

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Энергообеспечение с.х.»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Направление подготовки (специальность) 27.03.04 Управление в технических системах

Профиль образовательной программы: Системы и средства автоматизации технологических процессов

Форма обучения: очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	3
1.1 Лекция № 1 (интерактивная форма) Понятие автоматизированной системы управления	3
1.2 Лекция № 2 (интерактивная форма) Средства автоматического регулирования промышленных теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения	5
1.3 Лекция № 3 (интерактивная форма) Выбор промышленных регуляторов и методы расчета их параметров настройки.....	8
1.4 Лекция № 4-5 (интерактивная форма) Автоматическое управление режимом работы промышленных теплоэнергетических установок.....	10
1.5 Лекция № 6-7 (интерактивная форма) Применение вычислительной техники при автоматизации теплотехнических установок.....	13
1.6 Лекция № 8-9 (интерактивная форма) Проектирование схем автоматизации промышленных теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения.....	16
2. Методические указания по проведению практических занятий.....	19
2.1 Практическое занятие № ПЗ 1-2 Исследование статистических и динамических свойств чувствительного элемента инерционного звена в АСР.....	19
2.3 Практическое занятие № ПЗ 3-4 Исследование статистических и динамических свойств дифманометра как без инерционного звена в АСР.....	29
2.4 Практическое занятие № ПЗ 5-6 Исследование промышленной автоматической системы регулирования температуры в объекте	48
2.5 Практическое занятие № ПЗ 7-8 Исследование статистических и динамических свойств чувствительного элемента инерционного звена в АСР	55
2.6 Практическое занятие № ПЗ 9-10-11 Изучение промышленных АСР реальных теплотехнических объектов	68
2.7 Практическое занятие № ПЗ 12-13-14 Определение оптимальных параметров настройки регулятора АСР реального теплотехнического объекта	86
2.8 Практическое занятие № ПЗ 15-16Проектирование схем автоматизации промышленных теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения.....	113

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция №1 (2 часа).

Тема: «Понятие автоматизированной системы управления»

1.1.1 Вопросы лекции:

- 1. Теплоэнергетика как перспективная отрасль автоматизации и научных исследований в области новых технологий процессов преобразования энергии и систем управления.*
- 2. Понятия технологического объекта управления, исходного и конечного продуктов тепловой электростанции; назначение и разновидности автоматизированных систем управления (АСУ); виды основных обеспечений АСУ технологических процессов (АСУ ТП), как непереносимое условие внедрения систем управления.*

1. Краткое содержание вопросов

1. Введение.

Промышленные предприятия и относящийся к ним жилищно-коммунальный сектор потребляют значительное количество теплоты как на технологические нужды, так и на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

В зависимости от технологической направленности предприятия, его места расположения, мощности, наличия или отсутствия централизованных теплоснабжающих предприятий и прочих факторов теплоэнергетическое хозяйство (система) предприятия может быть различной степени сложности.

Однако в любом случае повышение надежности, безопасности и экономичности работы теплоэнергетических систем и оборудования является одной из важнейших хозяйственных задач.

Надежность, безопасность и экономичность в значительной степени зависят от качества изготовления, монтажа, наладки, ремонта и культуры обслуживания, т.е. от качества изготовления и эксплуатации.

В связи с этим инженеры-теплоэнергетики промышленных предприятий должны владеть приемами и методами рациональной эксплуатации теплотехнического оборудования, хорошо знать требования нормативно-технической документации, умело организовывать работу и подготовку эксплуатационного персонала.

2. Теплоэнергетика как перспективная отрасль автоматизации и научных исследований в области новых технологий процессов преобразования энергии и систем управления.

До начала монтажа котла на фундаменте необходимо разбить монтажные оси котла — продольную ось и линию фронта котла. Разбивку осей выполняют по чертежам, производя промеры от колонн или стен здания. Ввиду возможных неточностей выполнения строительных конструкции здания после

предварительной разбивки осей котла необходимо проверить их взаимную перпендикулярность.

Имея отправные точки, проверяют следующие геометрические размеры:

- а) габариты закладных деталей фундамента;
 - б) правильность расположения закладных деталей в горизонтальной плоскости и в плане;
 - в) соответствие чертежам габаритов фундамента в целом и его прямоугольность (путем сопоставления длин диагоналей).
- Допуски по размерам фундамента определяются требованиями, при которых габариты опорной рамы котла должны укладываться в габариты закладных деталей.

При проверке фундамента следует руководствоваться требованиями [СНиП 3.05.05-84](#).

Приемка фундамента оформляется трехсторонним актом (заказчик, генподрядчик и монтажная организация) с составлением исполнительной схемы фундамента.

Монтаж котлов и котельно-вспомогательного оборудования должен выполняться специализированной организацией, имеющей разрешение органов Ростехнадзора в соответствии с «[Инструкцией о порядке выдачи разрешения на право монтажа объектов надзора](#)», утвержденной Ростехнадзором.

