен ГОСТ 2.701–75 ; введ. 1981-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 14 с.

69. ТР 2007/003/ВУ. Технический регламент Республики Беларусь. Единицы измерений, допущенных к применению на территории Республики Беларусь. – Введ. 01.01.2010. – Минск : Госстандарт, 2007. – 31 с.

70. ГОСТ 24.701–86. ЕСКД. Надежность автоматизированных систем управления. – Введ. 01.07.1987. – М. : Стандартинформ, 2009. – 11 с.

Приложение А
(рекомендуемое)

Примерные варианты заданий к курсовому проектированию

1 Проектирование САУ процессом сушки зерновых 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 А.1 [10, с. 110].

Таблица А.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	KTIG 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 в 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:			
- высыпной шнек	S618	1	–
	NORD SK42	1	5,5
Теплогенератор:			
- вентиляторы	PGA-1800	1	–
		8	5,5
Машина предварительной очистки	КОМ-60	1	5,5
Установка зерноочистки:			
- машина предварительной и первичной очистки;	CSA-50	2	–
	–	1	3,7
- опорная конструкция зерноочистки	С-ОКЗ 10	1	–

ПРИЛОЖЕНИЯ

Зерно, поступающее от зерноуборочных комбайнов с поля, загружается в приемный бункер (рисунок А.1) непосредственно транспортным средством с боковой либо задней выгрузкой. Редлеры приемного ковша *R1* и наклонного транспортера *Rn* подают зерно в норию *PK1*, с помощью которой зерно попадает в машину предварительной очистки *КОМ-60* и далее в машины первичной очистки *CSA-50*, где происходит удаление сорных примесей. Примеси направляются в бункеры для отходов, расположенные под машинами очистки. Затем зерно поступает в норию загрузки *PK2* и заполняет сушилку *S618* до тех пор, пока не сработает датчик верхнего уровня в надсушильной секции. После этого включается топочный агрегат, в котором при сжигании топлива 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, откуда выбрасываются в атмосферу. Нижние секции сушилки выполняют функцию охлаждения зерна атмосферным воздухом с помощью вентиляторов, установленных непосредственно в шахте сушилки. Регулирование расхода воздуха, подаваемого в камеры сушки и охлаждения зерна, осуществляется посредством дефлекторных заслонок.

На начальной стадии сушки зерна сушилка работает в циклическом режиме, выпуская зерно из сушилки и возвращая его в надсушильную секцию до того момента, пока зерно не достигнет кондиционной влажности. После этого зерно может направляться редлером *P3* в норию выгрузки *PK3* и далее в силос на хранение либо на загрузку в автотранспорт.

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

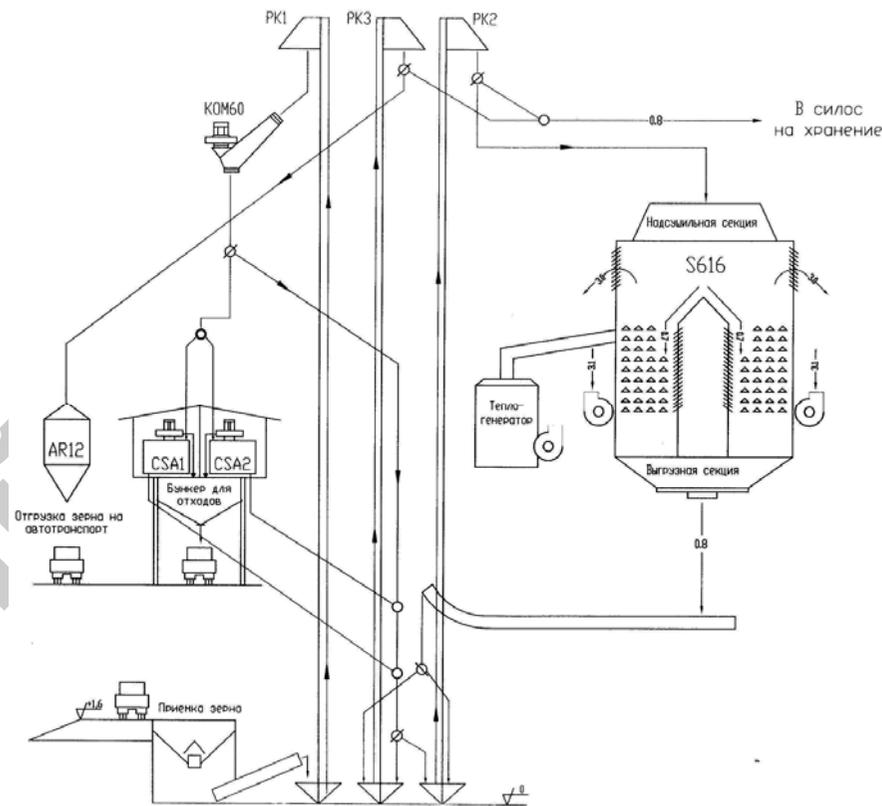


Рисунок А.1 – Технологическая линия сушки зерновых

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

В качестве операции автоматизации проектирования – компоновка аппаратуры на двери щита шкафового малогабаритного ЩШМ. При автоматизации компоновки должен быть обеспечен

запрос аппаратного состава, автоматически рассчитана монтажная зона, занимаемая аппаратами, выданы рекомендации по типоразмеру щита, после выбора из предложенных типоразмеров предложен примерный вариант компоновки аппаратуры в пределах монтажной зоны двери.

2 Проектирование САУ системой вентиляции силоса АР при длительном хранении зерна

Силос состоит из двух основных элементов – крыши и цилиндра (рисунок А.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.

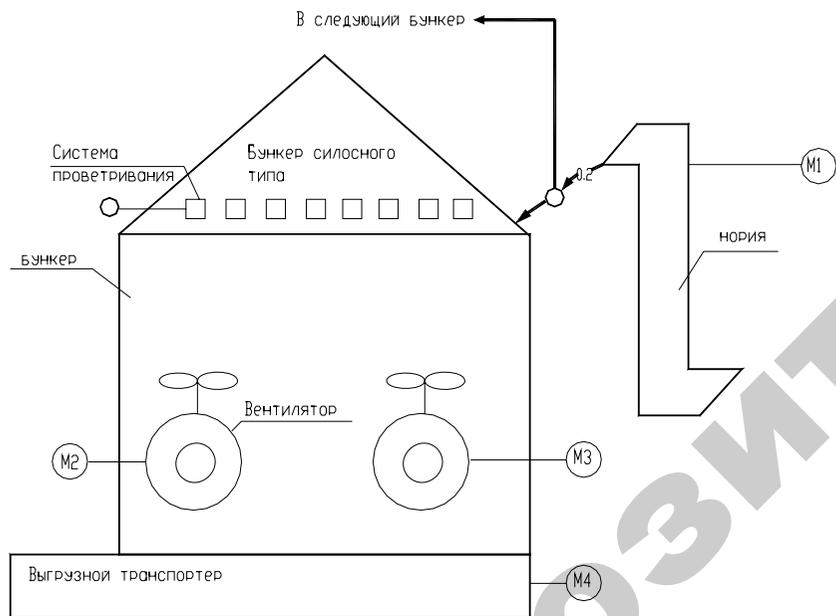


Рисунок А.2 – Состав силоса АР на КЗСВ-30

В состав силоса также входят: ковшовая нория, транспортер выгрузки, система вентиляции и система контроля температуры зерна

в силосе. Система вентиляции представлена двумя вентиляторами и системой крышных проветривателей [9, с. 327].

САУ должна обеспечить: нормальный режим хранения без самосогревания, аварийную сигнализацию в случае нарушения режима хранения. Также необходимо предусмотреть визуализацию процесса хранения.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = 2,2$ кВт; $P_{н2} = P_{н3} = 5,5$ кВт; $P_{н4} = 3$ кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – компоновка аппаратуры внутри щита шкафного малогабаритного ЩШМ. При автоматизации компоновки должен быть обеспечен запрос аппаратного состава (автоматические выключатели, магнитные пускатели, контроллер, промежуточные реле) и сформированы ряды с аппаратурой внутри щита в пределах его монтажной зоны.

3 Проектирование САУ пароводогрейной котельной установкой

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

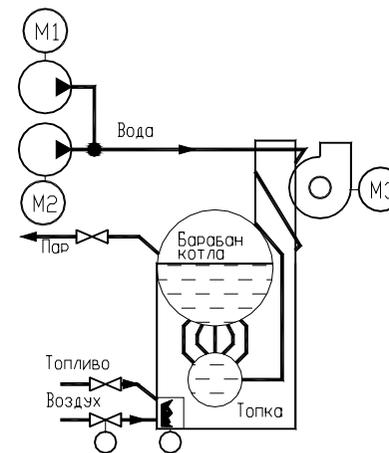


Рисунок А.3 – Оборудование пароводогрейного котла

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, предварительно очищенная от накипеобразующих примесей и растворенного в ней воздуха, нагревается в водяном экономайзере и 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 для доведения температуры пара до заданного значения.

Пуск котла осуществляется переключателем при нормальных показаниях параметров: уровня воды в барабане котла, давления воздуха, пара, разрежения в топке. При этом подается сигнал на открытие клапанов запальников и включение запального устройства. Когда загорается пламя в топке (о чем сигнализирует датчик наличия пламени), требуется вручную открыть подачу газа, которая удерживается электромагнитным клапаном-отсекателем. После этого с выдержкой времени отключаются клапаны запальников и запальное устройство. Если по каким-то причинам в течение определенного времени пламя не появилось, следует автоматически включить аварийную сигнализацию и обесточить устройства зажигания.

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

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

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = P_{н2} = 3 \text{ кВт}$; $P_{н3} = 1,5 \text{ кВт}$.

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение строк в таблице надписей на табло и в рамках, входящей в документацию на щит автоматики. Программа заполнения строк должна в диалоговом режиме запрашивать точку начала строки и текст по графам таблицы, после чего заполнять текстом строку таблицы.

4 Проектирование САУ водогрейной котельной установки

При работе котла (рисунок А.4) в водогрейном режиме основной регулируемый параметр – температура воды на выходе [41, с. 122]. Она поддерживается за счет изменения интенсивности процесса горения. Однако при изменении подачи топлива должна меняться и подача воздуха в топку, а также должно поддерживаться разрежение в топке за счет включения дымососа.

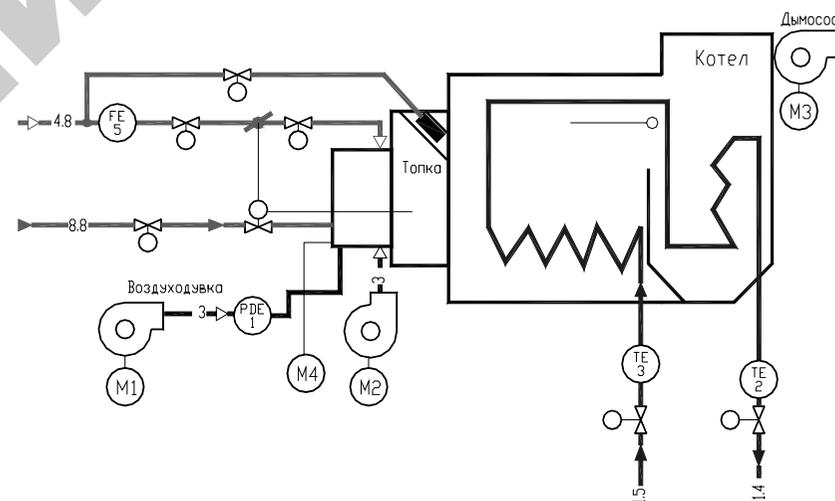


Рисунок А.4 – Оборудование водогрейного котла

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

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = P_{н2} = 1,1$ кВт; $P_{н3} = 1,5$ кВт; $P_{н4} = 0,7$ кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение строк раздела «Стандартные изделия» в перечне элементов щита автоматики. Программа заполнения строк должна в диалоговом режиме запрашивать точку начала строки и текст по графам перечня, после чего заполнять текстом строку перечня.

5 Проектирование САУ универсальным инкубатором

Универсальный инкубатор (рисунок А.5) представляет собой климатический шкаф размерами 5280×2730×2230 мм с теплоизоляционными стенками, выполненными из рамы (сухое дерево, ель толщиной 70 мм), облицованной снаружи листовой пластмассой, а изнутри – оцинкованным железом, между которыми помещен пенопласт. Рама имеет два вентиляционных отверстия (приточное – на задней стенке и вытяжное – в потолке передней части с регулирующей заслонкой диаметром 100 мм) [4, с. 298].

Шкаф оборудован вентилятором, обеспечивающим равномерное перемешивание воздуха и однородность 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. Чтобы увлажнить и одновременно охладить воздух, на лопасти вентилятора разбрызгивают воду.

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

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

Требования к САУ: обеспечить в инкубационном шкафу требуемый температурно-влажностный режим, 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.

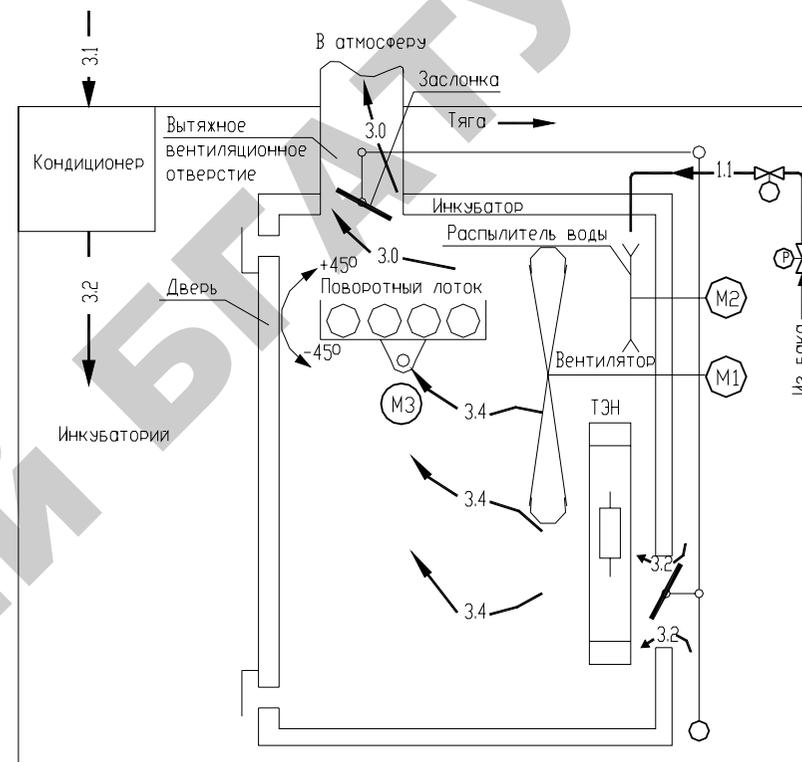


Рисунок А.5 – Оборудование универсального инкубатора

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение строк раздела «Документация» в перечне элементов щита автоматики. Программа заполнения строк должна в диалоговом режиме запрашивать точку начала строки и текст по графам перечня, после чего заполнять текстом строку перечня.

6 Проектирование САУ холодильной машины с поршневым компрессором

Холодопроизводительность регулируется включением и отключением ЭД компрессора (рисунок А.6). При повышении температуры в камерах соленоидные вентили 1 и 2 открываются, при понижении

закрываются. Соленоидный клапан 3 служит для предотвращения перетекания жидкого хладагента из конденсатора в испаритель, поэтому 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 параметры на линии всасывания превышают предельно допустимые значения и когда перепад давлений в маслосистеме становится меньше допустимого (для контроля требуется автоматическая сигнализация). Однако в течение первых 50 с после пуска компрессора данная защита должна быть отключена. Уровень заполнения холодильных систем испарителя поддерживается по перепаду температур в точках *a* и *б* терморегулирующим вентилем 4.

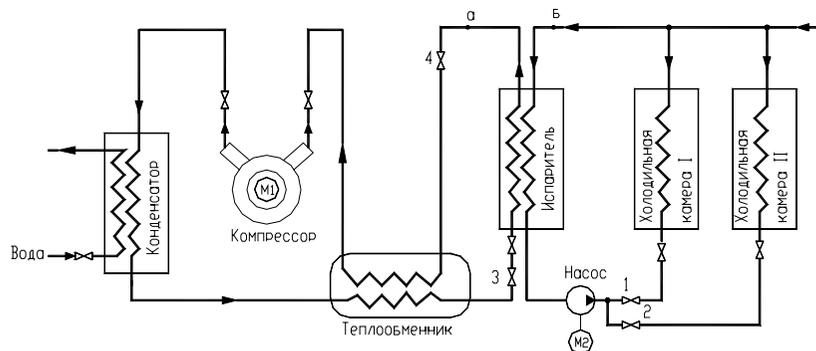


Рисунок А.6 – Технологическая схема холодильной машины

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

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

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение строк раздела «Прочие» в перечне элементов щита автоматики. Программа заполнения строк должна в диалоговом режиме запрашивать точку начала строки и текст по графам перечня, после чего заполнять текст строку перечня.

7 Проектирование САУ режимами хранения в картофелехранилище насыпного типа

Различают лечебный период, период охлаждения и основной период хранения картофеля [4, с. 272]. В лечебный необходимо поддерживать температуру около 15°C при включенном основном вентиляторе и закрытом клапане (рисунок А.7). В период охлаждения необходимо обеспечить постепенное снижение температуры до $2...4^{\circ}\text{C}$ за счет продувания наружным воздухом, когда его температура ниже, чем температура внутри картофелехранилища.

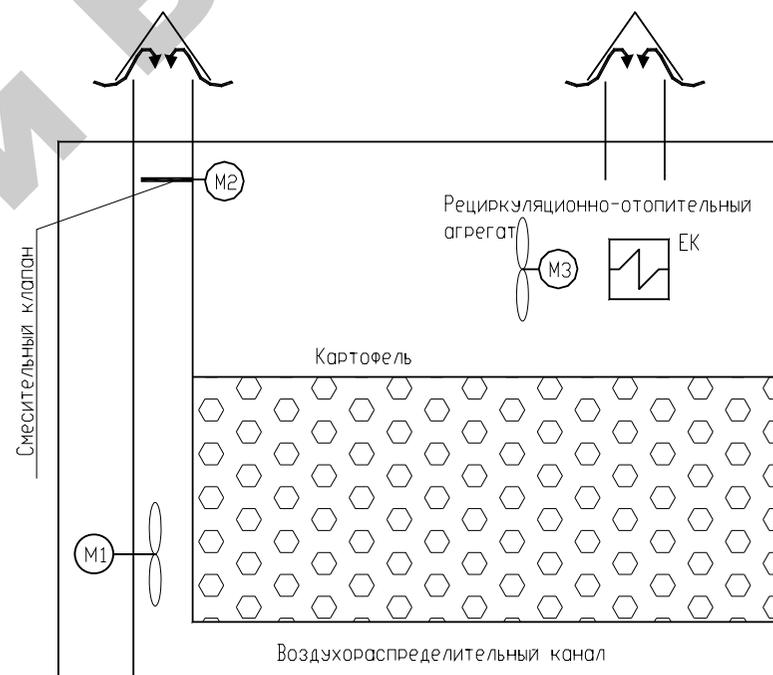


Рисунок А.7 – Технологическая схема картофелехранилища

В основной период хранения приточный вентилятор *М1* включается 4 раза в сутки для снятия перепадов температуры в массе продукта. При этом сигнал на включение *М1* должен подаваться, если

температура наружного воздуха меньше температуры в массе продукта на 2...3°C. Если температура в массе за временной цикл работы *MI* не снижается, то *MI* продолжает работать. Однако 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 *MI* клапан должен закрываться. Когда температура в верхней части хранилища над продуктом оказывается ниже заданной, должен включаться рециркуляционно-отопительный агрегат, но при отключенном приточном вентиляторе.