Монтаж котлов и оборудования может быть начат при следующих условиях:

- наличии комплектной проектно-сметной документации, технической документации предприятий-изготовителей оборудования и проектно-монтажной документации;
- готовности строительной части, подтвержденной актами о сдаче под монтаж заказчику и монтирующей организации;
- комплектации объекта оборудованием, конструкциями, материалами, приборами и средствами автоматизации.

При проверке фундамента следует руководствоваться требованиями [СНиП 3.05.05-84](#). Приемка фундамента оформляется трехсторонним актом (заказчик, генподрядчик и монтажная организация) с составлением исполнительной схемы фундамента.

3. Понятия технологического объекта управления, исходного и конечного продуктов тепловой электростанции; назначение и разновидности автоматизированных систем управления (АСУ)

К обслуживанию котлов могут быть допущены лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, обученные, аттестованные и имеющие удостоверение на право обслуживания котлов.

Обучение и аттестация машинистов (кочегаров), операторов котельной и водосмотров должны проводиться в профессионально-технических училищах, учебно-курсовых комбинатах (курсах), а также на курсах, специально создаваемых типовых программ, согласованных с Госгортехнадзором России.

Индивидуальная подготовка персонала не допускается.

Аттестация операторов (машинистов) котлов проводится комиссией с участием инспектора госгортехнадзора. Лицам, прошедшим аттестацию, должны быть выданы удостоверения за подписью председателя комиссии и инспектора госгортехнадзора.

О дне проведения аттестации администрация обязана уведомить орган госгортехнадзора не позднее, чем за 5 дней.

Периодическая проверка знаний персонала, обслуживающего котлы, должна проводиться не реже одного раза в 12 мес.

Внеочередная проверка знаний проводится:

- а) при переходе на другое предприятие;
- б) в случае перевода на обслуживание котлов другого типа;
- в) при переводе котла на сжигание другого вида топлива;
- г) по решению администрации или по требованию инспектора госгортехнадзора.

Комиссия по периодической и внеочередной проверке знаний назначается приказом по предприятию, участие в ее работе инспектора госгортехнадзора не обязательно.

Результаты проверки знаний обслуживающего персонала оформляются протоколом за подписью председателя и членов комиссии с отметкой в удостоверении.

1. 2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Средства автоматического регулирования промышленных теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. *Автоматические регуляторы тепловых процессов.*
2. *Типы промышленных регуляторов и принципы их действия.*
3. *Автоматические регуляторы, работающие на унифицированном токовом сигнале связи.*
4. *Средства автоматизации систем теплоснабжения.*
5. *Исполнительные механизмы и регулирующие органы теплоэнергетических установок.*

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Особенности эксплуатации стационарных водогрейных котлов

Особенностью водогрейных котлов является работа их при постоянном расходе сетевой воды и включении непосредственно в тепловую сеть. Нагрузка котлов регулируется изменением температуры входящей и выходящей воды путем изменения форсировки топки.

Номинальная теплопроизводительность котла — это наибольшая теплопроизводительность, которую котел должен обеспечивать в длительной эксплуатации при номинальных значениях параметров с учетом допускаемых отклонений.

Пуск и обслуживание водогрейных котлов во время работы несколько отличается по эксплуатации паровых котлов. Поэтому машинист должен уметь эксплуатировать водогрейные котлы, знать специфику их работы и обслуживание.

Каждый котел для нагрева воды под давлением оборудуется следующей запорной и регулирующей арматурой и предохранительными устройствами. На линиях входа в котел и выхода горячей воды из котла устанавливаются задвижки или вентили. Если в котельной установлен только один котел с нагревом воды до 115 °С, тогда установка запорных устройств на входе и выходе воды из котла не обязательна. У каждого котла, подключенного к общей магистрали горячей воды, на подводящем и отводящем трубопроводах устанавливают по одному вентилю или задвижке.

Запорные устройства устанавливают также для удаления воды из котла на случай ремонта или очистки от накипи и других загрязнений в нижней его части и в местах возможного скопления воздуха. На котлах с номинальной теплопроизводительностью менее 4,5 МВт (3,9 Гкал/ч) и с принудительной циркуляцией для предотвращения резкого повышения давления и температуры воды в котле при случайной остановке циркуляционных насосов необходимо на трубопроводе (или коллекторе) отвода горячей воды из котла до запорного устройства врезать патрубок с внутренним диаметром не менее 50 мм с вентилем или задвижкой для сброса воды в водосток.

Для контроля давления воды в котле, в системе центрального отопления и контроля за работой насосов устанавливают манометры: один из них—на котле или между ним и запорным устройством (на трубопроводе горячей воды), второй — на линии питательной воды, в пределах котельной или на общей магистрали обратной воды. Если котел работает с принудительной циркуляцией воды, тогда кроме манометров на каждом котле устанавливают дополнительно один манометр на всасывающей линии перед насосом и один на нагнетательной линии после циркуляционного насоса. При этом манометры обязательно располагаются на одном уровне по высоте. Для котлов номинальной теплопроизводительностью не более 5,8 МВт (5 Гкал/ч) обязательна установка регистрирующего манометра.