САУ должна обеспечить необходимые режимы хранения. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = 15$ кВт; $P_{н2} = 1,1$ кВт; $P_{н3} = 2,2$ кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение строк раздела «Материалы» в перечне элементов щита автоматики. Программа заполнения строк должна в диалоговом режиме запрашивать точку начала строки и текст по графам перечня, после чего заполнять текст строку перечня.

8 Проектирование САУ температурным режимом в ангарной теплице

Управление температурой воздуха в теплице [4, с. 265] осуществляется при помощи водяных калориферов КВ1 и КВ2, коньковой и боковой систем форточек (рисунок А.8). Греющая вода подается из котельной в теплицу через клапан отопления КО. Открытие и закрытие верхней и боковой форточек вентиляции осуществляются при помощи исполнительных механизмов верхних (левой МВЛ и правой МВП), а также боковых (левой МБЛ и правой МБП) систем вентиляции. При отклонении температуры от заданной на -6 °С включается аварийная сигнализация, на -1 °С – «шагами» открывается клапан отопления, на +2 °С – открывается правая верхняя форточка, на +3 °С – левая верхняя, на +4 °С – правая боковая, на +5 °С – левая боковая, на +6 °С –

включается аварийная сигнализация. Подмешивающий насос работает, пока открыт клапан КО. Положение фрагм ограничивается конечными выключателями. На заданное значение температуры влияет также величина освещенности.

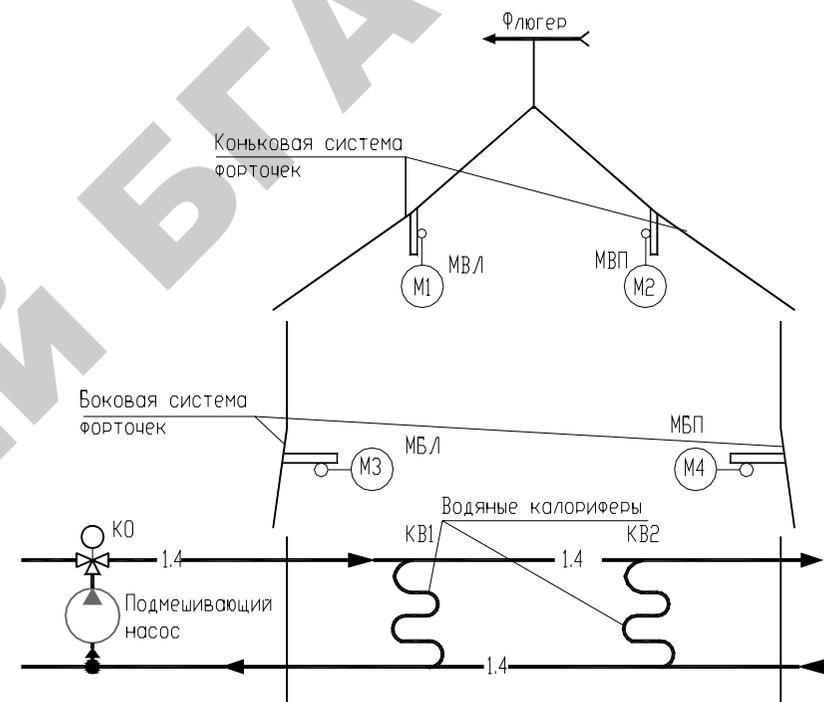


Рисунок А.8 – Технологическая схема ангарной теплицы

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = P_{н2} = P_{н3} = P_{н4} = 1,1$ кВт, электродвигателя насоса – 7,5 кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка контура проводки к электродвигателю на схеме соединений внешних проводок. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки контура и все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат и сечения проводника, подобран кабель и отрисован контур проводки.

9 Проектирование САУ поливом в блоке ангарных теплиц

Полив дождеванием получил наибольшее распространение в теплицах промышленного типа [4, с. 267].

Система полива дождеванием (рисунок А.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.

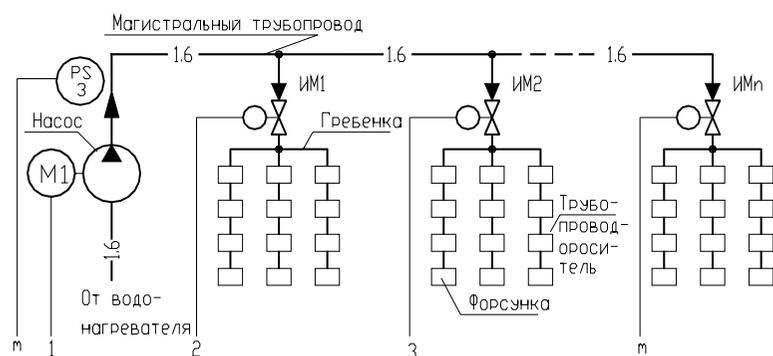


Рисунок А.9 – Система полива дождеванием

В теплицах не поливают одновременно всю площадь. Сеть трубопроводов позволяет производить полив последовательно по группам секций. Это дает возможность рационально использовать источник водоснабжения и не задействовать мощные насосы. Применяется многократный полив, что способствует рациональному распределению поливной нормы, увлажнению почвы без потерь поливной воды и меньшему уплотнению грунта.

САУ должна обеспечить 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.

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка контура проводки на схеме распределительной сети. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки контура и все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат, а также рассчитаны значения длительного и кратковременного тока в линии, подобрана аппаратура и кабель, отрисован контур проводки.

10 Проектирование САУ приготовлением раствора минеральных удобрений

Концентрированный раствор минеральных удобрений готовят в специальном растворяющем баке Б1 с мешалками [4, с. 269], откуда повысительными насосами М2 и М3 подают раствор через регулирующийся клапан в поливную воду (рисунок А.10).

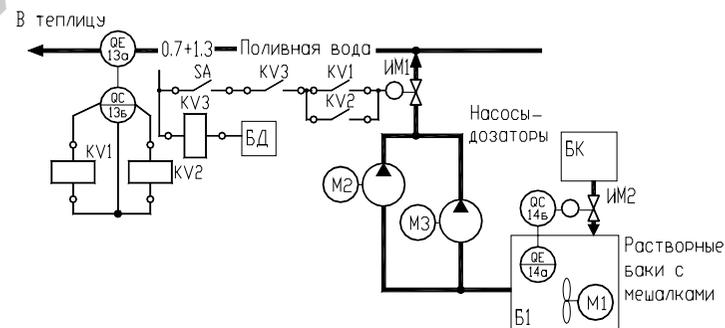


Рисунок А.10 – Схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений

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

11 Проектирование САУ оборудованием цеха приготовления кормосмеси для ферм КРС

концентрация минеральных удобрений в поливной воде больше заданной, то регулятор 136 через реле KV1 включает ИМ1 на уменьшение пропускания клапаном концентрированного раствора, и наоборот, если концентрация меньше заданной, то через реле KV2 включает ИМ1 на увеличение пропускания 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.

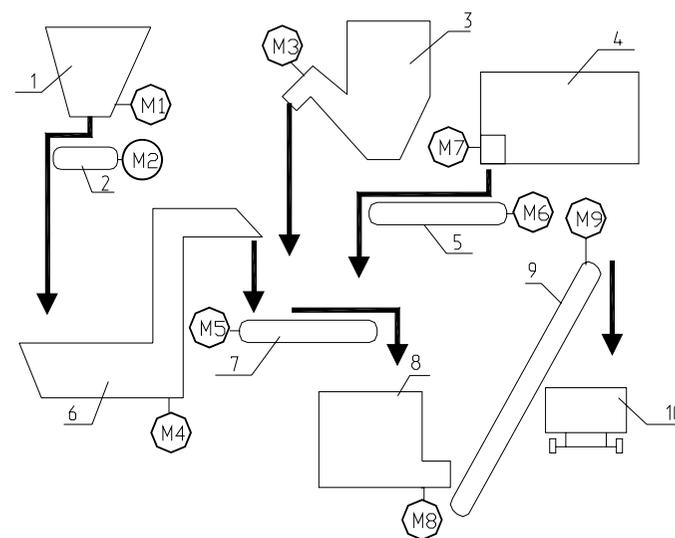
Одной из основных характеристик растворов минеральных удобрений является показатель величины рН (при $pH < 7$ реакцию считают кислой, при $pH > 7$ – щелочной). Для большинства растений оптимальное значение рН находится в пределах от 5 до 7 единиц. В процессе роста растений рН тепличной почвы изменяется, поэтому необходимо управлять значением рН питательного раствора. Значение рН определяют методами физико-химического анализа. Из экспрессных методов наиболее подходит электрометрический метод измерения рН, принцип действия которого основан на определении 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 M1 обеспечивает выравнивание концентрации минеральных удобрений по всему объему раствора.

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

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка контура проводки на схеме питающей сети. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки контура и все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат, а также рассчитаны значения длительного и кратковременного тока в линии, подобрана аппаратура и кабель, отрисован контур проводки.

Цех предназначен для приготовления кормовых смесей для крупных ферм КРС [6, с. 251]. Когда кормораздатчик 10 находится под выгрузным транспортером 9 (рисунок А.11) и в накопителе 1 и питателях 3, 4 имеется корм, а в водопроводе – вода, оператор вручную запускает технологическую линию приготовления кормов. 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 8 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 – выгрузный транспортер; 10 – мобильный кормораздатчик

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

САУ должна обеспечить: работу системы в автоматическом и наладочном режимах, технологическую сигнализацию о работе оборудования, защиту от повторного включения после кратковременного прекращения подачи энергии.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = P_{н2} = P_{н6} = 1,7$ 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.

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка контура проводки к датчику на схеме соединений внешних проводок. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки контура и все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат и сечения проводника, подобран проводник и отрисован контур проводки.

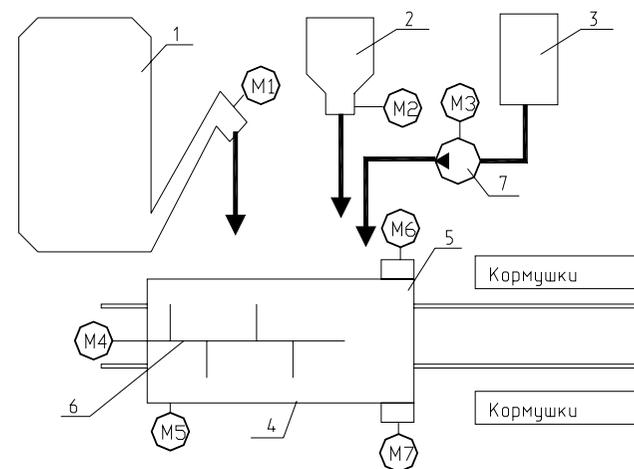
12 Проектирование САУ раздачей кормосмеси в свиарнике

Линия раздачи кормосмеси в свиарнике состоит из мобильного кормораздатчика и питателей-дозаторов мятого картофеля, обраты и комбикормов [6, с. 310].

Если кормораздатчик-смеситель находится в исходном положении под питателями кормов (рисунок А.12) и в питателях 1 и 2 и емкости 3 имеется корм минимум на одну раздачу, то кратковременным срабатыванием контактов суточного реле времени включается линия загрузки.

Включается привод смесителя, и происходит одновременная загрузка кормами раздатчика-смесителя 4, после чего кормораздатчик перемещается к началу кормушек. Если процесс смешивания завершен, при движении вдоль кормушек производится раздача корма. Если процесс смешивания не завершен, кормораздатчик останавливается до его завершения, а затем происходит раздача. В конце ряда кормушек кормораздатчик останавливается. С выдержкой времени, необходимого 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.

САУ должна обеспечить работу системы в автоматическом и наладочном режимах и технологическую сигнализацию о ходе процесса. При отсутствии компонентов корма в накопителях должна подаваться аварийная световая сигнализация.



1 – запарник-питатель картофеля; 2 – дозатор-питатель концкормов; 3 – емкость для обраты; 4 – раздатчик-смеситель кормов; 5 – выгрузное устройство; 6 – мешалка; 7 – насос; М5 – привод кормораздатчика

Рисунок А.12 – Технологическая схема раздачи корма в свиарнике

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = 1,7$ кВт; $P_{н2} = P_{н3} = 0,7$ кВт; $P_{н4} = 2,8$ кВт; $P_{н5} = P_{н6} = P_{н7} = 1,1$ кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка контура проводки к исполнительному механизму на схеме соединений внешних проводок. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки контура и все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат и сечения проводника, подобран проводник и отрисован контур проводки.

13 Проектирование САУ приготовлением и раздачей жидких кормов в свиарнике с использованием вакуумных дозаторов

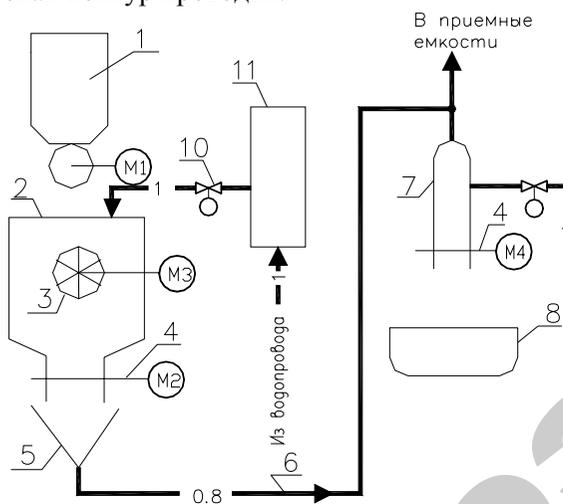
Линия запускается по времени кормления [3, с. 455]. Если в питателе 1 имеется комбикорм (рисунок А.13), а в проточном водонагревателе – нагретая до 80 °С вода, открывается клапан 10 и питатель-смеситель 2 заполняется водой до требуемого уровня. Затем при включенной мешалке 3 питатель дозагружается комбикормом.

После завершения процесса смешивания открывается шиберная заслонка 4 и происходит выгрузка жидких кормов в приемный бункер 5. После заполнения бункера 5 в вакуумный приемник 7 подается вакуум в необходимом объеме. После заполнения вакуумного приемника кормом шиберная заслонка открывается и жидкий корм выгружается в кормушку 8.

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

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = P_{н2} = P_{н4} = 0,7 \text{ кВт}$; $P_{н3} = 4,5 \text{ кВт}$; $P_{н5} = 2,8 \text{ кВт}$.

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка контура проводки к кнопочному посту, установленному по месту, на схеме соединений внешних проводок. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки контура и все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат и сечения проводника, подобран проводник и отрисован контур проводки.

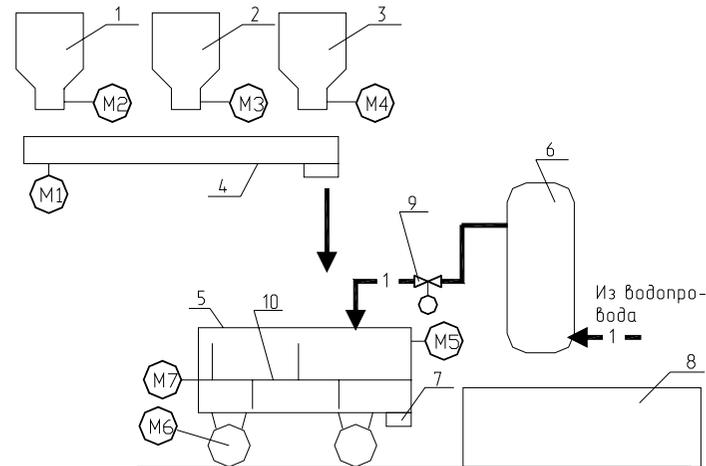


1 – питатель концкормов; 2 – питатель-смеситель жидких кормов; 3 – мешалка; 4 – шиберные заслонки; 5 – приемная емкость; 6 – кормопровод; 7 – вакуумный приемник жидких кормов; 8 – групповые кормушки; 9 – вакуумный насос; 10 – клапан; 11 – водонагреватель

Рисунок А.13 – Линия приготовления и раздачи жидких кормов

14 Проектирование САУ приготовлением и раздачей жидких кормов мобильным кормораздатчиком

Линия приготовления и раздачи жидких кормов включается по времени кормления [6, с. 305]. Когда компоненты загружены на разовую раздачу в бункеры 1, 2 и 3 (рисунок А.14), а горячая вода (90 °С) – в водонагреватель 6, открывается клапан 9, заполняется необходимым количеством воды (по весу) смеситель 5. После этого запускается линия смешивания и подачи концкормов при включенном приводе мешалки смесителя. Когда смеситель заполняется до необходимой нормы, линия подачи корма отключается. После завершения процесса смешивания и остывания приготовленного корма до 30 °С включается привод кормораздатчика, и он начинает перемещаться к кормушкам. После раздачи всего корма и кратковременной остановки кормораздатчик возвращается в исходное положение.



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

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

САУ должна обеспечить: работу системы в автоматическом и наладочном режимах, аварийную и технологическую сигнализацию.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = 1,7$ кВт; $P_{н2} = P_{н3} = P_{н4} = 0,7$ кВт; $P_{н5} = P_{н6} = 1,1$ кВт; $P_{н7} = 4,5$ кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка контура проводки к звуковой сигнализации на схеме соединений внешних проводок. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки контура и все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат и сечения проводника, подобран проводник и отрисован контур проводки.

15 Проектирование САУ линией перекачки воды

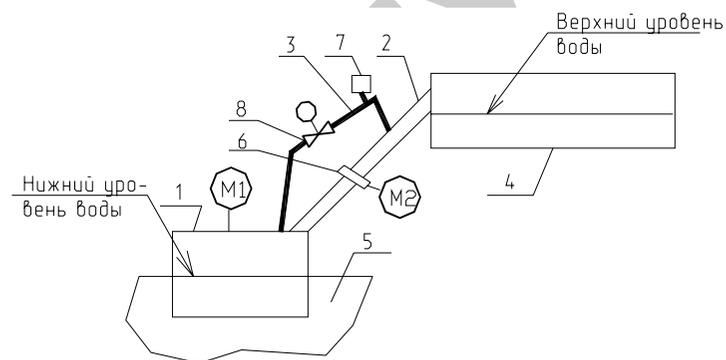
Насосные станции в мелиорации отличаются подачей значительного объема воды и большой мощностью [4, с. 356]. Насосные агрегаты устанавливаются на уровне воды.