2. Мероприятия по предупреждению неполадок и аварий водогрейных котлов

Ежегодно по окончании отопительного сезона необходимо проводить контроль толщины стенок труб в районе горелок и пода, в конвективных пакетах – в районе нижнего ряда труб нижнего пакета и верхнего ряда труб верхнего пакета. При утонении стенок до 1мм трубы подлежат замене.

Кислотную промывку поверхностей нагрева по схемам, разработанным ВНИПИэнергопромом, Мосэнергопроектом и ВГПИ ТЭП следует проводить, если отложения на внутренних поверхностях достигнут 1000 г/м² и более.

Не следует допускать пуска в эксплуатацию после монтажа или капитального ремонта котлов, имеющих недоделки или смонтированных с нарушениями требований Правил Госгортехнадзора СССР.

Не следует допускать пульсирующей работы топок и вибрации котлов, нарушающей плотность его тепловой изоляции; необходимо регулярно проверять газовую плотность обмуровки котлов и устранять присосы воздуха; обеспечить также плотность гарнитуры котла, воздушных клапанов на напорных воздухопроводах горелок и подов топок.

При сжигании сернистых мазутов следует принимать меры по уменьшению коррозии путем улучшения режима горения и снижения избытка воздуха в топке, применять присадки к мазуту и другие меры, снижающие сернокислотную коррозию поверхностей нагрева:

- 1) поддерживать температуру воды 104–110 °С на входе при работе котлов в пиковом режиме во всех диапазонах нагрузок;

- 2) организовать в основном режиме систему циркуляции с пропуском воды через котел, соответствующим пропуску воды в пиковом режиме. До реконструкции систем циркуляции температуру воды на выходе из котла во всем диапазоне нагрузок поддерживать равной 150 °С.

Работа газомазутных котлов, как правило, допускается при раздельном и поочередном сжигании газа и мазута, что способствует удалению серной кислоты из состава золовых отложений.

Не допускается работа котлов с отключенными технологическими защитами, без режимных карт, с нарушением норм качества питательной воды и повышенным на 50 % исходного значения гидравлическим сопротивлением.

3. Консервация водогрейных котлов

Консервацию котлов и турбоустановок проводят для предотвращения коррозии металла внутренних поверхностей как при режимных остановах (вывод в резерв на определенный и неопределенный сроки, вывод в текущий, средний и капитальный ремонт, аварийный останов), так и при остановах в продолжительный резерв или ремонт (реконструкцию) на срок свыше 6 мес.

На основе Методических указаний на каждой электростанции должно быть разработано и утверждено техническое решение по организации консервации конкретного оборудования, определяющее способы консервации при различных видах остановов и продолжительности простоя, технологическую схему и вспомогательное оборудование консервации. При разработке технического решения целесообразно привлечение специализированной организации.

Способы консервации, не предусмотренные Методическими указаниями, допускаются к применению с разрешения Департамента науки и техники РАО "ЕЭС России".

При разработке технологической схемы консервации целесообразно максимально использовать штатные установки коррекционной обработки питательной и котловой воды, установки химической очистки оборудования, баковое хозяйство электростанции.

Технологическая схема консервации должна быть по возможности стационарной, надежно отключаться от работающих участков тепловой схемы.

1. 3 Лекция №3 (2 часа).

Тема: «Выбор промышленных регуляторов и методы расчета их параметров настройки»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Выбор промышленных регуляторов и методы расчета их параметров настройки.
2. Статические и динамические характеристики промышленных теплоэнергетических установок как объекта регулирования.

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Выбор промышленных регуляторов и методы расчета их параметров настройки.

За единицу паровой котельной установки принято считать установленное оборудование:

- паровой котел;
 - пароперегреватель;
 - воздухоподогреватель;
 - калорифер;
 - экономайзер;
- габаритов котельной установки;
- система воздухопроводов первичного и вторичного воздуха;
 - система подачи воздуха по зонам котла;
 - система газоходов котла.

Рассмотрим одно из основных составляющих котельной установки - водяной экономайзер.

Экономайзер - агрегат котельной установки для подогрева питательной воды перед её поступлением в котёл за счёт тепла уходящих газов из топки. Чаще всего водяные экономайзеры выполняют из труб, согнутых в вертикальные змеевики и скомпонованных в пакеты. Для удобства эксплуатации и ремонта поверхность экономайзера разделяют на пакеты высотой до 1 м, делая между ними разрывы 65-80 см. Расположение труб экономайзера, как правило шахматное; коридорное расположение по условиям теплообмена нецелесообразно. На электростанциях питательную воду до поступления в котел подогревают в регенеративном цикле за счёт отбора пара из турбины до 215-270° С, что уменьшает величину поверхности экономайзера.