Пуск насоса возможен при предварительной заливке его водой из бака-аккумулятора 7 (рисунок А.15). Для облегчения пуска электродвигателя на напорном трубопроводе 2 ставят электрифицированную задвижку 6. Насос запускается при закрытой задвижке, когда 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, когда уровень воды в водоприемном сооружении 4 становится 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.

САУ насосным агрегатом должна обеспечить работу системы в автоматическом и ручном режимах и технологическую сигнализацию о работе системы. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = 30$ кВт; $P_{н2} = 1,1$ кВт.



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

Рисунок А.15 – Технологическая схема перекачки воды

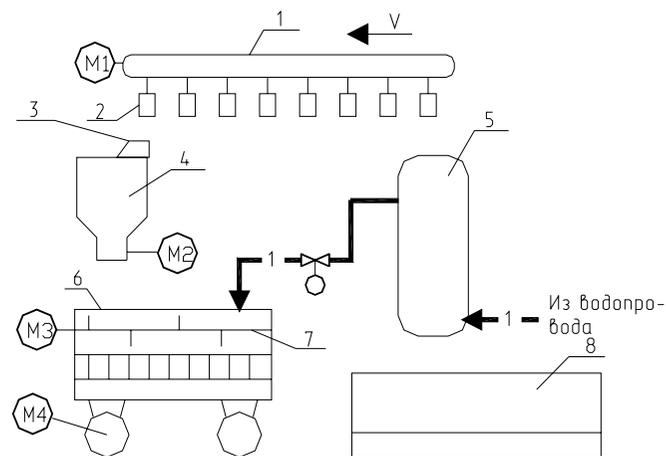
В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка контура проводки к электронагревателю на схеме соединений внешних проводок. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки контура и все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат и сечения проводника, подобран проводник и отрисован контур проводки.

16 Проектирование САУ линией приготовления заменителя молока

Для экономии цельного молока телятам скармливают его заменитель [42], состоящий из порошка заменителя молока, смешанного с теплой водой. Приготавливают заменитель молока в кормоприготовительном помещении, в котором находятся накопитель-питатель заменителя молока 4 и проточный водонагреватель 5. Загрузка накопителя заменителем молока осуществляется с помощью конвейера 1 (рисунок А.16). Мешки с заменителем молока 2 закрепляются на конвейере в складском помещении.

Пуск линии в работу осуществляется после кратковременного срабатывания контактов суточного реле времени. Конвейер перемещает мешки в направлении, указанном стрелкой. Мешки разрезаются

резаком 3, и порошок заменителя молока высыпается в бункер накопителя-питателя. Если кормораздатчик находится под накопителем, в водонагревателе 5 имеется горячая вода (до 80 °С), то в выпоечную машину 6 заливается норма воды, а затем включается мешалка 7 и досыпается заменитель молока в необходимом количестве. После завершения процесса смешивания и остывания смеси до 40 °С выпоечная машина перемещается к месту выпойки и останавливается. После выпойки телятами всего заменителя молока выпоечная машина возвращается в исходное положение. Накопитель автоматически загружается порошком заменителя 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 А.16 – Линия приготовления и раздачи заменителя молока телятам

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

Для расчета принять мощности двигателей: $P_{н1} = P_{н4} = 1,1$ кВт; $P_{н2} = 0,7$ кВт; $P_{н3} = 2,8$ кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка линии связи на схеме автоматизации. Программа должна в диалоговом

режиме запрашивать точки отрисовки линии и нумерацию разрыва линии, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат, отрисована линия связи, обозначен разрыв.

17 Проектирование САУ линией приготовления и раздачи корма на свиномкомплексе

Линия работает в двух режимах: кормораздачи и промывки [3, с. 455]. В режиме кормораздачи (для которого ведется разработка САУ) линия должна работать следующим образом (рисунок А.17).

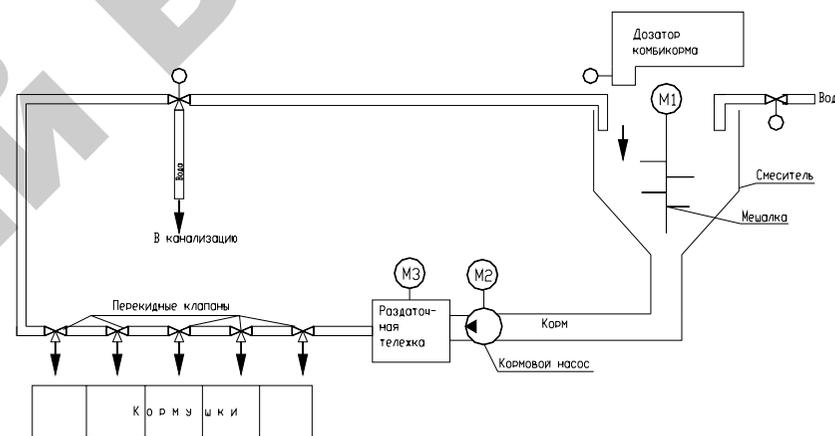


Рисунок А.17 – Технологическая схема линии приготовления и раздачи корма на свиномкомплексе

По сигналу суточного реле времени в смесителе начинается приготовление смеси корма. В смеситель заливается определенная доза питательной жидкости, после чего при включенной мешалке засыпается доза комбикорма и перемешивается. Некоторое время мешалка перемешивает смесь. Далее раздаточная тележка перемещается из исходного положения к первому перекидному клапану первой кормушки, где останавливается и открывает клапан. При этом срабатывает насос и выгружает дозу корма, измеряемую расходомером, в первую кормушку. Затем насос отключается и раздаточная тележка движется дальше. Когда загружена последняя кормушка, тележка

движется в исходное положение. Звуковая сигнализация сообщает о завершении работы линии в режиме кормораздачи.

САУ должна обеспечить: автоматический и ручной режим работы оборудования. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

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

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение основной надписи чертежа. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать необходимые текстовые данные и заполнять основную надпись.

18 Проектирование САУ линий сквашивания молока в процессе приготовления творага

Линию запускает оператор [43, с. 265]. Включается насос ЦБ1, затем ЦБ2, и молоко поступает из танка хранения в секцию I пастеризатора, где нагревается до температуры 37–40 °С. Оттуда оно поступает в сепаратор-молокоочиститель и далее в секцию II пастеризатора, где нагревается до 75–76 °С.

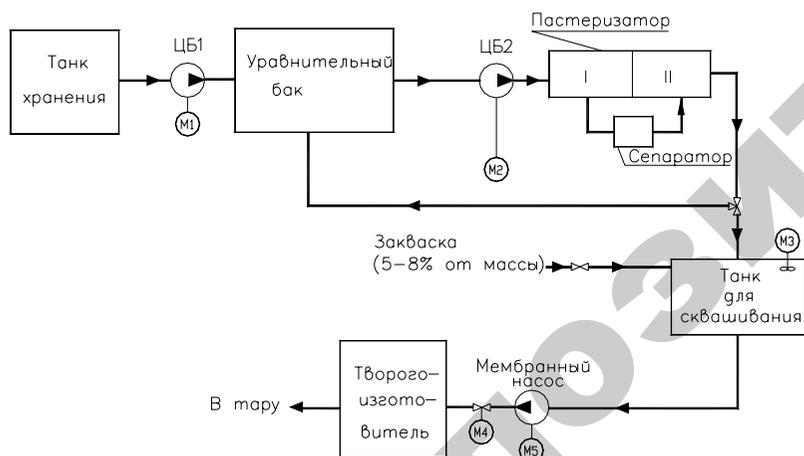


Рисунок А.18 – Технологическая линия приготовления творага

Если температура молока 75 °С и выше, оно через перепускной клапан поступает в танк для сквашивания, в противном случае – в уравнительный бак. С периодичностью 20 мин в танке в течение 1 мин работает мешалка и подается закваска. После выдержки в танке молока до 35 °С частично сквашенное молоко мембранным насосом подается в творогоизготовитель, где требуемый уровень продукта поддерживается вентилем, оборудованным исполнительным механизмом.

САУ должна обеспечить: автоматический и ручной режим работы оборудования. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

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

В качестве операции автоматизации проектирования – отрисовка таблицы с пояснениями обозначений на схеме автоматизации. Программа должна в диалоговом режиме запрашивать все исходные данные, далее должен быть осуществлен расчет других необходимых координат вставки таблицы, а также вставлена и заполнена таблица.

19 Проектирование САУ процессом созревания сыра в сырной ванне

Ванна заполняется в течение определенного времени с использованием клапанов [43, с. 356]. По истечении 5 мин после заполнения ванны включается перемешивающий механизм (рисунок А.19), для которого должно осуществлять плавное регулирование частоты вращения. В то же время в ванну автоматически подается закваска, а через 15 мин вносится сычужный фермент. Еще через 5 мин мешалка отключается и начинается процесс формирования сгустка, который продолжается 35–40 мин. Должно быть предусмотрено включение механизма для разрезания сгустка спустя 40 мин после внесения сычужного фермента. В случае готовности сгустка ранее установленного времени механизм разрезания должен включаться автоматически. Процесс разрезания сгустка происходит в течение 15–20 мин при частоте вращения электродвигателя 0,5–1,0 мин⁻¹, что позволяет избежать потерь сыворотки. После разрезания

сгустка автоматически включается мешалка для вымешивания зерна. При этом должен осуществляться контроль рН сыворотки (6,5). Затем смесь зерна с сывороткой нагревается в течение 40 мин. Скорость изменения температуры должна постепенно возрастать.

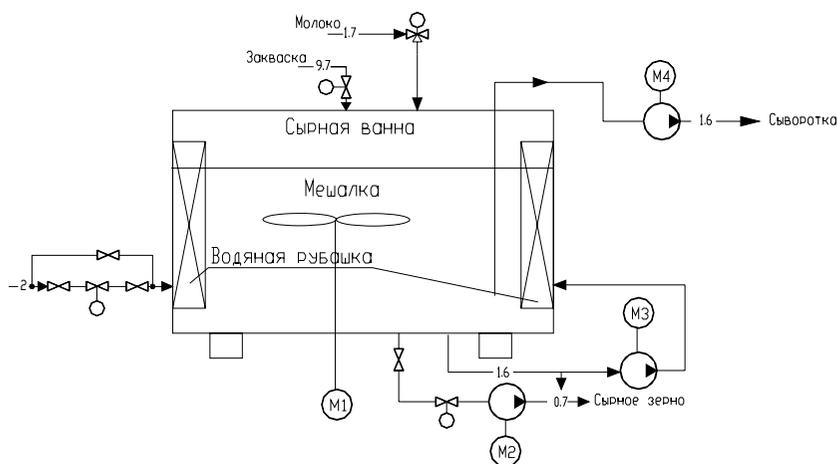


Рисунок А.19 – Оборудование сырной ванны

В зависимости от нарастания кислотности (при рН = 6,03) включается мешалка, а по истечении 1–2 мин – насос *M4* для удаления половины объема сыворотки. При рН = 6,05 включается насос *M2* для перекачивания зерна и оставшейся сыворотки.

САУ должна обеспечить: автоматический и ручной режим работы оборудования. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

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

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение строк таблицы соединений. Программа заполнения строк должна в диалоговом режиме запрашивать точку начала строки и текст по графам таблицы, после чего заполнять текст строку таблицы.

20 Проектирование САУ процессом сбивания сливочного масла

Процесс производства сливочного масла методом сбивания [43, с. 356] включает операции: непрерывную подачу сливок, непрерывное сбивание, отделение пахты, обработку масляного зерна, вакуумную обработку, фасовку и упаковку.

Сливки из сливоксозревательного резервуара через уравнильный бак подаются винтовым насосом в цилиндр маслоизготовителя (рисунок А.20). Образовавшееся 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 насосом подается для дальнейшей обработки.

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, температуру ледяной воды, поступающей для промывки зерна, давление в вакуумной линии, частоту вращения электродвигателя *M2* по его нагрузке. Кроме того, должна поддерживаться необходимая влажность масла на выходе за счет отделения пахты.

САУ должна обеспечить: автоматический и ручной режим работы оборудования. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

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.

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение строк таблицы подключений. Программа заполнения строк должна в диалоговом режиме запрашивать точку начала строки и текст по графам таблицы, после чего заполнять текст строку таблицы.

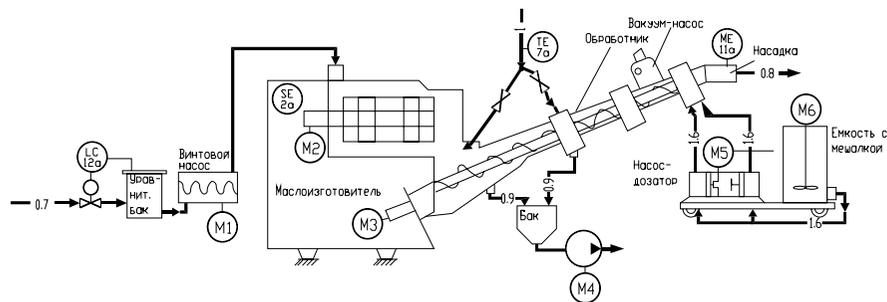


Рисунок А.20 – Технологическая линия сбивания сливочного масла

21 Проектирование САУ промывкой молокопровода на ферме КРС

Система промывки молокопровода состоит из автомата промывки и устройства для подключения доильных аппаратов к системе промывки [6, с. 449]. В комплект автомата промывки (рисунок А.21) входит ванна, емкости для растворов и водонагреватель. Процесс промывки делится на две части: преддоильное прополаскивание (15 мин) и промывка после доения (45 мин). Преддоильное прополаскивание осуществляют сначала теплой водой (38 °С), затем моющей жидкостью со средством 1 и снова холодной водой. Последоильная промывка выполняется щелочным или кислым раствором. Сначала прополаскивание холодной водой, затем циркуляция теплой водой (50 °С) с раствором (средство 2), после чего снова прополаскивание и просушка.

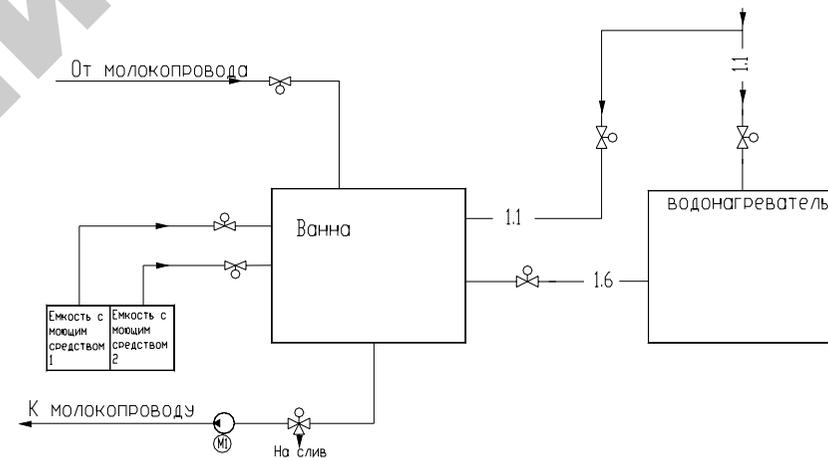


Рисунок А.21 – Состав автомата промывки

САУ должна обеспечить: автоматический и ручной режим работы оборудования. Также необходимо предусмотреть визуализацию работы оборудования.

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

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение кабельного журнала (таблицы) на схеме соединений внешних

проводок. Программа заполнения кабельного журнала должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки таблицы и текст по графам таблицы, после чего заполнять текстом строки таблицы.

22 Проектирование САУ системы вентиляции фермы КРС

Для вентиляции коровников в настоящее время активно используется следующее оборудование (рисунок А.22): свето-вентиляционные коньки; вентиляционные окна; вертикальные, горизонтальные, осевые вентиляторы; шторы [44].

Установка свето-вентиляционного конька обеспечивает большой приток свежего воздуха и улучшение освещенности внутри помещения. Вместе с установленным на крыше свето-вентиляционным коньком вентиляционные окна создадут оптимальные условия внутри помещения с возможностью регулирования степени открытия. Обеспечить требуемый воздухообмен позволяет установка вентиляторов. Горизонтальные вентиляторы имеют высокую производительность и достаточно большую дальность выброса воздуха. Это немаловажно для коровников, которые, как правило, имеют обширные площади, предназначенные для содержания большого количества 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.

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. В качестве контролируемых параметров будут выступать температура и влажность в помещении, также необходимо учесть направление и скорость ветра снаружи.

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

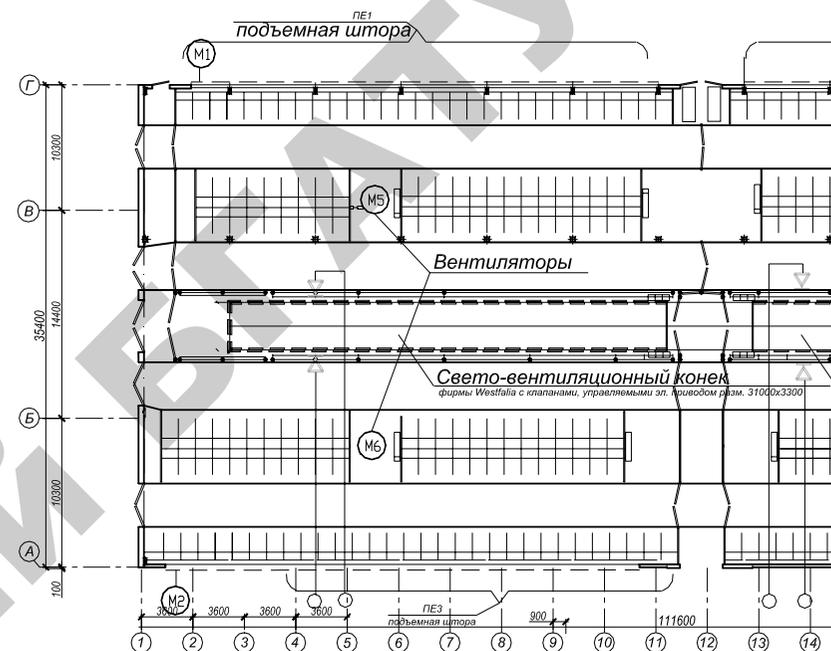


Рисунок А.22 – Часть здания фермы КРС с расположением вентиляционного оборудования

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение строк перечня элементов к принципиальной схеме. Программа заполнения строк должна в диалоговом режиме запрашивать точку начала строки и текст по графам таблицы, после чего заполнять текстом строку таблицы.

23 Проектирование САУ вытяжной системой вентиляции птичника

В систему вытяжной вентиляции птичника [45] входят 12 торцевых вентиляторов, разделенных на группы (с правой стороны здания), и систему жалюзи (с левой стороны здания) для обеспечения туннельного эффекта (рисунок А.23). Обогрев осуществляется с помощью теплогенератора.