Для управления работой и обеспечения нормальных условий эксплуатации котлы, пароперегреватели и экономайзеры должны быть снабжены арматурой, контрольно-измерительными приборами и приборами безопасности, доступными для наблюдения и обслуживания.

2. Эксплуатация тягодутьевых устройств, гарнитуры и арматуры котлов.

Котлы-утилизаторы: полный наружный осмотр котельного агрегата с проверкой состояния барабана, коллекторов, фланцевых соединений, каркаса, фундамента, трубопроводов, подвесок. Устранение свищей на змеевиковых поверхностях нагрева котлоагрегата (замена дефектных змеевиков в общей сложности на 10 %), ревизия инжектора (насоса откачки шламовых вод) с устранением обнаруженных дефектов. Ремонт дымососа, чистка ротора от плотных отложений шихтового уноса, замена брони, наварка лопаток, проверка состояния подшипников, центровка и балансировка. Проверка

технического состояния и ремонт обшивки котла, устранение неплотностей, восстановление огнеупорной обмуровки, проверка и разделка зазоров между обмуровкой и элементами поверхности нагрева агрегата. Уплотнение газового тракта обмуровки и обшивки котла, проверка и ремонт обмуровки опорных балок. Проверка технического состояния змеевиковых поверхностей нагрева, замена дефектных участков труб и змеевиков (до 50 %) в одном из перечисленных ниже узлов: водяной экономайзер, испарительная поверхность, пароперегреватель. Проверка технического состояния и ремонт трубопроводов, фланцевых соединений, опор и подвесок в пределах котла, а также примыкающих участков магистральных трубопроводов до мест установки заглушек. Проверка технического состояния и ремонт гарнитуры и арматуры котла, осмотр и ремонт обдувочных и очистных устройств. Проверка технического состояния и ремонт дымососа,шибера, направляющего аппарата и привода, замена износившегося ротора, брони, дымососа, подшипников и других деталей. Опробование после ремонта, проверка состояния внутрибарабанных сепарационных устройств. Замена балок котла, в том числе и водоохлаждаемых, замена изношенных частей газохода, ремонт или замена запорного органа после дымососа, ремонт или замена шиберов с рамой перед котлом. Проверка технического состояния и ремонт циркуляционного насоса. Разборка соединительной муфты, привода и подшипников насоса. Измерение зазоров между валом, подшипниками и уплотнениями рабочих колес. Замена сальниковой набивки, сборка насоса, центровка с электродвигателем, сборка соединительной муфты. Проверка технического состояния и восстановление тепловой изоляции котла, вспомогательного оборудования и трубопроводов, поврежденных при эксплуатации оборудования или разрушенных при ремонте. Гидравлическое испытание котла. Окраска оборудования.

1. 4 Лекция №4-5 (2 часа).

Тема: «Автоматическое управление режимом работы промышленных теплоэнергетических установок»

1.4.1 Вопросы лекции:

- 1. Задачи автоматического управления тепловыми процессами.*
- 2. Объекты автоматизации в системе теплоснабжения.*
- 3. Автоматическое регулирование процесса горения и питания котельных установок.*
- 4. Системы теплотехнического контроля промышленной котельной.*
- 5. Автоматические защиты теплотехнических установок.*

1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1 Общие сведения о приборах и средствах автоматизации технологических процессов;

1. Задачи автоматического управления тепловыми процессами. Объекты автоматизации в системе теплоснабжения.

Для безаварийной и экономичной работы котельных установок большое значение имеет качество воды, которой питаются котлы. Необработанная вода из различных источников (артезианская, поверхностная) содержит растворенные соли, различные механические и органические примеси, а также кислород и углекислый газ. Количество и состав примесей зависит от свойства пород, с которыми контактирует вода, а также от количества и состава сбросов, поступающих в водоисточники.

Для питания отопительных котлов иногда используется артезианская вода, в которой почти нет механических примесей (взвешенных веществ) и сравнительно мало органических примесей. Однако эта вода обычно содержит большое количество растворенных солей.

Основными накипеобразующими примесями необработанной воды являются соли кальция и магния, которые обуславливают жесткость воды, а также соединения железа.

Наличие указанных примесей не позволяет применять без предварительной обработки исходную (сырую) воду для питания котлов, так как при нагреве и испарении воды на внутренних поверхностях труб и барабанов котла осаждаются соли, образующие накипь и шлам. Поскольку накипь — плохой проводник теплоты (в 40 раз хуже, чем сталь), в местах ее отложения происходит местный перегрев металла котла, образуются отдулины и трещины. Установлено, что при отсутствии накипи температура стенки труб котла при давлении 4,0 МПа (40 кгс/см²) не превышает 280 °С, при толщине накипи в 3 мм температура металла повышается до 580°С.

Водно-химический режим котельной должен вестись таким образом, чтобы была обеспечена работа оборудования без повреждений и снижения экономичности, вызванных: образованием накипи и отложений на поверхностях нагрева; отложениями шлама в котлах и в тепловых сетях; коррозией внутренних поверхностей котлов, трубопроводов питательного тракта и тепловых сетей.

2. Автоматическое регулирование процесса горения и питания котельных установок.

Способ обработки воды для питания паровых котлов следует принимать исходя из указанных выше требований настоящего раздела и допускаемой величины непрерывной продувки котлов.

При использовании воды хозяйственно-питьевого водопровода, воды из поверхностных источников, прошедшей предварительную обработку (см. пп. 10.11-10.13

настоящих норм и правил), воды из подземных источников, прошедшей при необходимости обезжелезивание (см. примечание), а также воды из подземных и поверхностных источников с содержанием взвешенных веществ не более 8 мг/л и цветностью не более 30° следует предусматривать:

а) натрий-катионирование одноступенчатое-для уменьшения общей жесткости до 0,1 мг-экв/л, двухступенчатое-ниже 0,1 мг-экв/л. Указанный метод допускается применять при карбонатной жесткости менее 3,5 мг-зкв/л.

После натрий-катионирования могут применяться коррекционные методы обработки воды;

нитратирование - для предупреждения межкристаллитной коррозии металла котлов;

амминирование-для уменьшения содержания в паре свободной углекислоты и уменьшения коррозии пароконденсатного тракта;

фосфатирование или трилонирование-для защиты от накипных отложений поверхностей нагрева котлов с давлением пара более 14 кгс/см² ;

сульфитирование- для удаления нитритов из питательной воды котлов с давлением пара 40 кгс/см²;

3. Системы теплотехнического контроля промышленной котельной.

Согласно правилам Госгортехнадзора докотловая обработка воды должна предусматриваться для всех котлов паропроизводительностью более 0,7 т/ч, для котлов, имеющих экранные поверхности нагрева, независимо от паропроизводительности и давления, для неэкранированных котлов, сжигающих высококалорийное топливо — газ и мазут, и для всех водогрейных котлов.

Внутрикотловая обработка воды допускается: для неэкранированных котлов паропроизводительностью менее 0,7 т/ч и давлением пара до 14 кгс/см² 1,4 МПа), работающих на твердом топливе, для газотрубных и жаротрубных котлов, работающих на твердом топливе. Жесткость питательной воды в этих случаях не должна превышать 3 мг-экв/л.

Для паровых чугунных секционных котлов допускается применение внутрикотловой магнитной обработки воды при питании их исходной водой с преимущественно карбонатной жесткостью и при надежном удалении шлама.

Для водогрейных котельных с чугунными секционными котлами при закрытой системе теплоснабжения допускается применение магнитной обработки воды при

соблюдении следующих условий:

- а) подогрев воды в котле не выше 95°C;
- б) омагничивание подпиточной воды и восстановление магнитных свойств воды, циркулирующей в системе (антирелаксационный контур);
- в) карбонатная жесткость исходной воды не более 9 мг-экв/л;
- г) при использовании артезианской воды с содержанием растворенного кислорода до 3 мг/л и $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} < 50$ мг/л — без деаэрации при содержании кислорода более 3 мг/л или $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} > 50$ мг/л — с вакуумной деаэрацией при $< 70^\circ\text{C}$; д) содержание железа Fe^{2+} не более 0,3 мг/л.

Нормы качества питательной воды для паровых котлов при докотловой обработке в соответствии с ГОСТ 20995-75 приведены в табл. 3-1. Общую щелочность и сухой остаток питательной воды для паровых котлов не нормируют. Они обуславливаются выбранными методами обработки в соответствии с допустимыми размерами продувки котлов и качеством исходной воды.

1. 5 Лекция №6-7 (2 часа).

Тема: «Применение вычислительной техники при автоматизации теплотехнических установок.»

1.5.1 Вопросы лекции:

1. *Измерение технологических параметров.*
2. *Автоматизация подпитки тепловых сетей.*
3. *Автоматизация гидравлического режима тепловой сети.*
4. *Автоматизация насосного оборудования в ЦТП.*
5. *Регулирование расхода теплоты в системах теплоснабжения.*

1.5.2 Краткое содержание вопросов:

1. Внутренний осмотр котлов.

Внутренний осмотр котла проводят с целью выяснения, в каком состоянии находится поверхность барабана, коллектора, топки, сварные и заклепочные соединения, кипяtilьные и экранные трубы, концы завальцованных или приваренных труб и т. д.

При внутреннем осмотре стенки котла (элементы) проверяют как с внутренней, так и с наружной стороны. Осмотр котла начинают с проверки состояния внутренней поверхности барабана, при этом тщательно проверяют сварные и заклепочные швы, концы завальцованных или приваренных труб и штуцеров, а также трубную решетку.