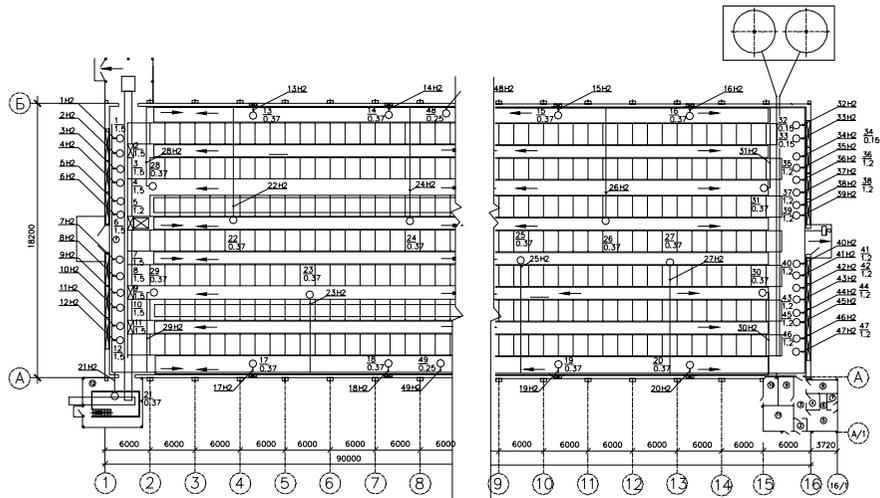


Рисунок А.23 – Система вентиляции птичника (левая и правая сторона здания)

За счет управления группами вентиляторов и жалюзи САУ должна обеспечить: требуемый температурно-влажностный режим, управление теплогенератором в холодное время года, технологическую и аварийную сигнализацию. Также необходимо предусмотреть визуализацию технологических параметров.

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

В качестве операции автоматизации проектирования – простановка маркировки на принципиальной электрической схеме. Программа должна запрашивать точку вставки номера маркировки и первоначальное значение маркировки в диалоге, затем в цикле добавляется цифра (+1) маркировки и вставляется в указанную пользователем точку.

24 Проектирование САУ микроклиматом шампиньонницы

При выращивании грибов помещения должны иметь хорошую вентиляцию, температуру воздуха около 16 °С, влажность грунта 40–45 %, относительную влажность воздуха 85–90 % [5, 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, сбор шампиньонов, освобождение 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 А.24).

Количество воздуха, проходящего через колорифер-доводчик, оператор устанавливает 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.

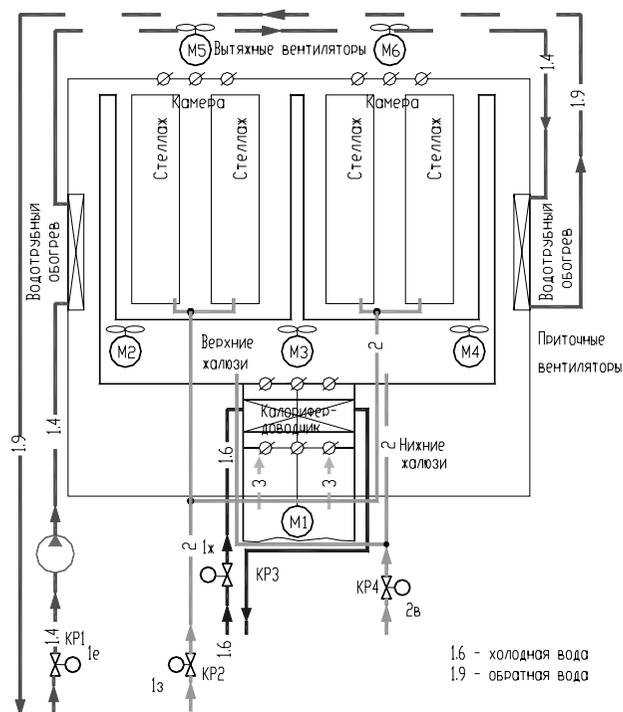


Рисунок А.24 – Оборудование шампиньонницы

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; $P_{н2} = P_{н3} = P_{н4} = P_{н5} = P_{н6} = 1,1$ кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – заполнение таблицы потребности проводов, кабелей и труб на схеме питающей и распределительной сети. Программа заполнения таблицы должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки таблицы и текст по графам таблицы, после чего заполнять текстом строки таблицы.

25 Проектирование САУ роботом–подгребателем кормов

Данные роботы помимо подгребания кормов заданное количество раз также могут обеспечивать раздачу смеси кормов (силос, концентраты и минералы) либо концентрированных кормов [46]. Робот загружается кормом на кормокухне (одновременно происходит зарядка робота) и в заданное время перемещается по металлической полоске от кормокухни к коровнику. Там, ориентируясь по ультразвуковым датчикам, робот движется вдоль стола (рисунок А.25), с помощью юбки подгребает розданный корм (сенаж) и при запрограммированном варианте может дополнительно раздать смесь либо концентрированный корм.



Рисунок А.25 – Устройство робота – подгребателя кормов

Для расчета принять мощности двигателей: привода колес – 2,2 кВт, мешалки – 1,1 кВт, юбки и выгрузки корма – 0,75 кВт.

В качестве операции автоматизации проектирования – формирование таблицы с пояснениями на принципиальной схеме. Программа заполнения таблицы должна в диалоговом режиме запрашивать точку вставки таблицы и текст по графам таблицы, после чего заполнять текстом строки таблицы.

Приложение Б
(справочное)

Бланк задания на курсовое проектирование

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)
«__» _____ 201 г.

ЗАДАНИЕ
на курсовое проектирование
по дисциплине «Проектирование систем автоматизации»

Студенту _____

1. Тема проекта: « _____ »,
вариант _____

Утверждена приказом по БГАТУ № _____ от _____

2. Срок сдачи студентом законченного проекта: _____
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. Анализ технологических требований. Возможные варианты реализации технологического процесса (установки) _____
 2. Анализ вариантов управления, определение объема автоматизации, вида АУУ и структуры САУ _____
 3. Требования к САУ (формулирование технического задания) _____
 4. Разработка алгоритма и структуры управления _____
 5. Разработка САУ. Анализ качества регулирования _____
 6. Разработка средств визуализации управления _____
 7. Разработка программы управления _____
 8. Разработка схем питающей и распределительной сети _____
 9. Разработка полной принципиальной электрической схемы управления, регулирования, контроля и сигнализации _____
 10. Расчет надежности САУ. Средства обеспечения надежности _____
 11. Разработка средств автоматизации проектирования _____

5. Перечень графического материала:
 - 1) схема автоматизации технологического процесса; _____
 - 2) полная принципиальная электрическая схема управления, регулирования, контроля и сигнализации; _____
 - 3) монтажная документация (таблицы соединений, таблицы подключений, схема соединений внешних проводов); _____
 - 4) общий вид щита автоматики; _____
 - 5) принципиальная схема питающей и распределительной сети; _____
 - 6) алгоритм, диалоги и программы автоматизации проектирования _____

6. Календарный график работы над проектом на весь период проектирования:
 - 25 % проекта (вопросы 1–3 и чертеж 1) – _____
 - 50 % проекта (вопросы 4–7 и чертеж 2) – _____
 - 75 % проекта (вопросы 8–9 и чертеж 3, 4, 5) – _____
 - 100 % проекта (вопросы 10–11, заключение и чертеж 6) – _____

Дата выдачи задания «__» _____ 201 г. Руководитель _____
(подпись)

Задание принял к проектированию «__» _____ 201 г. _____
(подпись)

Приложение В
(рекомендуемое)

**Форма задания на проектирование
системы автоматического управления**

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Наименование системы управления _____

Область применения _____

Основание для разработки _____

Цель разработки _____

Стадии и этапы _____

Источники разработки _____

Режимы работы объекта _____

Условия эксплуатации системы управления _____

Технические требования к системе управления:

Функции:

- основные _____

- дополнительные _____

Алгоритм функционирования

Алгоритм управления

Вид применяемой энергии _____

Параметры регулирования _____

Параметры управления _____

Параметры контроля _____

Параметры сигнализации _____

Требования к качеству переходных процессов _____

Требования к точности системы _____

Требования к надежности _____

Требования к безопасности _____

Предложения по размещению пунктов управления, щитов и пультов

Экономические показатели _____

Особые условия проектирования _____

Приложение Г (справочное)

Пример задания на проектирование системы автоматического управления

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Наименование системы управления – система автоматического управления процессом сушки зерновых.

Область применения – зерносушильные пункты с колонковой сушилкой.

Цель разработки – автоматизация управления режимами сушки зерновых.

Стадии и этапы – архитектурно-строительный проект; этапы: анализ технологических требований, определение объема автоматизации, разработка алгоритма, разработка структуры управления, разработка программы управления, визуализация, разработка проектной документации.

Режимы работы объекта – схема управления должна обеспечить работу системы в автоматическом и ручном режимах.

Условия эксплуатации системы управления – наружная установка, в отношении опасности поражения электрическим током – особо опасная, пыльная, пожароопасная с зоной П-П, рекомендуемая степень защиты электрических аппаратов при установке вне щитов – IP54.

Технические требования к системе управления:

Функции:

- основные: автоматическое управление оборудованием сушилки, регулирование технологических параметров;
- дополнительные: автоматический пуск, технологическая сигнализация, обеспечение безаварийной работы, визуализация процесса.

Алгоритм функционирования

Зерно после первичной очистки поступает в норию сырого зерна (M3) (см. схему автоматизации на рисунке 3). При больших объемах поступающего зерна используется дополнительная нория загрузки (M4) с завальной ямой. Из нории зерно поступает в приемный

бункер сушилки и распределяется по двум колонкам. В нижней зоне колонок выгрузное устройство (M7) подает зерно в нижний бункер, откуда шнеком (M6) выгружает его в зависимости от влажности через перекидной клапан на выгрузку через норию сухого зерна (при влажности менее 14 %) либо на повторную сушку (при влажности более 14 %).

В камеру нагрева поступает теплоноситель от теплогенератора. Пройдя через слой зерна, теплоноситель отдает тепло, насыщается влагой и выбрасывается наружу вентилятором (M1). В камере сушки зерно имеет меньшую влажность, чем в зоне нагрева, и подвергается большей температуре теплоносителя, который, пронизывая зерно, насыщается влагой в меньшей степени. Вентилятор рекуперации (M2) подает воздушные потоки из камер сушки и охлаждения к распределителю (M13), который в зависимости от влажности отработанного теплоносителя устанавливает распределитель на выброс теплоносителя или на его повторное использование.

В теплогенераторах воздух подогревается в теплообменнике. Сгорание топлива происходит в камере сгорания. Продукты сгорания не смешиваются с теплоносителем и выбрасываются наружу.

Алгоритм управления

В начальный период сушки зерно пропускают на повторную сушку через перекидной клапан (M12). При стабилизации режима сушки до кондиционной влажности клапан устанавливается на выгрузку зерна из сушилки.

Для контроля верхнего и нижнего уровня в бункере сушилки используем датчики уровня LS.

Температура и подача теплоносителя регулируются автоматически отдельно для каждой камеры в зависимости от температуры нагрева зерна (TE6 и TE7). При влажности сырого зерна менее 22 %, измеряемой влагомером ME1, механизм M13 переключает потоки теплоносителя на рекуперацию. При отклонении от нормы температуры (TE6 и TE7) или влажности зерна на выходе (ME2) устройство управления выдает команду выпускным устройствам M6 и M7 увеличить или уменьшить скорость перемещения зерна по колонкам (преобразователь частоты SC) и/или изменить режим работы соответствующего теплогенератора (перейти с «большого» (клапаны YA2 и YA4) на «малый огонь» (клапаны YA1 и YA3) и наоборот).

В нижней зоне колонок выгрузное устройство (М7) подает зерно в нижний бункер, откуда шнеком (М6) выгружает его в зависимости от влажности (МЕ2) через перекидной клапан (М12) на выгрузку через норию сухого зерна (при влажности менее 14 %) либо повторную сушку (при влажности более 14 %).

Вид применяемой энергии – электрическая и тепловая.

Параметры регулирования – регулирование температуры нагрева зерна и стабилизация температуры теплоносителя.

Параметры управления – работа электродвигателей и других исполнительных механизмов, уровень зерна, влажность на выходе из сушилки.

Параметры контроля – температура нагрева зерна, уровень зерна, электропроводность, влажность зерна и теплоносителя.

Параметры сигнализации – работа основных агрегатов линии, наличие питания в цепи управления, аварийная сигнализация.

Требования к качеству переходных процессов – перерегулирование не более 20 %, статическая ошибка не более 5 %, время регулирования не более 500 с.

Требования к точности системы – статическая ошибка не более 5 %.

Требования к надежности – вероятность безотказной работы не менее 0,9 за 1000 часов работы.

Требования к безопасности – САУ должна быть безопасна в обслуживании и эксплуатации.

Предложения по размещению пунктов управления, щитов и пультов – в щитовой.

Экономические показатели – капитальные затраты, срок окупаемости, повышение производительности установки, рентабельность производства.

Особые условия проектирования – нет.

Требования к оформлению схем автоматизации

Схема автоматизации – основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления ТП и регулирования параметров ТП и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (определяющий структуру и функциональные связи между технологическим процессом и средствами автоматизации).

Согласно ГОСТ 21.408–2013 [47] на схеме автоматизации изображают:

- 1) технологическое и инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, газоходы, воздухопроводы) автоматизируемого объекта;
- 2) ТСА 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 ТСА 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:

- развернутым (рисунок Д.1), при котором на схеме изображают состав и место расположения ТСА каждого контура контроля и управления;

- упрощенным (рисунок Д.2), при котором на схеме изображают основные функции контуров контроля и управления (без выделения входящих в них отдельных ТСА и указания места расположения).

В последнем случае контур независимо от количества входящих в него элементов изображают в виде окружности (прямоугольника), разделенного горизонтальной чертой. В верхнюю часть окружности записывают буквенное обозначение, определяющее измеряемый (регулируемый) параметр и функции, выполняемые данным контуром,

в нижнюю – номер контура. На схеме для контуров САР изображают, кроме того, исполнительные механизмы, регулирующие органы и линию связи, соединяющую контур с ИМ. Предельные рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин указывают рядом с графическими обозначениями контуров.

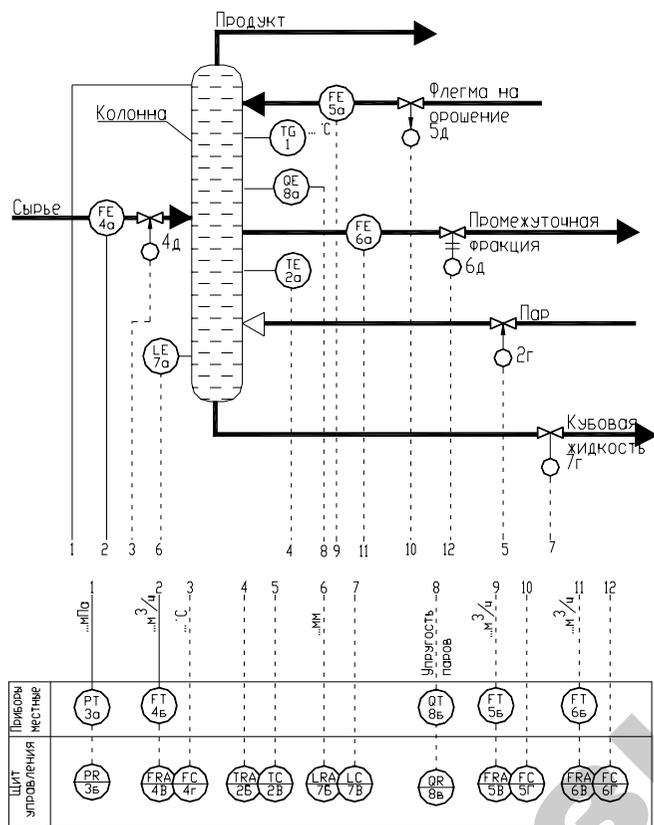


Рисунок Д.1 – Пример выполнения схемы автоматизации развернутым способом

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, указывают наименования этих линий или присвоенные им обозначения схемы, где показано продолжение этих линий. Такие пояснения дают на каждом из взаимосвязанных листов или схем.

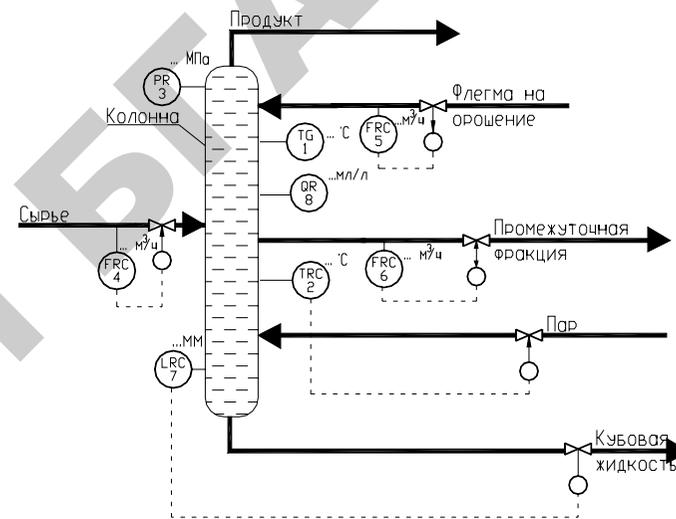


Рисунок Д.2 – Пример выполнения схемы автоматизации упрощенным способом

Технологическое оборудование и коммуникации изображаются, как правило, упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения, но технологическая схема должна давать ясное представление о принципе работы и взаимодействии со средствами автоматизации. Кроме того, технологическое оборудование изображают с учетом требований следующих стандартов: ГОСТ 2.780–96, ГОСТ 2.782–96, ГОСТ 2.788–74, ГОСТ 2.789–74, ГОСТ 2.790–74, ГОСТ 2.791–74, ГОСТ 2.792–74, ГОСТ 2.793–79, ГОСТ 2.794–79, ГОСТ 2.795–80.

На технологических трубопроводах показывают регулируемую 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 ТСА и не влияют на работу системы автоматизации).

Технологическое оборудование изображают сплошной тонкой линией (0,2–0,5 мм) по ГОСТ 2.303–68 [59]. Необходимые виды, разрезы и сечения технологического оборудования даются по ГОСТ 2.305–2008 [60], 2.306–68 [61].

Условное обозначение трубопровода состоит из графического упрощенного изображения (ГОСТ 2.784–96 [62]) и обозначения транспортируемой среды согласно ГОСТ 14202–69 [63, приложение 3], выдержки из которого даны в таблице Д.1.

Линия, изображающая трубопровод, является сплошной основной линией (толщина 0,5–1,5 мм по ГОСТ 2.303–68 [59]). Соединение и пересечение трубопроводов изображают:

- а)  (соединение);
- б)  (пересечение трубопроводов без соединения друг с другом).

Обозначение среды указывают в разрыве линий трубопровода через расстояние не менее 50 мм.