Обращают внимание на места ввода в барабан фосфатов и питательной воды, водосоединительных труб водоуказательных приборов, где возможны трещины из-за отсутствия или неисправности защитных рубашек. После этого осматривают внутренние поверхности коллекторов, камер и грязевиков, которые в большинстве

Случаев доступны для осмотра лишь через лючки или отверстия. Для внутреннего осмотра безлючковых коллекторов и камер необходимо отрезать по окружности доньшко у штуцера, приваренного для этой цели к коллекторам. Затем с одного конца коллектора через штуцер заводят лампочку, а с другого — осматривают внутреннюю поверхность (в случае, если штуцера расположены по оси коллектора). В случае расположения штуцеров под углом к продольной оси коллектора осмотр проводят при помощи зеркала. После проведения внутреннего осмотра выполняют: подготовку кромок штуце - ра и отрезанной части штуцера с доньшком под сварку, установку штуцера с доньшком на прихватках, после чего производят сварку и контроль сварного соединения.

2. Повреждение паровых котлов.

Количество аварийных остановов котлов из-за повреждений барабанов сравнительно невелико. Однако необходимо отметить, что повреждения барабанов и коллекторов котлов из-за упуска воды — основная причина все еще имеющих место взрывов котлов.

На надежность котлов при эксплуатации отрицательно влияют дефекты, не выявленные при изготовлении в сварных швах, на поверхности корпуса барабана, а также в местах приварки внутрибарабанных устройств; технологических, монтажных деталей и опор барабана.

Основными причинами появления трещин в барабанах в процессе эксплуатации являются: высокий уровень действующих напряжений; значительные изменяющиеся во времени температурные напряжения, которые возникают при остановах (особенно аварийных) и пусках котлов; коррозия и низкая деформационная способность металла барабана. Повреждения барабанов трещинами, как правило, происходят в результате развития коррозионно-механической усталости.

Число отказов в работе барабанных котлов высокого давления продолжает оставаться довольно большим. Основной причиной такого положения является внутренняя коррозия. Коррозионное повреждение труб, включенных в пароводяной тракт, приводит к аварийному останову мощного котла столь же быстро, как и малопроизводительного котла. Разница — в несоизмеримо большем ущербе от последствий такого останова.

Повреждения котлов иногда происходят из-за жесткости соединения элементов и затрудненности их тепловых деформаций, вследствие чего в местах загибов стальных листов, в заклепочных швах, в местах вальцовки и трубных решетках во время работы возникают высокие местные напряжения.

Дополнительные местные механические нагрузки в металле могут возникать из-за конструктивных недостатков, а также в результате неудовлетворительного монтажа и эксплуатации котла. Например, при зажатии барабанов и коллекторов котла в обмуровке возникают большие механические напряжения в местах крепления кипяtilьных труб, удлиняющихся при нагревании. Напряжения возникают также при зажатии экранных труб в местах прохода их, через обмуровку или обшивку котла. Повышенные местные напряжения могут возникать при большой разности температур котловой воды в барабане и питательной воды, непосредственно попадающей на его стенки, например в штуцерах для ввода в него питательной воды, если у них отсутствуют защитные рубашки.

3. Гидравлическое испытание котлов.

Гидравлическому испытанию подлежат все котлы, пароперегреватели, экономайзеры и их элементы после изготовления.

Котлы, изготовление которых заканчивается на месте установки, транспортируемые на место монтажа отдельными деталями, элементами или блоками, подвергаются гидравлическому испытанию на месте монтажа.

Гидравлическому испытанию в целях проверки плотности и прочности всех элементов котла, пароперегревателя и экономайзера, а также всех сварных и других соединений подлежат:

а) все трубные, сварные, литые, фасонные и другие элементы и детали, а также арматура, если они не прошли гидравлического испытания на местах их изготовления; гидравлическое испытание перечисленных элементов и деталей не является обязательным, если они подвергаются 100-процентному контролю ультразвуком или иным равноценным неразрушающим методом дефектоскопии;

б) элементы котлов в собранном виде (барабаны и коллекторы с приваренными штуцерами или трубами, блоки поверхностей нагрева и трубопроводов и др.). Гидравлическое испытание коллекторов и блоков трубопроводов не является обязательным, если все составляющие их элементы были подвергнуты гидравлическому испытанию или 100-процентному контролю ультразвуком или другим равноценным методом неразрушающего контроля, а все выполняемые при изготовлении этих сборных элементов сварные соединения проверены неразрушающим методом контроля (ультразвуком или радиографией) по всей протяженности;

в) котлы, пароперегреватели и экономайзеры после окончания их изготовления или монтажа.

Допускается проведение гидравлического испытания отдельных и сборных элементов вместе с котлом, если в условиях изготовления или монтажа проведение их испытания отдельно от котла невозможно.

1. 6 Лекция №8-9 (2 часа).