Таблица Д.1 – Условные обозначения трубопроводов в зависимости от транспортируемой среды по ГОСТ 14202–69

Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество	Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество
1	Вода	2	Пар
1.1	Питьевая	2.1	Низкого давления (до 2 кгс/см ²)
1.2	Техническая	2.2	Насыщенный
1.3	Горячая (водоснабжение)	2.3	Перегретый
1.4	Горячая (отопление)	2.4	Отопление
1.5	Питательная	2.5	Влажный (соковый)
1.6	Резерв	2.6	Отборный
1.7	Резерв	2.7	Резерв
1.8	Конденсат	2.8	Вакуумный
1.9	Прочие виды воды	2.9	Прочие виды пара
1.0	Отработанная, сточная	2.0	Отработанный

Продолжение таблицы Д.1

Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество	Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество
3	Воздух	4	Газы горючие
3.1	Атмосферный	4.1	Светильный
3.2	Кондиционированный	4.2	Генераторный
3.3	Циркуляционный	4.3	Ацетилен
3.4	Горячий	4.4	Аммиак
3.5	Сжатый	4.5	Водород и газы, его содержащие
3.6	Пневмотранспорта	4.6	Углеводороды и их производные
3.7	Кислород	4.7	Оксись углерода и газы, ее содержащие
3.8	Вакуум	4.8	Резерв
3.9	Прочие виды воздуха	4.9	Прочие виды горючих газов
3.0	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
5.0	Отработанные негорючие газы	6.0	Отработанные кислоты и кислые стоки (при pH < 6,5)

Окончание таблицы Д.1

Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество	Цифровые обозначения	Транспонируемое вещество
7	Щелочи	8	Жидкости горючие
7.1	Натриевые	8.1	Жидкости категории А ($t_{в.п} < 28\text{ °C}$)
7.2	Калийные	8.2	Жидкости категории Б ($t_{в.п} < 120\text{ °C}$)
7.3	Известковые	8.3	Жидкости категории В ($t_{в.п} > 120\text{ °C}$)
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

У изображений технологического оборудования и трубопроводов делают 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 делают поясняющие надписи.

Запорную арматуру, используемую в системах автоматизации, изображают согласно ГОСТ 2.785–70 [64]. Примеры изображения трубопроводной арматуры приведены на рисунке Д.3.

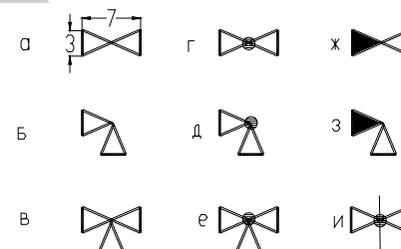


Рисунок Д.3 – Изображение трубопроводной арматуры: а – проходной вентиль; б – угловой вентиль; в – трехходовой вентиль; г – проходной кран; д – угловой кран; е – трехходовой кран; жс – проходной клапан; з – угловой клапан; и – задвижка

Условные графические и буквенные обозначения приборов и контуров контроля и управления принимают по ГОСТ 21.208–2013 [48], согласно которому устанавливаются два метода построения условных обозначений – упрощенный и 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.

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.2 – Условные графические обозначения приборов автоматики по ГОСТ 21.208–2013

Наименование	Обозначение	Размеры обозначений
1	2	3
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
3. Функциональные блоки цифровой техники (контроллер, системный блок, монитор, устройство сопряжения и др.)		Размеры по усмотрению разработчика применительно к удобству рассмотрения схемы
4. Прибор, устройство ПАЗ, установленный вне щита: а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение		

Окончание таблицы Д.2

1	2	3
5. Прибор, устройство ПАЗ, установленный на щите*: а) основное обозначение; б) допускаемое обозначение		Размеры те же
6. Исполнительный механизм. Общее обозначение		
7. 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
8. Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом**		Размеры те же

Примечание – ПАЗ – система управления технологическим процессом, которая в случае выхода процесса за рамки безопасности выполняет комплекс мер по защите оборудования и персонала.

*При размещении оборудования ПАЗ в шкафах, стойках и стativaх, предназначенных для размещения только 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.

Дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания дополнительных функциональных признаков приборов, преобразователей сигналов и вычислительных устройств, приведены в таблице А1 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.

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
<i>A</i>	Анализ. Величина, характеризующая качество: состав, концентрация, детектор дыма и т. п.	–	Сигнализация	–	–
<i>B</i>	Пламя, горение	–	–	–	–
<i>C</i>	+	–	–	Автоматическое регулирование, управление	–

Продолжение таблицы Д.3

1	2	3	4	5	6
<i>D</i>	Плотность	Разность, перепад	–	–	Величина отклонения от заданной измеряемой величины
<i>E</i>	Напряжение	–	Чувствительный элемент	–	–
<i>F</i>	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
<i>G</i>	+	–	Первичный показывающий прибор	–	–
<i>H</i>	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины
<i>I</i>	Ток	–	Вторичный показывающий прибор	–	–
<i>J</i>	Мощность	Автоматическое переключение, обегание	–	–	–
<i>K</i>	Время, временная программа	–	–	Станция управления	–
<i>L</i>	Уровень	–	–	–	Нижний предел измеряемой величины
<i>M</i>	+	–	–	–	Величина или среднее положение (между верхним <i>H</i> и средним <i>L</i>)
<i>N</i>	+	–	–	–	–

Окончание таблицы Д.3

1	2	3	4	5	6
<i>O</i>	+	–	–	–	–
<i>P</i>	Давление, вакуум	–	–	–	–
<i>Q</i>	Количество	Интегрирование, суммирование по времени	–	+	–
<i>R</i>	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–
<i>S</i>	Скорость, частота	Самосрабатывающее устройство безопасности	–	Включение, отключение, переключение, блокировка	–
<i>T</i>	Температура	–	–	Преобразование	–
<i>U</i>	Несколько разнородных измеряемых величин	–	–	–	–
<i>V</i>	Вибрация	–	+	–	–
<i>W</i>	Вес, сила, масса	–	–	–	–
<i>X</i>	Нерекомендуемая резервная буква	–	Вспомогательные компьютерные устройства	–	–
<i>Y</i>	Событие, состояние	–	–	Вспомогательное вычислительное устройство	–
<i>Z</i>	Размер, положение, перемещение	Система инструментальной безопасности, ПАЗ	–	+	–

Примечание – Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», назначаются по выбору пользователя, а отмеченные знаком «–» не используются.

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 *Y* показывает состояние или событие, которое определяет реакцию устройства.

Символ *S* применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемых величин *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 в соответствии с рисунком Д.4.

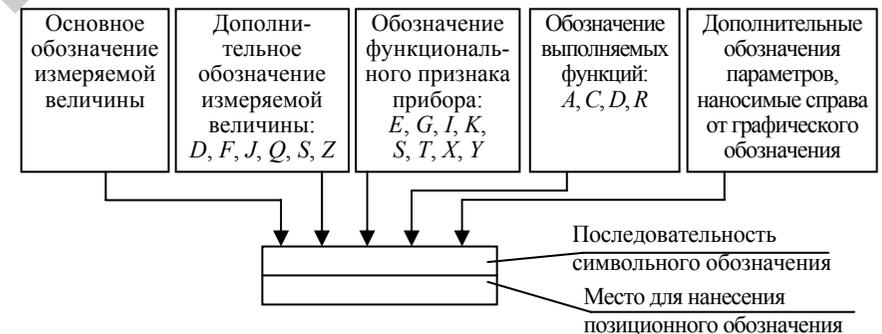


Рисунок Д.4 – Принцип построения условного обозначения прибора

При построении буквенных обозначений указывают не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используются 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 бесшкального прибора 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.

Функция *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 нее, обозначения электрических аппаратов – справа от их условного графического обозначения.

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», имеющие начертание, похожее на начертание цифр, применять не допускается.

Электроаппараты, входящие в систему автоматизации (звонки, сирены, сигнальные лампы, табло, ЭД и др.), показывают на схеме условными графическими обозначениями по ГОСТ 2.722–68 [65], ГОСТ 2.732–68 [66], ГОСТ 2.741–68 [67] и присваивают им буквенно-цифровые обозначения по ГОСТ 2.710–81 [68].

Для присвоения позиций комплексам в схемах каскадного или связанного регулирования необходимо руководствоваться следующим правилом: 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 ТСА показывают условными графическими обозначениями в прямоугольниках, расположенных в нижней части схемы. Каждому прямоугольнику присваивают заголовок, соответствующий показанным в нем техническим средствам. Первым располагают прямоугольник, в котором показаны внешние приборы, конструктивно не связанные с технологическим оборудованием, с заголовком «Приборы местные», ниже – прямоугольники, в которых показаны щиты и пульта, 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 ТСА, 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 допускается подводить *линии связи* с любой стороны, в т. ч. сбоку и под углом. Линии связи изображаются сплошной тонкой линией. Расстояние между соседними линиями не менее 3 мм. Если необходимо указать направление передачи сигнала, на линии наносят стрелки. Допускается изображать линии связи с разрывом при большой протяженности и/или при сложном их расположении (см. рисунки Д.1 и Д.2). Места разрывов линий связи нумеруют арабскими цифрами в порядке их расположения в прямоугольнике с заголовком «Приборы местные».

Допускается пересечение линий связи с изображениями технологического оборудования. Пересечение линий связи с обозначениями приборов не допускается.

Таблица Д.4 – Условные графические обозначения линий связи по ГОСТ 21.408–2013

Наименование	Обозначение
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.)	
Волоконно-оптическая линия связи	
Беспроводная линия связи или электромагнитные сигналы, свет, радиация, радио, звук и т. д. <i>Примечание</i> – Варианты обозначения <i>a, б</i> – по выбору исполнителя	

На линии связи указывают предельные (max и min) рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин по ТР 2007/003/ВУ [69] 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.

Приложение Е
(справочное)

Характеристика некоторых технических средств автоматизации

Характеристики некоторых контроллеров

Контроллеры α (Mitsubishi)

Сведения по моделям контроллеров $\alpha 2$ (второго поколения) даны в таблице Е.1.

Таблица Е.1 – Характеристика моделей $\alpha 2$ -контроллеров (Mitsubishi)

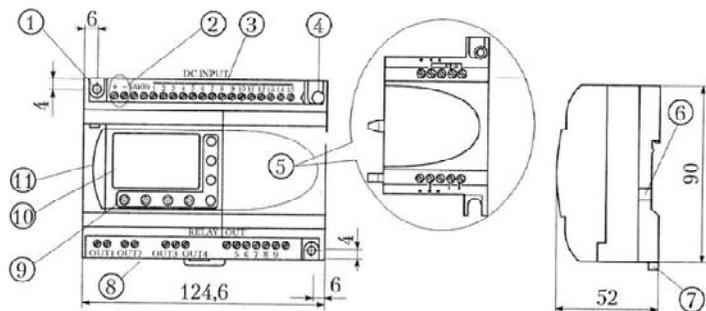
Модель	Источник питания	Входная цепь		Выходная цепь		Размеры, мм
		Тип	Кол-во	Тип	Кол-во	
AL2-14MR-A	~ 100–240 В	~ 100–240 В	8	Реле	6	124,6×90×52
AL2-14MR-D	= 24 В	= 24 В, сток/источник	8	Реле	6	
AL2-24MR-A	~ 100–240 В	~ 100–240 В	15	Реле	9	
AL2-24MR-D	= 24 В	= 24 В, сток/источник	15	Реле	9	

В основной модели $\alpha 2$ -контроллера предусмотрена возможность установки модуля расширения, который обеспечивает увеличение входов или выходов, либо установки специального модуля (таблица Е.2). Установить можно только один модуль.

Таблица Е.2 – Характеристика модулей расширения к $\alpha 2$ -контроллеру

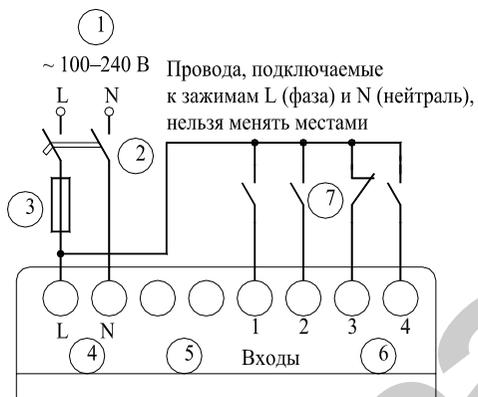
Модель	Входная цепь		Выходная цепь	
	Тип	Кол-во	Тип	Кол-во
AL2-4EX-A2	~ 220–240 В	4	–	
AL2-4EX	= 24 В, сток/источник	4	–	
AL2-4EYR	–		Реле	4
AL2-4EYT	–		Транзистор	4
AL2-ASI-BD	Вход AS-интерфейс	4	Выход AS-интерфейс	
AL2-2DA	–		Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В или от 4 до 20 мА)	2
AL2-2PT-ADP	Датчик температуры РТ-100	2	Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В)	2
AL2-2TC	Датчик температуры термпарный (тип «К»)	2	Аналоговый сигнал (от 0 до 10 В)	2

Конструктивная схема и схемы подключения $\alpha 2$ -контроллера приведены на рисунках Е.1–Е.6.



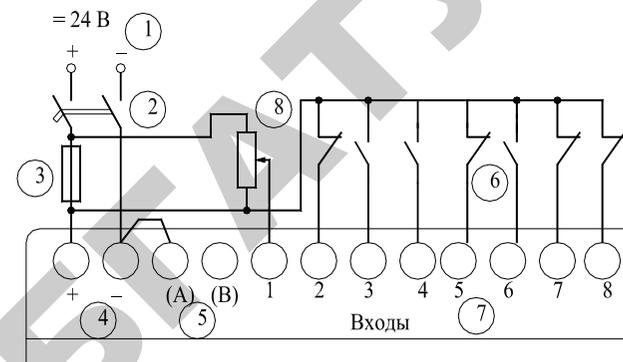
1 – монтажное отверстие; 2 – контактные клеммы подключения питания; 3 – контактные клеммы подключения входных цепей; 4 – монтажный винт для присоединения корпуса расширителя или расширительного модуля; 5 – корпус расширителя или расширительный модуль; 6 – канавка для установки рельса в стандарте DIN; 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 – Конструкция α -контроллера



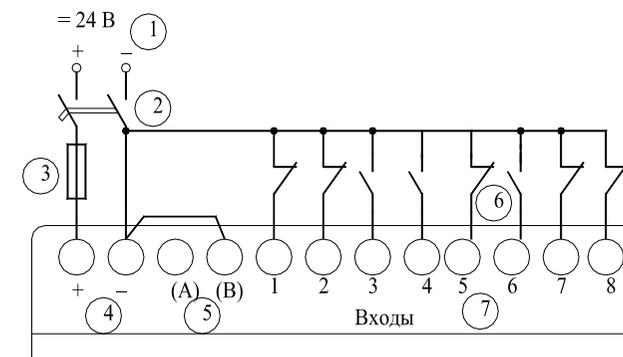
1 – источник питания переменного тока; 2 – устройство отсоединения цепи; 3 – устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 – контактные клеммы подключения источника питания переменного тока; 5 – неиспользуемые контактные клеммы; 6 – входные контактные клеммы; 7 – цифровые входные выключатели

Рисунок Е.2 – Схема электрических соединений с источником питания переменного тока и входными цепями



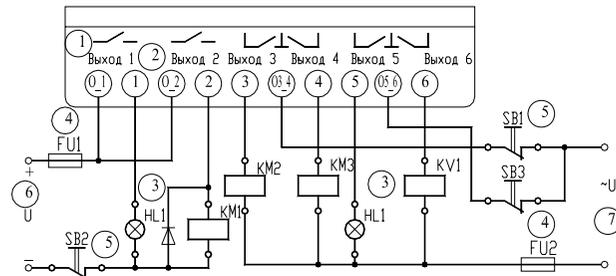
1 – источник питания постоянного тока (= 24 В); 2 – устройство отсоединения цепи; 3 – устройство защиты схемы (ограничение до 1 А); 4 – контактные клеммы подключения источника питания постоянного тока; 5 – входные контактные клеммы для соединения со стоком/источником; 6 – входные датчики-выключатели; 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 со 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 – взаимноисключающие 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)

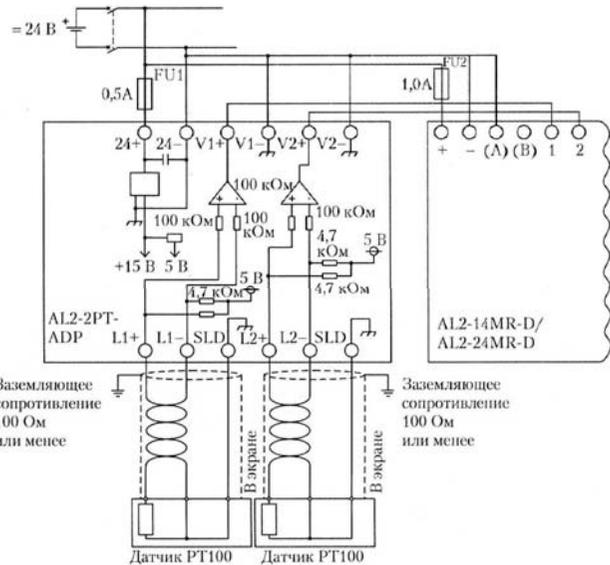


Рисунок Е.6 – Схема электрических соединений для AL2-2PT-ADP

Контроллеры серии FX (Mitsubishi Electric)

Характеристики контроллеров серии FX (Mitsubishi Electric) приведены в таблице Е.3, а некоторых дополнительных модулей – в таблице Е.4. Вид базового модуля контроллера FX2N приведен на рисунке Е.7, а обозначение зажимов базового модуля – на рисунке Е.8.