Тема: «Проектирование схем автоматизации промышленных теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения»

1.6.1 Вопросы лекции:

- 1. Проектная документация.*
- 2. Синтезирование систем автоматического регулирования и управления.*
- 3. Составление принципиальных и узловых схем автоматизации.*
- 4. Условные обозначения приборов и аппаратуры автоматизации.*
- 5. Техничко-экономический анализ вариантов систем автоматизации на стадии проектирования.*

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1. Проектная документация. Синтезирование систем автоматического регулирования и управления

Анализ повреждений оборудования, вызывающих необходимость проведения внепланового ремонта, показывает, что их причиной часто бывает неудовлетворительное качество выполненного планового ремонта.

Большая часть коррозионных повреждений оборудования промышленных котельных приходится на долю тракта питательной воды, где металл работает в наиболее тяжелых условиях. Причиной этому является коррозионная агрессивность химически очищенной воды, конденсата и их смеси.

В период эксплуатации ПГУ с ВПГ-120 на газообразном топливе не было выявлено повреждений оборудования, связанных с особенностями ВПГ — процессом сжигания топлива под наддувом, большими скоростями газов и режимами совместной работы газовой турбины и парогенератора. Было семь случаев течи экономайзера I ступени и одиннадцать случаев течи экономайзера II ступени из-за некачественной заводской сварки. Большинство аварийных отключений ПГУ вызывалось неполадками в типовом оборудовании — дефектами изготовления и монтажа, ненала.

Пусковые неполадки. На протяжении первого года эксплуатации было произведено 14 остановов ПГУ из-за повреждений оборудования и 20 вынужденных остановов по причине низкого давления (менее 4 ати) топливного газа. Наибольшая длительность непрерывной работы установки составила немногим более 500 ч, причем остановлена она была из-за низкого давления топливного газа.

Широко применяется на станциях электрическая автоматическая защита от перегрузок, перенапряжений, внутренних повреждений оборудования, замыканий на землю. Такая защитная аппаратура устанавливается не только на основных генераторах и трансформаторах станции, но и на трансформаторах и моторах собственного расхода. Вращающиеся агрегаты, как-то: турбогенераторы, турбинные приводы механизмов собственного расхода, дымососы, насосы и т. д., часто имеют температурную защиту, действующую на валорные органы и выключатели электродвигателей при превышении допустимой температуры смазки и охлаждающей воды.

2. Нарушение циркуляции воды

Нарушение циркуляции возможно при близком расположении в барабане входных отверстий опускных труб и интенсивно работающих подъемных труб. Чтобы пар из них не увлекался в опускные трубы, устанавливают специальные разделительные и направляющие щитки между концами труб. Во время ремонта тщательно проверяют правильность установки и прочность закрепления щитков.

Шлакование кипяtilьных и экранных труб может повлечь за собой нарушение циркуляции воды в котле, а шлакование пароперегревателя — неравномерный нагрев [отдельных змеевиков](#), что может привести к их разрыву.

Надежность работы котельного агрегата в значительной мере зависит от конструкции и работы топочных устройств. Многие повреждения его поверхностей нагрева, нарушение циркуляции, золовой износ, шлакование топки и труб, загорание сажи и уноса в газоходах, отчасти наружная кислородная и сернистая коррозия поверхностей нагрева — все эти неполадки в известной степени зависят от режима работы топочных устройств.

У ряда конструкций котлов обогреваются опускные и подъемные трубы циркуляционного контура, причем вторые сильнее, а первые слабее. У таких котлов часто происходит нарушение циркуляции по ряду причин: [вследствие неравномерности](#) обогрева параллельно работающих труб, недостаточной скорости воды в отдельных рядах труб, шлакообразования труб и других причин.

Проверка отсутствия засорения труб. Практика ремонтов указывает на необходимость тщательной проверки отсутствия засорения труб котла, так как всякое сужение сечения вызывает нарушение циркуляции. Известно, что даже некоторое понижение циркуляции в кипяtilьной или экранной трубе может привести к недопустимому нагреву металла и разрушению трубы. Если же имеет место засорение необогреваемых труб, например опускных труб экрана, то это также может нарушать нормальную подачу воды в обогреваемые трубы.

3. Зашлаковывание топки, экранов и труб.

Большая эмиссия ядовитых оксидов азота и возгонка заметной доли минеральной части топлива с последующим зашлаковыванием экранов топки и конвективного газохода из-за использования высокотемпературного топочного процесса.

Из известных технических решений наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству, выбранному в качестве прототипа, является низкотемпературная вихревая камерная топка ЛПИ. Вихревая камерная топка, содержит камеру сгорания с газовыпускным окном, горелки и расположенную внизу систему удаления шлака. Горелки прямоточные, установлены на фронтальном экране с наклоном вниз. Кроме того, имеются ориентированные встречно из под нижнегогиба заднего экрана сопла вторичного нижнего дутья.

Струи, истекающие из сопел вторичного нижнего дутья и горелок, действуя в паре, формируют петлевое течение в виде вихря с горизонтальной осью вращения. Доля вторичного дутья определяется условиями создания устойчивого вихря, она значительна и обычно составляет 30-40%. Вихрь заполняет холодную воронку топки, поэтому все экраны топки, включая и стенки холодной воронки, вовлекаются в активный теплообмен. Благодаря повышенному теплосъему, топочный процесс становится низкотемпературным и соответственно снижаются возгонка минеральной части топлива, зашлаковывание экранов топки и эмиссия ядовитых оксидов азота.