Таблица Е.3 – Модельный ряд контроллеров серии FX

Параметры	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	0,55–0,7 мкс	0,55–1 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), мм	60/60/75/100×90×49	90–185×90×75	150–350×90×87	130–285×90×86	34–86×90×74

213 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	–		
	FX2N-8EYR-ES/UL	–	8 (реле)		
	FX2N-8EYT-ESS/UL	–	8 (транзистор)		
	FX2N-16EX-ES/UL	16	–	43×90×87	
	FX2N-16EYR-ES/UL	–	16 (реле)		
	FX2N-16EYT-ESS/UL	–	16 (транзистор)		
	FX2N-32ER-ES/UL	16	16 (реле)		
	Модули расширения	FX2N-32ET-ESS/UL	16	16 (транзистор)	150×90×87
		FX2N-48ER-ES/UL	24	24 (реле)	182×90×87
FX2N-48ET-ESS/UL		24	24 (транзистор)		
FX2N-48ET-ESS/UL		24	24 (транзистор)		
Аналоговые входные модули	FX2N-2AD	2 (аналоговых)	–	43×90×87	
	FX2N-4AD	4 (аналоговых)	–	55×90×87	
	FX3U-4AD	»	–	»	
	FX2N-8AD	8 (аналоговых)	–	75×105×75	
Модули измерения и регулирования температуры	FX2N-4AD-TC	4 (аналоговых)	–	55×90×87	
	FX2N-4AD-PT	4 (аналоговых) – PT100	–		
	FX2N-4AD-2LC	2 канала: термопара и PT100	–		
Аналоговые выходные модули с выходами напряжения и тока (например, для управления преобразователями частоты)	FX2N-2DA	–	2 (аналоговых)	43×90×87	
	FX2N-4DA	–	4 (аналоговых)	55×90×87	
	FX3U-4DA	–	4 (аналоговых)	55×90×87	

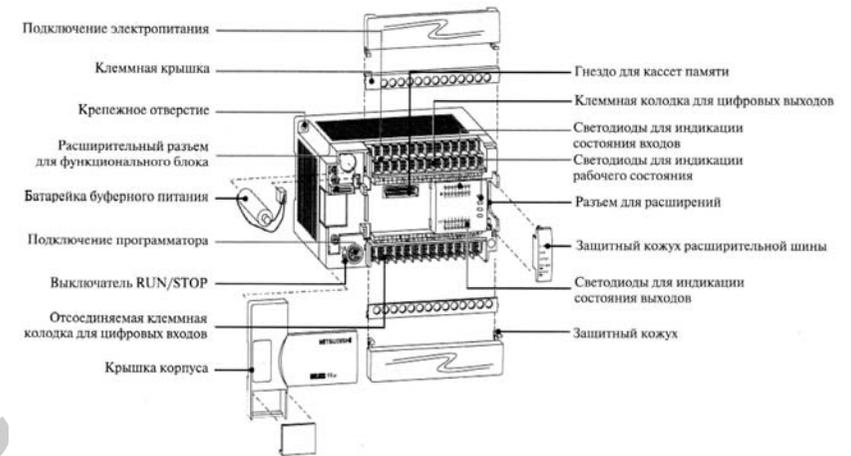
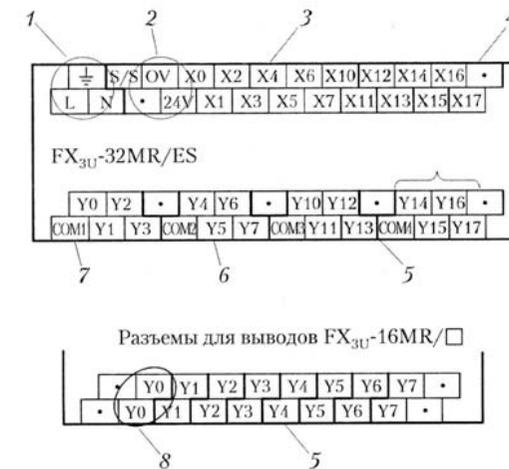


Рисунок Е.7 – Составные части контроллера FX2N



1 – разъемы для источника питания (с переменным напряжением – обозначение L и N, с постоянным напряжением – «+» 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

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.

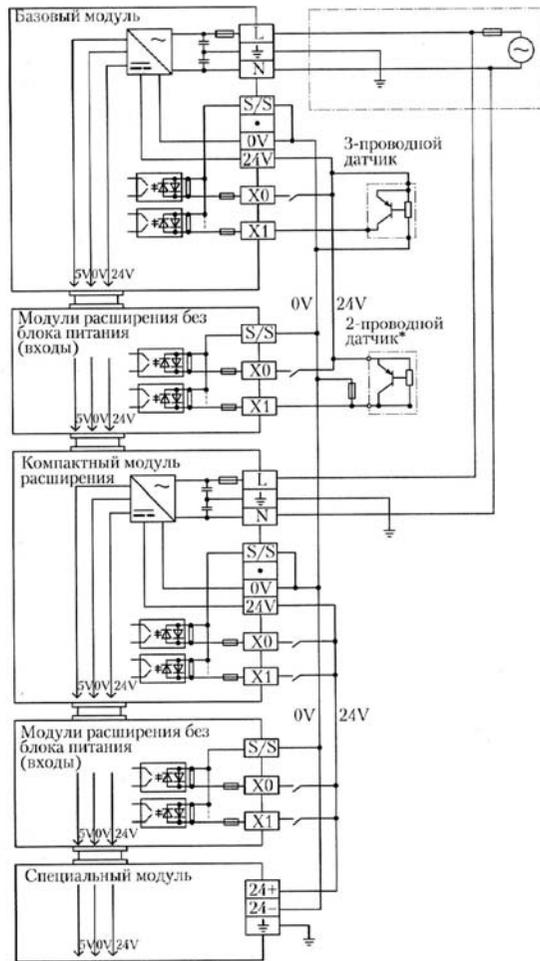


Рисунок Е.9 – Подсоединение коммутирующих плюс датчиков к базовым блокам FX с переменным напряжением питания

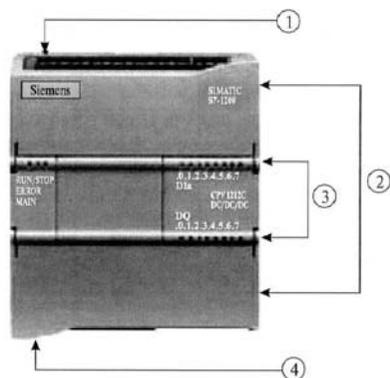
Контроллеры серии FX могут комплектоваться панелями операторов. Например, панели семейства GOT1000 обеспечивают визуализацию управления. Производственные процессы и стандарты качества становятся все более сложными, и требуются промышленные системы автоматизации, способные обеспечить контроль возрастающего количества 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.

Контроллеры линейки S7-1200 (Siemens)

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, сложные математические операции, отсчет времени 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 приведена в таблице Е.6. Сигнальная плата (SB) позволяет 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. Они подключаются с правой стороны CPU.

Схемы подключения внешних цепей к модификациям контроллера S7-1200 CPU 1214C представлены на рисунках Е.11–Е.13.



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 E.10 – Общий вид CPU S7-1200

Таблица E.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; - загрузочная память; - сохраняемая память	25 Кбайт 1 Мбайт 2 Кбайта		50 Кбайт 2 Мбайта 2 Кбайта
Локальные встроенные входы/выходы: - цифровые; - аналоговые	6 входов/ 4 выхода	8 входов/ 6 выходов	14 входов/ 10 выходов
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 E.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 входов	2 аналоговых выхода 4 аналоговых выхода	4 аналоговых входа/ 2 аналоговых выхода
Сигнальная плата (SB)	Цифровой	–	–	2 входа пост. тока / 2 выхода пост. тока
	Аналоговый	–	1 аналоговый выход	–
Коммуникационный модуль (CM) RS485 RS232				

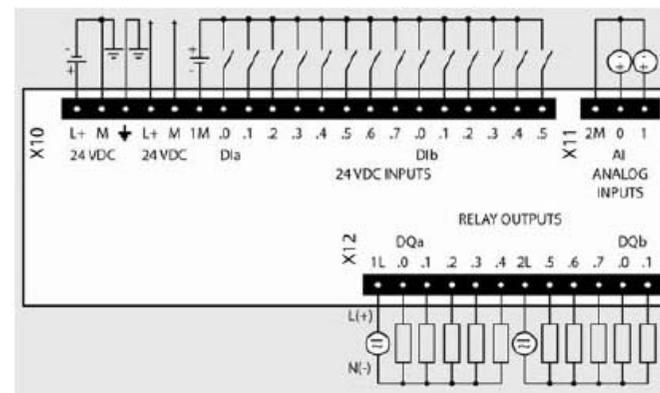


Рисунок E.11 – Схемы подключения внешних цепей к контроллеру S7-1200 CPU 1214C, модификация 6ES7 214-1AG40-0XB0 (напряжение питания = 24 В, 10 дискретных выходов, = 24 В / 0,5 А, из них 4 импульсных выхода до 100 кГц)

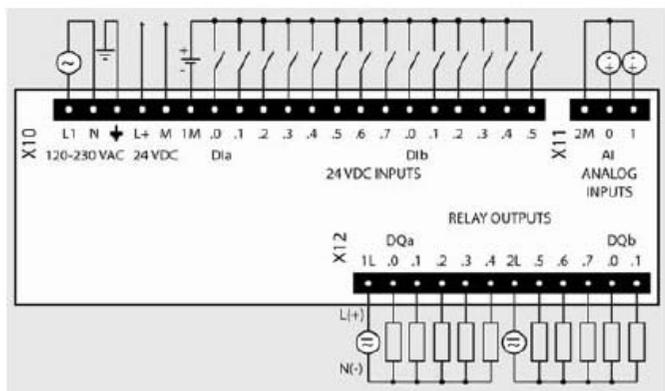


Рисунок Е.12 – Схемы подключения внешних цепей к контроллеру S7-1200 CPU 1214C, модификация 6ES7 214-1BG40-0XB0 (напряжение питания ~ 120/230 В, 10 дискретных выходов с замыкающими контактами реле, = 5...30 В / ~ 5...250 В, до 2 А на контакт)

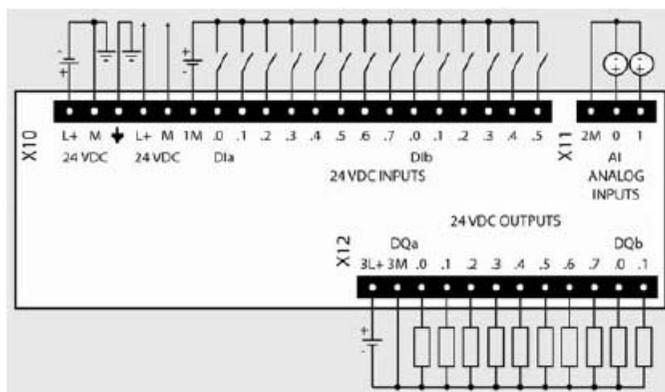


Рисунок Е.13 – Схемы подключения внешних цепей к контроллеру S7-1200 CPU 1214C, модификация 6ES7 214-1HG40-0XB0 (напряжение питания = 24 В, 10 дискретных выходов с замыкающими контактами реле, = 5...30 В / ~ 5...250 В, до 2 А на контакт)

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	1
ТСМ-1098К	Диапазон разности 3–155	120	2
ТСМ-1199-11 (14, 21, 22, 23, 31, 32)	-50...+180	40 (20)	1
ТСМ-1199-41 (42, 44, 45)	-50...+150	12	1
ТСМ-1199-5 (6)	-50...+100(+180)	16	1
Платиновые			
ТСП-1098	0...160	20	1
ТСП-1098К1	Диапазон разности 3–155	80	2
ТСП-1199-11 (14, 21, 22, 23, 31, 32)	-50...+400 (-50...+600, -50...+200)	40 (20)	1
ТСП-1199-41 (42, 44, 45)	-50...+200	12	1
ТСП-1199-43	-50...+300	8 (12)	1
ТСП-1199-5 (6)	-50...+100(+180)	16	1

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» преобразуют 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 мА.

Схема внешних подключений термопреобразователей с унифицированными сигналами приведена на рисунке Е.14.

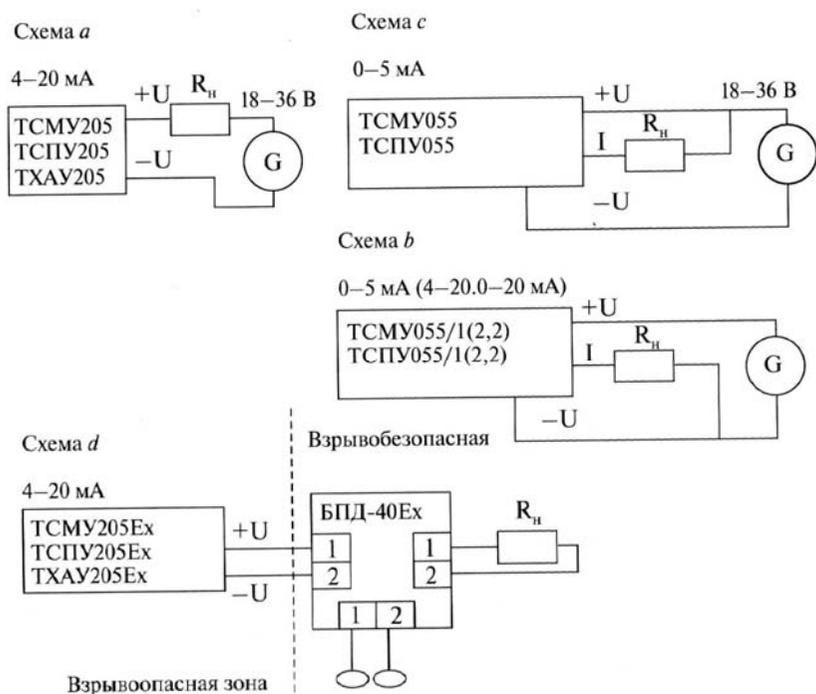


Рисунок Е.14 – Схемы внешних подключений термопреобразователей

Структура условного обозначения термопреобразователей с унифицированными сигналами: ТСМУ-205Ex – 4/160 – 0...100 °С – 0,25 %, где ТСМУ-205Ex – 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 подключения	Сопротивление нагрузки R_n , Ом
ТСМУ-055	-50...+50	30	0...5	3-проводная (b)	До 2500
ТСМУ-205	0...+100	20	4...20	2-проводная (a)	До 1000
ТСМУ-205Ex	0...+180	10	4...20	2-проводная (d)	Определяется блоком питания
ТСПУ-055	-50...+50	20	0...5	3-проводная (b)	До 2500
ТСПУ-205	0...+200	20	4...20	2-проводная (a)	До 1000
ТСПУ-205Ex	0...+300	20	4...20	2-проводная (d)	Определяется блоком питания
ТХАУ-055	0...+600	10	0...5	3-проводная (b)	Определяется блоком питания
ТХАУ-205	0...+900	10	4...20	2-проводная (a)	Определяется блоком питания
ТХАУ-205Ex		10	4...20	2-проводная (d)	Определяется блоком питания

Электродвигательные исполнительные механизмы

Электродвигательные ИМ подразделяются на одно- и многооборотные. К однооборотным относятся механизмы типа МЭОБ, МЭОК, ДР-М, МЭО и другие, 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 ИМ типа МЭП, АVM, AVF. Характеристики некоторых ИМ 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	313×374×480

223

Таблица Е.10 – Характеристика прямоходных электрических исполнительных механизмов SAUTER

Параметр	Значение параметра	
	AVM 234S	AVF 234S
Нагрузочная сила, <i>N</i>	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 (справочное)

Характеристика встроенного языка программирования AutoCAD – AutoLisp

Все или почти все, что выполняется в среде графического редактора вручную, можно реализовать программно. Для этого в AutoCAD предусмотрено несколько механизмов и средств. Одним из них является встроенный язык программирования – AutoLisp.

AutoLisp – это созданный специально для AutoCAD диалект языка LISP, полученный в результате изменения языка CommonLISP. Язык LISP разработан в 1961 г американским ученым Дж. Маккарти и является родоначальником функциональных языков. AutoLisp относится к так называемым функциональным языкам, т. е. к языкам, в основу которых положено понятие функции (в отличие от обычных операторных языков программирования – Паскаля, Си и др.). Управление программой и все вычисления и преобразования в функциональных языках осуществляются с помощью элементарных (встроенных) функций или функций, определяемых программистом при написании программы.

AutoLisp позволяет:

- использовать переменные и выражения при ответах на запросы команд AutoCAD;
- читать и писать внешние файлы, таким образом, обмениваясь с внешними программами, которые можно запускать из AutoCAD;
- создавать различные функции и новые команды AutoCAD, настраивая и расширяя графические возможности AutoCAD;
- осуществлять программный доступ (считывание и изменение) к данным, относящимся к объектам рисунка, а также к таблицам AutoCAD, в которых хранится информация о блоках, слоях, видах, стилях и типах линий;
- осуществлять программное управление графическим экраном AutoCAD и вводом/выводом с различных устройств.

К AutoLisp можно обращаться прямо с командной строки AutoCAD. Если первым символом в командной строке ввести круглую открывающую скобку, то интерпретатор командной строки

AutoCAD переходит в специальный режим – режим ввода выражения AutoLisp. Выход из этого режима осуществляется при вводе скобки, закрывающей вводимое выражение (оно может быть сложным и содержать вложенные выражения). Работа с клавиатурой в этом режиме имеет несколько особенностей. Так, клавиша «Пробел» не рассматривается больше как терминатор ввода, поскольку любое выражение AutoLisp содержит пробелы. Кроме того, выражение AutoLisp может занимать несколько строчек, поэтому передается вычислителю AutoLisp только тогда, когда введена последняя правая скобка. Каждая открывающая скобка или кавычка должна иметь свою закрывающую скобку или кавычку. Если при вводе выражения AutoCAD выдает сообщение «!>», то это говорит о том, что для правильного завершения ввода функции или выражения необходима еще одна правая круглая скобка. Следует ввести скобку, нажать «Ввод», затем «Ctrl+C» и попытаться набрать пример еще раз, внимательно следя за балансом скобок и кавычек. Если добавление скобок в ответ на этот запрос не помогает, нужно ввести кавычку, а после нее – соответствующее количество скобок, потому что если забыта кавычка, то все последующие данные (в т. ч. и круглые скобки) интерпретируются как текст и не распознаются вычислителем AutoLisp.

В программировании на языках семейства LISP используются символы и построенные на них символьные структуры. Под символом подразумевается запись или обозначение.

Символ – это имя, состоящее из букв, цифр и специальных знаков, за исключением () – круглых скобок, . – точки, ' – апострофа, " – кавычек, ; – точки с запятой. Имя обрывается круглыми скобками, апострофом, кавычками, точкой с запятой, пробелом или концом строки.

Список представляет собой упорядоченную последовательность, элементами которой являются атомы или списки. Список заключается в круглые скобки, элементы списка разделяются пробелами. Список всегда начинается с открывающейся скобки и заканчивается закрывающейся.

Атом – это неделимый элемент списка.

Понятия списка и атома являются ключевыми понятиями языков семейства LISP. Любые типы данных являются либо атомами, либо списками.

Примеры списков:

(12.6 45.7 77.8)

("CAT" "EATS" "MOUSE")

(1 (12 6.78) ("Иван" "Грозный"))

(* 2 5) (setq point (1.0 5.0 6.7))

Примеры атомов:

12.45

"TrueLove"

()

Строчковая константа выглядит как набор печатных символов, заключенных в кавычки.

Целые числа в AutoLisp могут быть положительными или отрицательными. Для определения того, включен какой-либо режим или нет, AutoCAD часто использует значения 0 и 1. Например, если режим ORTHO (ОПТО) включен, то системная переменная ORTHOMODE имеет значение единицы.

Действительные числа – это положительные или отрицательные числа с десятичной точкой.

Итак, переменная в AutoLisp может быть атомом (целого, вещественного или строкового типа), а может быть списком. Приведем пример, в котором формируется список координат точки.

Команда:

(setq a (100 200 300))

AutoLisp возвращает:

(100 200 300)

В этом примере создается переменная *a*, которая является списком.

Присваивая значение символу (идентификатору, имени переменной), пользователь автоматически создает переменную (идентификатору переменной присваивается какое-то значение), а AutoLisp автоматически назначает ей тип. Имя переменной может состоять из любых печатных символов (в т. ч. и цифр), однако не должно содержать определенных символов, которые AutoLisp интерпретирует специальным образом. Не рекомендуется использовать для имен переменных следующие символы:

- зарезервированные символы: ., ', ", ;, (,) или пробел;
- знаки операций AutoLisp: -, *, >, <, +, /.

Нельзя также использовать в качестве имен переменных имена функций AutoLisp. Все имена функций AutoLisp, а также созданные пользователем имена переменных хранятся в переменной *ATOMLIST*.

AutoLisp не различает строчные и прописные буквы. Не рекомендуется использовать имена переменных длиной более шести символов, т. к. они занимают больше памяти. Не следует также начинать имя переменной с цифры.

Поскольку с точки зрения AutoLisp все, что заключено в круглые скобки, считается списком, то рассмотрим, как AutoLisp отличает данные от управляющих конструкций – объектов, которые оперируют данными. Дело в том, что любая управляющая конструкция AutoLisp содержит объекты специального типа – функции. **Функции** AutoLisp могут быть встроенными или определенными пользователем. Встроенная функция AutoLisp (*subr*) – это тип данных, являющийся ссылкой на подпрограмму, которая выполняет над передаваемыми параметрами некоторые действия. Функция, определенная пользователем, – это обычный сложный список, но все равно он в конечном итоге содержит встроенные функции AutoLisp. Для того чтобы AutoLisp было проще искать среди элементов списка функции, их принято писать на первом месте. Список, в котором первым элементом является имя функции, будем называть **выражением**.

Любая функция AutoLisp состоит из выражений и сама является выражением. Вот основные свойства выражений:

- каждая открывающая круглая скобка должна сопровождаться закрывающей;
- сразу после открывающей круглой скобки должен стоять идентификатор операции, выполняемой при вычислении выражения (имя функции);
- после вычисления (выполнения) каждого выражения возвращается результат. Это может быть нуль (*nil*) или результат вычисления последнего подвыражения;
- с логической точки зрения любое возвращаемое значение либо истинно, либо ложно. Если значение выражения не может быть вычислено и возвращается пустое место (*nil*), то оно считается ложным. Если значение вычисляется, то выражение считается истинным – не-пусто (*non-nil*).

Выражение AutoLisp имеет вид

(функция аргумент1 аргумент2 ... аргументN)

Здесь функция – имя операции, которая должна быть выполнена. *Записывать имя функции нужно сразу же после открывающей скобки без пробела.* Аргументы представляют собой средство передачи функции. Аргументами могут быть переменные, константы, выражения. Аргументы могут быть обязательными и необязательными. Следует также внимательно следить за типом аргументов: если функция производит операции над числами, то ей нельзя передать строку, и наоборот. Иначе говоря, если функция или команда AutoCAD должна принять в качестве аргумента строку, то все символы, введенные в ответ на запрос, считаются элементами строки.

AutoLisp анализирует выражение слева направо, пока не встретится закрывающая или открывающая скобка. Если встречается закрывающая скобка, то AutoLisp завершает анализ выражения, выполняет функцию и передает ее значение на уровень старше или в AutoCAD. Если встречается открывающая скобка, AutoLisp переходит к выражению на уровень младше и, пока не завершит его анализ, не перейдет к дальнейшему анализу выражения предыдущего уровня. Таким образом, порядок анализа выражений в AutoLisp задан жестко, что исключает путаницу.

Рассмотрим основные классы функций AutoLisp.

Функция присвоения. В AutoLisp имеется специальная функция *setq*, которая присваивает переменной нужное пользователю значение, т. е. заносит указанное значение в ячейку с именем переменной. Алгебраическая запись присвоения: $x = 3$. В AutoLisp то же действие записывается как *(setq x 3)*. Это связано с тем, что, как уже отмечалось, AutoLisp – функциональный язык и в нем нет операторов (в т. ч. и оператора присвоения), а есть функции, производящие определенные действия над своими параметрами.

После того как некоторой переменной присвоено значение, можно в любое время посмотреть это значение в командной строке AutoCAD. Восклицательный знак «!», введенный в командной строке, сообщает интерпретатору командной строки AutoCAD, что следующий за ним идентификатор является именем переменной AutoLisp. Встретив восклицательный знак, интерпретатор командной строки передает следующее за ним имя AutoLisp, которое возвращает значение переменной с этим именем.

В одной функции *setq* можно осуществить несколько присваиваний: *(setq a "Новый" b 3.14 c (34.0 77.6 55.4))*

Математические функции. AutoLisp имеет достаточно широкий набор встроенных функций, позволяющих производить математические вычисления (таблица Ж.1). Аргументами математических функций являются числа, которые могут быть как целыми, так и вещественными. Если все аргументы – целые числа, то результат операции также будет целым числом, а любая дробная часть будет опущена; если хотя бы один аргумент – вещественное число, то результат операции также будет вещественным числом.

Функции AutoLisp могут быть, за очень редким исключением, вложенными. Например, чтобы вычислить корень квадратный из суммы квадратов двух чисел, можно записать

(setq a (sqrt (+ (c c) (* b b))))*

Таблица Ж.1 – Список математических функций

Функция	Назначение
1	2
<i>(+ число1 число2 ...)</i>	Возвращает сумму всех аргументов
<i>(- число1 число2 ...)</i>	Вычитает <i>число2</i> из <i>числа1</i> и возвращает разность. Если задано более двух аргументов, то из первого аргумента вычитается сумма всех остальных. Если задан один аргумент, то он вычитается из нуля (его знак инвертируется)
<i>(* число1 число2 ...)</i>	Возвращает произведение всех чисел
<i>(/ число1 число2 ...)</i>	Делит <i>число1</i> на <i>число2</i> и возвращает частное. Если задано более двух аргументов, то первое число делится на произведение всех остальных
<i>(1+ число)</i>	Увеличение целого или действительного аргумента на единицу
<i>(1- число)</i>	Уменьшение целого или действительного аргумента на единицу
<i>(atan число1 [число2])</i>	Если не задано <i>число2</i> , то возвращает арктангенс переменной <i>число1</i> в радианах, область допустимых значений – $[-\pi, \pi]$ радиан. Если заданы оба числа, то возвращается арктангенс переменной <i>число1/число2</i> в радианах. Если <i>число2</i> – нуль, то в зависимости от знака переменной <i>число1</i> возвращается + или $-1,570796$ радиан (+90 или -90)

Окончание таблицы Ж.1

1	2
<i>(abs число)</i>	Вычисление абсолютного значения целого или действительного числа
<i>(sin число)</i>	Возвращает значение синуса угла, заданного аргументом в радианах
<i>(cos число)</i>	Возвращает значение косинуса угла, заданного аргументом в радианах
<i>(exp степень)</i>	Вычисляет значение экспоненциальной функции с основанием <i>e</i> и аргументом, равным его числовому значению
<i>(expt основание степень)</i>	Вычисляет значение экспоненциальной функции с указанными основанием и степенью
<i>(gcd число1 число2)</i>	Возвращает наибольший общий делитель (Greatest Common Denominator) указанных аргументов
<i>(log число)</i>	Возвращает натуральный логарифм аргумента
<i>(max число1 число2 ...)</i>	Возвращает наибольший аргумент. Эта функция, в отличие от многих других, не изменяет тип чисел
<i>(min число1 число2 ...)</i>	Возвращает наименьший аргумент. Не изменяет тип чисел
<i>(rem число1 число2 ...)</i>	Возвращает остаток (Remainder) от деления переменной <i>число1</i> на переменную <i>число2</i> (математическая запись: <i>число1 mod число2</i>)
<i>(sqr число)</i>	Извлекает квадратный корень из аргумента. Возвращаемый результат всегда вещественный
<i>(lsh число1 числобит)</i>	Возвращает побитовый сдвиг <i>числа1</i> на число <i>числобит</i>

Примечание – В квадратные скобки помещается необязательный аргумент.

Функции преобразования приведены в таблице Ж.2.

Таблица Ж.2 – Список функций преобразования

Функция	Назначение
1	2
<i>(itoa целое)</i>	Возвращает результат преобразования целого числа в строковую константу
<i>(atoi строка)</i>	Возвращает преобразование строковой константы в целое число
<i>(atof строка)</i>	Возвращает преобразование строковой константы в действительное число

Окончание таблицы Ж.2

1	2
<i>(strcase строка символ)</i>	Переводит все символы аргумента <i>строка</i> в нижний регистр, если признак не nil, если признак опущен или равен nil – в верхний
<i>(substr строка)</i>	Возвращает подстроку аргумента <i>строка</i> , начинающегося с символа <i>целое1</i> и длиной <i>целое2</i> . Первый символ строки имеет номер 1
<i>(strlen строка)</i>	Возвращает длину в символах аргумента <i>строка</i>
<i>(strcat строка1 строка2 ...)</i>	Осуществляет сцепление аргументов <i>строка</i>
<i>(chr число)</i>	Возвращает результат преобразования целого числа в символьный код ASCII, причем результатом является строковая константа. Например, <i>(chr 65)</i> возвратит символ (строковую константу) «A»
<i>(ascii строка)</i>	Возвращает преобразование одного символа, указываемого в виде строковой константы, в код ASCII
<i>(fix число)</i>	Возвращает результат преобразования действительного числа в целое. Преобразование осуществляется усечением (отбрасыванием) дробной части
<i>(float число)</i>	Возвращает результат преобразования целого числа в действительное
<i>(rtos число [режим [точность]])</i>	Возвращает текстовую строку, которая представляет число (вещественную величину) в соответствии со значениями режима, точности и системной переменной AutoCAD <i>DIMZIN</i> . Режим и точность – целые числа, которые назначают режим представления числа и его точность: 1 – научный; 2 – десятичный; 3 – инженерный (футы и десятичные дюймы); 4 – архитектурный (футы и дробные дюймы); 5 – произвольные дробные части
<i>(type элемент)</i>	Возвращает тип элемента

Логические функции. AutoLisp предоставляет широкие возможности конструирования логических выражений и выполнения над ними логических операций (таблица Ж.3).

Логический оператор – это функция, сравнивающая между собой два или больше аргумента. Результат сравнения (т. е. некоторое

утверждение, касающееся двух аргументов) может быть либо истиной (T), либо ложью (nil).

Таблица Ж.3 – Список логических функций

Функция 1	Назначение 2
<i>(end выражение1 выражение2 ...)</i>	Возвращает результат выполнения логического И над списком выражений. Возвращается nil, если хотя бы одно из выражений имеет значение nil, в противном случае – T
<i>(not элемент)</i>	Возвращает результат выполнения логического НЕ над своим аргументом
<i>(or выражение1 выражение2 ...)</i>	Возвращает результат выполнения логического ИЛИ над списком выражений. Возвращается nil, если все аргументы имеют значение nil; если при оценке аргументов слева направо встречается выражение не-nil, возвращается T
<i>(= атом1 атом2 ...)</i>	Возвращает T, если все атомы равны, в противном случае возвращается nil
<i>(/= атом1 атом2)</i>	Возвращает T, если <i>атом1</i> не равен <i>атому2</i> . В противном случае возвращает nil. Функция определена только для двух аргументов
<i>(< атом1 атом2 ...)</i>	Возвращает T в том случае, если каждый последующий атом меньше предыдущего. В противном случае возвращает nil
<i>(<= атом1 атом2 ...)</i>	Возвращает T в том случае, если каждый последующий атом меньше или равен предыдущему. В противном случае возвращает nil
<i>(> атом1 атом2 ...)</i>	Возвращает T в том случае, если каждый последующий атом больше предыдущего. В противном случае возвращает nil
<i>(>= атом1 атом2 ...)</i>	Возвращает T в том случае, если каждый последующий атом больше или равен предыдущему. В противном случае возвращает nil
<i>(eq выражение1 выражение2)</i>	Определяет, идентичны ли <i>выражение1</i> и <i>выражение2</i> , т. е. являются ли они фактически одним объектом (порожден ли один из другого при помощи функции <i>setq</i>). Возвращает T, если оба выражения идентичны, в противном случае – nil

Продолжение таблицы Ж.3

1	2
<i>(equal выражение1 выражение2 [допуск])</i>	Определяет, равны ли <i>выражение1</i> и <i>выражение2</i> , т. е. равны ли их значения. При сравнении двух действительных чисел (или двух списков действительных чисел, например точек) важно осознавать, что два «идентичных» числа могут незначительно отличаться друг от друга, если они вычислялись различными методами. Однако факультативный численный аргумент <i>допуск</i> позволяет задать максимальную точность, с которой могут отличаться друг от друга <i>выражение1</i> и <i>выражение2</i> , оставаясь при этом <i>equal</i> . Например, пусть <i>(setq a 1.123456)</i> <i>(setq b 1.123457)</i> . Тогда <i>(equal a b)</i> возвращает nil, <i>(equal a b 0,000001)</i> возвращает T
<i>(~ целое)</i>	Возвращает логическое НЕТ (дополнение до единицы) своего аргумента. Аргумент должен быть целым числом
<i>(Boole кодфункции целое1 целое2 ...)</i>	Определяет битовую функцию Булевой алгебры, производимой над двумя целыми аргументами. Функции кодируются следующим образом: <i>Целое1 Целое2 Функция</i> 0 0 8 0 1 4 1 0 2 1 1 1
<i>(minusp элемент)</i>	Возвращает T, если <i>элемент</i> является целым или действительным отрицательным числом. В противном случае возвращает nil
<i>(zerop элемент)</i>	Возвращает T, если <i>элемент</i> является целым или действительным нулем. В противном случае возвращает nil
<i>(numberp элемент)</i>	Возвращает T, если <i>элемент</i> является целым или действительным числом. В противном случае возвращает nil
<i>(logand число1 число2 ...)</i>	Возвращает результат действия побитового И над списком чисел. Числа должны быть целыми, и результат тоже будет целым. Работает функция следующим образом. Каждое число

Окончание таблицы Ж.3

1	2
	представляется в двоичном виде, затем соответствующие разряды чисел собираются в список. Если в этом списке находится хотя бы один нуль, то соответствующий разряд результирующего числа будет нулем; если в списке все единицы, то разряд результирующего числа равен единице
<i>(logior число1 число2 ...)</i>	Возвращает результат действия побитового ИЛИ над списком чисел. Числа должны быть целыми, и результат тоже будет целым. В этой функции каждое число также представляется в двоичном виде, затем соответствующие разряды чисел собираются в список. Если в этом списке находится хотя бы одна единица, соответствующий разряд результирующего числа будет единицей; если в списке все нули, то разряд результирующего числа равен нулю
<i>(listp элемент)</i>	Возвращает Т, если элемент является списком, в противном случае – nil
<i>(atom элемент)</i>	Возвращает nil, если элемент является списком, в противном случае – Т. Любой элемент, который не является списком, считается атомом
<i>(null элемент)</i>	Возвращает Т, если элемент вычисляется в nil, в противном случае – nil
<i>(boundp атом)</i>	Возвращает Т, если атом имеет некоторое значение, в противном случае – nil

Функции ввода данных. Для ввода данных с клавиатуры в AutoLisp существует семейство функций *get*. Своя функция *get* есть для всех основных типов данных. Все аргументы функций этого семейства необязательны. Все функции *get* могут иметь в качестве аргумента произвольную строковую константу, в которой может содержаться текст запроса или какая-то подсказка, выводимая при запросе пользователю ввести какие-то данные. Все функции *get* ожидают ответа пользователя, т. е. приостанавливают выполнение программы до тех пор, пока не будет осуществлен ввод (нажата клавиша «Ввод»). Ввод может быть осуществлен как с клавиатуры, так и при помощи устройства указания.

Все вводимые данные автоматически преобразуются в нужный тип данных. В ответ на запрос функций семейства *get* нельзя вводить выражение AutoLisp: это приведет к ошибке и выводу сообщения «Не могу войти в AutoLisp повторно». Вот список этих функций.

(getangle [точка] [текст запроса-подсказки])

Возвращает угол в радианах между задаваемым пользователем вектором и положительным направлением оси *x* в текущей плоскости построений вне зависимости от текущей установки переменных. Начальная точка вектора может быть определена первым аргументом функции. Вторую точку вектора можно указать на экране мышью, при этом AutoCAD нарисует «резиновую» линию от точки, указанной первым аргументом, до текущего положения курсора. Если первый аргумент опущен, AutoCAD потребует ввода двух точек. Функция измеряет относительный угол (угол относительно нулевого направления оси *x*).

(getconer точка [текст запроса-подсказки])

Как и *getpoint*, возвращает координаты указанной пользователем точки в текущей ПСК. Отличие от *getpoint* заключается в том, что функция *getcorner* строит «резиновую» рамку при передвижении курсора по экрану. Первый угол рамки может быть определен первым аргументом функции. В этой функции первый аргумент обязателен.

(getdist точка [текст запроса-подсказки])

Какими бы ни были текущие единицы измерения, эта функция всегда возвращает действительное число введенного расстояния.

(getint [текст запроса-подсказки])

Ввод целого числа.

(getorient [точка] [текст запроса-подсказки])

То же, что и *getangle*, однако измерение угла осуществляется относительно текущего направления измерения углов, а не относительно нулевого направления оси *x* (измеряет абсолютный угол).

(getpoint [точка] [текст запроса-подсказки])

Позволяет ввести точку. Если первый аргумент присутствует, AutoCAD рисует «резиновую» линию от точки, определяемой первым аргументом.

(getreal [текст запроса-подсказки])

Позволяет ввести действительное число. Ввод может быть осуществлен только с клавиатуры.

(getstring [флагпробела] [подсказка])

Запрашивает строковую константу и возвращает ее. Если строка длиннее 132 символов, то возвращаются первые 132 символа. Если во введенной строке имеется символ обратной косой черты, то он заменяется на две обратные косые черты. Если флаг пробела присутствует и не равен nil, вводимая строка может содержать пробелы и завершением ввода считается нажатие клавиши «Ввод».

Функции ветвления программ. Каждая программа имеет свою логическую структуру. Ветвление – это способ управления ходом выполнения программы. Условные операторы – это средство управления ветвлением программ. AutoLisp имеет две функции ветвления, *if* и *cond*. Условное ветвление подразумевает проверку какого-то условия, по результатам которой осуществляется переход. Условия содержатся в условных выражениях, использующих операторы отношения и логические операторы. Условные выражения могут содержать любые выражения AutoLisp.

(cond (тест1 результат1 ...) ...)

Воспринимает в качестве аргументов любое число списков. Оценивает по очереди первые элементы списков до тех пор, пока не встретится элемент, отличный от nil. Затем вычисляется то выражение, которое следует за *тест1*, и возвращается значение последнего выражения в подсписке. Если в подсписке только одно выражение (например, результат отсутствует), то возвращается значение выражения *тест1*.

(if тест-выражение выражение-тогда выражение-иначе)

Возвращает значение выполненного по условию выражения. Если *тест-выражение* не nil, то исполняется *выражение-тогда*, в противном случае – *выражение-иначе*. Последнее выражение не обязательно. Если оно отсутствует и *тест-выражение* – nil, то *if* возвращает nil.

Иногда по условию требуется выполнить не одно, а несколько выражений, в то время как функция *if* не позволяет этого. В этом случае используют функцию *progn*, которая последовательно вычисляет каждое выражение и возвращает значение последнего: *(progn выражение1 выражение2 ...)*.

Например:

(if (= a b)(progn

(setq a (+ a 10))

(setq b (- b 10))

)

Функции организации циклов. Простейшим оператором повтора является оператор *repeat*. Эта функция повторяет любое число операторов указанное число раз. Возвращается последнее значение последнего выражения цикла. Синтаксис:

(repeat число выражение1 выражение2 ...)

Функция *while* похожа на функцию *repeat*, однако число повтора не определено, а выход из цикла осуществляется по условию. В начале выполнения каждого цикла проверяется условие и, если оно выполняется, выполняется тело цикла, после чего опять проверяется условие, и так до тех пор, пока *выражение-условие* не станет ложным. Если *выражение-условие* изначально было ложным и входения в тело цикла не было, *while* возвращает nil, в противном случае – результат последнего выражения. Удобно использовать *while* для проверки правильности ввода, закливая ввод до тех пор, пока введенные данные не будут удовлетворять заданным условиям.

Цикл *while* можно использовать также для организации итераций. Итерация – это процесс повторения группы вычислений до тех пор, пока результат вычисления одного или более выражений не станет удовлетворять заданному условию. Условное выражение итерационного цикла *while* обычно содержит некоторую переменную, значение которой изменяется в процессе выполнения тела цикла. Синтаксис *while*:

(while тест-выражение выражение1 выражение2 ...)

Еще одним типом функции – организатора цикла является функция *foreach* (буквально – «для каждого»). Это специальное средство AutoLisp, предназначенное для работы со списками. Синтаксис:

(foreach имя список выражение1 выражение2 ...)

Эта функция, проходя по списку, присваивает каждому элементу имя и вычисляет каждое выражение для каждого элемента списка. Может быть задано неограниченное число выражений. Возвращается результат последнего вычисленного выражения.

(apply функция список)

Данная функция выполняет функцию с аргументом, который представлен списком.

Для выполнения какой-либо одной операции над всеми элементами одного или нескольких списков служит функция

(mapcar функция список1 список2 ... списокN)

Число списков должно соответствовать числу аргументов, требующихся для функции. Функции возвращают список результатов.

Если пользователю необходимо использовать свою функцию, она должна быть заранее определена с помощью *defun*. Однако в AutoLisp есть механизм создания так называемой анонимной функции:

(lambda аргументы выражение ...)

Функции работы со списками. Список AutoLisp может содержать любое количество целых и действительных чисел, строк, переменных или других списков. Все, что находится между открывающей и закрывающей круглыми скобками, – список. Списки удобно использовать для организации и обработки больших массивов связанных данных. AutoLisp имеет развитые средства работы со списками. Они описаны ниже.

(list выражение1 выражение2)

Эта функция просто составляет список из своих аргументов. Например, выражение *(list 5.5 8.0)* возвращает список, содержащий два действительных числа: *(5.5 8.0)*. Этот способ часто используется в AutoLisp для создания новых точек из известных координат.

(quote выражение) или *выражение*

Функция *quote* (буквально – «цитировать») подавляет оценку своего выражения. Это бывает нужно при формировании списка. Например, выражение *(list 'a 'b 'c)* формирует список *(a b c)*.

Поскольку список представляет собой группу элементов, может возникнуть необходимость извлечения одного элемента из списка. Для этого предназначены две простейшие функции:

(car список)

Возвращает первый элемент списка. Если список пуст, возвращается *nil*;

(cdr список)

Возвращает все элементы списка, кроме первого. Если список пуст, возвращается *nil*. Если элементом списка является точечная

пара, функция возвращает последний элемент, не включая его в список.

Из этих простейших функций составлены сцепления функций извлечения элементов списка вплоть до четырех уровней вложенности:

- *(caarx)* эквивалентно *(car (car x))*;

- *(cdarx)* эквивалентно *(cdr (car x))*;

- *(cadar x)* эквивалентно *(car (cdr (car x)))*;

- *(cadr x)* эквивалентно *(car (cdr x))*;

- *(cddr x)* эквивалентно *(cdr (cdr x))*;

- *(caddr x)* эквивалентно *(car (cdr (cdr x)))*.

В AutoLisp *cadr* часто используются для извлечения координаты *y* двумерной или трехмерной точки, а *caddr* – для извлечения *z*. Для этой же цели можно воспользоваться функцией *nth*:

(nth список)

Извлекает элемент списка с нужным номером. Однако первый элемент списка имеет номер 0, а не 1 (функция *nth* считает не 1, 2, 3..., а 0, 1, 2...).

Кроме того, к средствам поддержки списков относятся нижеперечисленные функции.

(last список)

Возвращает последний элемент списка, причем список не должен быть равен *nil*. Не рекомендуется использовать эту функцию для извлечения *y*- или *z*-координаты точки, поскольку это требует дополнительных усилий по поддержке правильной размерности точек.

(reverse список)

Возвращает *список* с элементами, переставленными в обратном порядке.

(length список)

Возвращает целое число, равное числу элементов в *списке*.

(append выражение1 выражение2 ...)

Берет любое число выражений (списков) и соединяет их в один список.

(cons выражение список)

Эта функция, наряду с функцией *list*, используется для создания списков. Она добавляет в начало списка новый элемент, которым может быть также и *выражение*.

Вызов команд AutoCAD из программы на AutoLisp. Ввод данных в программу на AutoLisp и вспомогательные вычисления над ними призваны служить автоматизации проектирования. Поэтому в AutoLisp есть средство, позволяющее обращаться к командам AutoCAD из программ пользователя. Таким средством является функция AutoLisp *command*:

(*command* аргумент1 аргумент2 ...)

Эта функция выполняет команду AutoCAD из AutoLisp и всегда возвращает nil. Аргументы представляют собой команды AutoCAD и их опции. Каждый аргумент вычисляется и посылается в AutoCAD как ответ на соответствующий запрос. Имена команд и опции представлены в виде строковых констант, двумерные и трехмерные точки – соответственно в виде списков из двух или трех действительных чисел. Пустая строка функции *command* равносильна нажатию пробела на клавиатуре. Вызов *command* без аргументов равносильно нажатию Ctrl+C с клавиатуры и прерывает большинство команд AutoCAD.

На использование этой функции налагаются некоторые ограничения:

- функции семейства *get* не могут быть вложены в функцию *command*. Следует присваивать переменным все необходимые значения заранее;

- с помощью функции *command* нельзя работать с такими командами AutoCAD, как ДТЕКСТ, ЭСКИЗ, ПЕЧАТАЙ и ПАКЕТ, а также с командами, объявленными пользователем (*deflin C:команда*);

- нельзя использовать восклицательный знак для указания команде AutoCAD значения переменной.

Если в строке аргументов команды, вызываемой функцией *command*, встречается ключевое слово «Pause», то функция *command* приостановит свое действие, чтобы пользователь ввел значение или произвел отслеживание. В этот момент можно выполнить «прозрачную» команду, после чего выполнение функции *command* возобновится. Это позволяет, в процессе выполнения функции *command* использовать команды ПОКАЖИ, ПАН и др. Пауза будет длиться до тех пор, пока не будет введен допустимый аргумент и пока не выполнятся все «прозрачные» команды. При этом, если функция *command* требует ввода, запрос может быть удовлетворен с помощью меню. Для приостановления действия меню следует ввести обратную косую черту.

Специальные функции. Из AutoLisp можно управлять некоторыми режимами графического редактора, не обращаясь к функциям AutoCAD. К встроенным функциям AutoLisp, управляющим графическим редактором, можно отнести следующие.

(*graphscr*)

Переключает экран из текстового режима в графический в системах с одним экраном (эквивалентна клавише переключения экрана – F1).

(*textscr*)

Переключает экран из графического режима в текстовый в системах с одним экраном (эквивалентна клавише переключения экрана – F1).

(*textpage*)

Аналогична функции *textscr*, за исключением того, что она очищает текстовый экран от любого отображаемого на нем текста.

(*grclear*)

Очищает текущий видовой экран. На одноэкранных системах это первоначально приведет к переключению из текстового режима в графический, при этом зоны команд и состояния меню останутся без изменения. Первоначальное состояние графического экрана может быть восстановлено с помощью функции *redrow* без аргументов.

(*redrow* [имя_примитива [режим]])

Действие данной функции зависит от количества аргументов. Если аргументов нет, то она перерисовывает текущий видовой экран, как это делает команда AutoCAD 'REDRAW ('ОСВЕЖИ). Если она вызывается с аргументом *имя_примитива*, то перерисован будет только этот выбранный примитив.

(*grdraw* от к цвет [подсветка])

Рисует вектор между двумя точками на текущем экране. Координаты точек *от* и *к* определяют конечные точки отрезка в текущей ПСК. Вектор подрезается до видимой на экране части. Цвет вектора задается целочисленным аргументом *цвет*. Если это значение равно –1, то *цвет* корректирует цвет линии, поверх которой он отрисовывается, до цвета фона, что делает данный фрагмент невидимым. Если аргумент *подсветка* присутствует и не равен нулю, то вектор изображается подсвеченным, как выбранный примитив, если дисплей способен это отобразить. При отсутствии этого аргумента или при нулевом его значении используется обычный режим отрисовки.

(*grtext* [бокс текст [подсветка])

Обеспечивает доступ к текстовым частям графического экрана AutoCAD. Если аргумент *бокс* присутствует и равен целому числу

в пределах от нуля до наибольшего нумерованного бокса экранного меню минус единица, высвечивается строковый аргумент *текст* в заданном боксе экранного меню. Если текст не помещается, он усекается. При слишком коротком тексте он дополняется пробелами. Если функцию вызвать без аргументов, текстовые поля экрана придут к стандартному виду.

(*grread [отслеживание]*)

Позволяет непосредственно считывать информацию с устройств ввода AutoCAD, отслеживая перемещения устройства указания. Аргумент *отслеживание*, если он присутствует и не равен nil, дает возможность вернуть координаты движущегося устройства указания, не требуя нажатия на кнопку ввода.

(*vports*)

Возвращает список дескрипторов видовых экранов, действующих в настоящий момент. Каждый дескриптор видового экрана – это список, содержащий номер видового экрана и координаты его нижнего левого и правого верхнего углов.

Геометрические функции. В этом разделе собраны функции пересчета одних параметров, определяющих построение графических примитивов из AutoLisp, в другие.

(*osnap точка режим*)

Возвращает *точку*, которая является результатом применения объектной привязки, задаваемой в строке *режим* для указанной точки. *Режим* – строковая константа, состоящая из одного или более идентификаторов объектной привязки, как, например, «середина», «центр» и т. д., разделенных запятыми. Если аргумент *точка* – двумерная точка (список из двух действительных чисел), то будет возвращена двумерная точка. Если не найдено ни одной точки, соответствующей режиму объектной привязки, то будет возвращен nil.

(*polar точка угол расстояние*)

Возвращает *точку* в ПСК, находящуюся под заданным углом и на определенном расстоянии от заданной точки. Угол измеряется в радианах в направлении против часовой стрелки от оси *x*. Хотя точки могут быть и трехмерными, угол всегда определяется в текущей плоскости построений.

(*distance точка1 точка2*)

Возвращает расстояние между двумя трехмерными точками. Если значение системной переменной *FLATLAND* не равно нулю, функция *distance* предполагает двумерные точки (игнорируя координату *z*

переданной точки) и возвращает расстояние между проекциями указанных трехмерных точек на текущую плоскость построений.

(*angle точка1 точка2*)

Возвращает угол в радианах, образованный лучом, направленным из *точки1* в *точку2*, и осью *x* текущей плоскости построений. Угол измеряется против часовой стрелки. Трехмерные точки проецируются на текущую плоскость построений.

(*inters точка1 точка2 точка3 точка4 [неопред]*)

Возвращает *точку* пересечения двух отрезков (*точка1; точка2*) и (*точка3; точка4*). Все точки выражены координатами текущей ПСК. Если значение системной переменной *FLATLAND* равно нулю, то точки считаются трехмерными и контролируется пересечение в трехмерном пространстве. В противном случае отрезки проецируются на текущую плоскость построений и пересечение контролируется на плоскости. Если факультативный аргумент *неопред* присутствует и является nil, то контролируется пересечение не отрезков, а определяемых ими прямых и *inters* будет возвращать *точку* пересечения даже в том случае, если она не принадлежит ни одному из отрезков. Если же факультативный аргумент *неопред* отсутствует или не является nil, то *точка* пересечения должна принадлежать обоим отрезкам (отрезки должны пересекаться), иначе будет возвращен nil.

(*trans точка из в [вектор]*)

Преобразует координаты точки или величину перемещения из одной системы координат в другую. Аргумент *точка* – список из трех действительных чисел, который можно интерпретировать либо как трехмерную точку, либо как трехмерное перемещение (вектор); *из* – код системы координат, в которой находится указанная точка, а *в* – код системы координат, в которой происходит преобразование координат точки. Если имеется факультативный аргумент *вектор* и его значение не равно нулю, то аргумент *точка* будет трактоваться как трехмерное перемещение.

Функции работы с файлами. При работе с AutoLisp может потребоваться записать ту или иную информацию в файл или принять ее оттуда. Средства работы с файлами в AutoLisp не слишком развиты, однако для большинства повседневных нужд этого достаточно.

(*open имя_файла режим*)

Открывает файл (возвращается дескриптор файла). Режим представляет собой флаг чтения или записи:

R – открыть файл для чтения. Если файл с данным именем не существует, возвращается nil.

W – открыть файл для записи. Если файл с данным именем не существует, создается и открывается новый файл. Если такой файл существует, то хранящиеся в нем данные будут утеряны.

(close дескриптор_файла)

Завершает все процессы, инициированные функцией *open*. После закрытия файла использование *дескриптор_файла* невозможно, хотя сам дескриптор файла не изменяется. Использование *close* обязательно: все открытые файлы должны быть закрыты, иначе данные могут быть потеряны.

(findfile имя_файла)

Отыскивает файл под названием *имя_файла* (т. е. возвращает полное имя файла по указанному основному имени) в каталогах, хранящих файлы AutoCAD. Такое полное имя можно передавать функции *open*.

(read строка)

Возвращает первый список или атом из данной *строки*, причем *строка* не должна содержать пробелов, за исключением находящихся в списке. Возвращает аргументы, задавая им соответствующий тип данных.

(read-char [дескриптор_файла])

Считывает единичный символ из буфера клавиатуры или из открытого файла, заданного аргументом *дескриптор_файла*. Возвращается целое число – код ASCII считанного символа. Если *дескриптор_файла* не задан и буфер клавиатуры пуст, функция ожидает ввода символа (пользователь должен ввести что-либо с клавиатуры и нажать клавишу «Ввод»). Например, если в ответ на запрос функции *read-char* пользователь введет с клавиатуры «ABC» и завершит ввод нажатием клавиши «Ввод», то функция *read-char* возвратит код 65 (код ASCII латинской буквы «A»). При следующих трех обращениях к *read-char* она возвратит соответственно 66, 67 и 10 (код перевода строки). Если последует пятый вызов функции *read-char*, она снова будет ожидать ввода.

(read-line [дескриптор_файла])

Считывает строку символов, введенных с клавиатуры, или из открытого файла, заданного аргументом *дескриптор_файла*. Возвращается считываемая строка. Если достигнут конец файла, возвращается nil.

(write-char число [дескриптор_файла])

Записывает один символ на экран или в открытый файл, заданный аргументом *дескриптор_файла*. Здесь *число* – код ASCII символа, и функция возвращает его значение. Функция *write-char* не может записать в файл символ nul (код ASCII 0).

(write-line строка [дескриптор_файла])

Записывает строковую константу *строка* на экран или в открытый файл, заданный аргументом *дескриптор_файла*. Функция возвращает *строку*, взятую в кавычки, и опускает кавычки при записи в файл.

(prin1 [выражение [дескриптор_файла])

Выводит *выражение* на экран или в открытый файл, заданный аргументом *дескриптор_файла*, без пробелов и переходов на новую строку и возвращает *выражение*. *Выражение* может быть любым, а не только строковой константой.

(princ [выражение [дескриптор_файла])

Данная функция, в отличие от предыдущей, предназначена для печати управляющих символов в выражении без расширения, т. е. так, как они могли считываться функциями типа *read-line*.

(print [выражение [дескриптор_файла])

Данная функция, в отличие от предыдущей, предназначена для печати выражения с новой строки с последующим пробелом.

(terpri)

Печатает новую строку на экране и возвращает nil.

(prompt сообщение)

Высвечивает *сообщение* в зоне подсказок экрана и возвращает nil. *Сообщение* – это строка символов.

Создание функции

В AutoLisp пользователь может создавать новые функции. Функция *defun* определяет функцию посредством создания структурированного списка операторов программы. Определенная пользователем функция создает собственную замкнутую область локальных переменных. При вызове функции в эту замкнутую область передаются данные, выполняются операторы программы, после чего осуществляется передача данных обратно в среду AutoLisp – AutoCAD. Формат функции *defun* следующий:

(defun имя (аргументы / локальные параметры) тело функции)

Правила именования функций аналогичны правилам именования переменных. Если переопределить встроенную функцию AutoLisp, то она останется недоступной до тех пор, пока не будет начат новый



рисунок. Строки программы составляют ядро функции. Последнее возвращаемое значение передается в среду AutoCAD – AutoLisp.

При запуске AutoCAD загружает файл acad.lsp (если он существует). В этот файл можно внести определения наиболее часто используемых функций, и они будут загружаться автоматически при вызове графического редактора. При этом на экране появится сообщение

Loadingacad.lsp... loaded. (Загружаю acad.lsp... загружен.)

При определении функции при помощи *defun* можно указать, что она должна выполняться автоматически сразу же после загрузки. Для этого ее нужно назвать S::STARTUP и поместить в файл acad.lsp.

Определенные пользователем функции могут быть использованы так же, как и команды AutoCAD. Это позволяет сделать программу модульной, многократно использующей подпрограммы.

Функции, определенные с помощью *defun*, должны удовлетворять следующим условиям:

- имя функции должно быть вида C:XXX. В русскоязычной программе AutoCAD все буквы должны быть прописными. Используется латинская буква «C». Часть имени «C:» должна присутствовать всегда, а часть имени «XXX» может быть любой, но она не должна дублировать какую-либо команду AutoCAD, внешнюю или встроенную функцию;

- функция должна быть определена без аргументов. Допускаются только локальные символы.

Работа с Lisp-программами

Для загрузки в память AutoCAD используется команда (*load имя_файла [ошибка]*), прописываемая в командной строке. Ввод расширения .lsp не требуется. При загрузке функции AutoLisp читает из файла ее определение, осуществляет синтаксическую проверку и, если ошибок нет, сохраняет функцию в области памяти, специально отведенной для пользовательских программ, после чего отображает на экране имя загруженной функции (если она создавалась). Все, что не является определением функции, выполняется AutoLisp немедленно. Определенная пользователем функция должна быть вызвана явно.

Учебное издание

Якубовская Елена Степановна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ.
КУРСОВОЕ И ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *А. Г. Сеньков*

Редактор *Д. А. Значёнок*

Корректор *Д. А. Значёнок*

Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*

Дизайн и оформление обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 26.10.2017. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 14,41. Уч.-изд. л. 11,27. Тираж 80 экз. Заказ 360.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

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