По конструкции схема данной топки принципиально не отличается от типовых П-образных пылеугольных и жидкотопливных топок энергетических котлов и может использоваться для их реконструкции. Низкотемпературные вихревые камерные топки ЛПИ наиболее пригодны и нашли применение при организации сжигания торфа, горючих сланцев и бурых углей, то есть высокореакционных и в том числе низкокачественных топлив. Для лучшего заполнения вихря горящими частицами используют укрупненный помол или просто дробление рядового топлива.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1 Практическое занятие №1-2 (4 часа).

Тема: «Исследование статистических и динамических свойств чувствительного элемента инерционного звена в АСР»

2.1.1 Задание для работы:

Задания

1. Заполните карточку предварительной подготовки к занятию.
2. Перечислите ошибки в оформлении схемы автоматизации по предложенному фрагменту в соответствии с вариантом (приложение 1).
3. Согласно заданию преподавателя, выполните схему автоматизации в соответствии с вариантом (приложение 1). При составлении схемы по варианту следует ответить на следующие вопросы:
 - а) как осуществляется технологический процесс;
 - б) какое оборудование составляет технологическую линию, как оно должно изображаться на схеме автоматизации: что изображается упрощенно, что должно изображаться по размерам и в соответствии с условными обозначениями по действующим нормативам;
 - в) имеются ли трубопроводы, какие среды по ним движутся, как они должны обозначаться;
 - г) каков состав технических средств, позволяющий реализовать возможный вариант управления, где они должны размещаться, как они должны быть обозначены на схеме автоматизации?

2.1.2 Краткое описание проводимого занятия:

Краткие теоретические сведения по теме

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

Согласно ГОСТ 21. 408–93 на схеме автоматизации изображают:

- 1) техническое и инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, газоходы, воздухопроводы) автоматизируемого объекта;
- 2) технические средства автоматизации или контуры контроля, регулирования и управления (контур — совокупность отдельных функционально связанных приборов, выполняющих определенную задачу по контролю, регулированию, сигнализации, управлению и т. д.);
- 3) линии связи между отдельными техническими средствами автоматизации или контурами (при необходимости).

Также при необходимости на поле чертежа даются пояснения и таблица условных обозначений, не предусмотренных действующими стандартами.

Схемы автоматизации выполняют двумя способами:

- 1) развернутым, при котором на схеме изображают состав и место расположения технических средств автоматизации каждого контура контроля и управления.
- 2) упрощенным, при котором на схеме изображают основные функции контуров контроля и управления (без выделения входящих в них отдельных технических средств автоматизации и указания места расположения).

Примеры выполнения схем разными способами приведены в [1].

При упрощенном способе контур независимо от количества входящих в него элементов изображают в виде окружности (овала), разделенного горизонтальной чертой. В верхнюю часть окружности

записывают буквенное обозначение, определяющее измеряемый (регулируемый) параметр и функции, выполняемые данным контуром, в нижнюю — номер контура. Для контуров системы автоматизированного регулирования, кроме того, на схеме изображают исполнительные механизмы, регулирующие органы и линию связи, соединяющую контур с исполнительным механизмом. Предельные рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин указывают рядом с графическими обозначениями контуров.

Остановимся более подробно на развернутом способе выполнения схем.

Изображение технологического инженерного оборудования и коммуникаций на схемах автоматизации.

Технологическое оборудование и коммуникации должны изображаться, как правило, упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения, но технологическая схема должна давать ясное представление о принципе ее работы и взаимодействии со средствами автоматизации.


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 техническими средствами автоматизации и не влияют на работу системы автоматизации).

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

Условное обозначение трубопровода состоит из графического упрощенного изображения (ГОСТ 2.784–70) и обозначения транспортируемой среды согласно приложению 3 ГОСТ 14202 (приложение 2).

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

 соединение;

 пересечение трубопроводов без соединения друг с другом.

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

У изображения технологического оборудования и трубопроводов дают поясняющие надписи и указывают стрелками направления потоков на линиях трубопроводов. Например, наименование технологического оборудования: «кормушки» или в месте обрыва трубопровода «к фильтру», «от насосов». Трубопроводы, идущие к конечным аппаратам и устройствам, в которых нет приборов и средств автоматизации, на схеме обрывают и дают поясняющие надписи.

Запорную арматуру, используемую в системах автоматизации (нерегулирующую), изображают согласно ГОСТ 2.785. Примеры изображения трубопроводной арматуры приведены на рисунке 1.

Некоторые условные графические изображения технологического оборудования, используемые на схемах автоматизации, также как и ссылки на нормативные документы можно найти [3, с. 38–40].

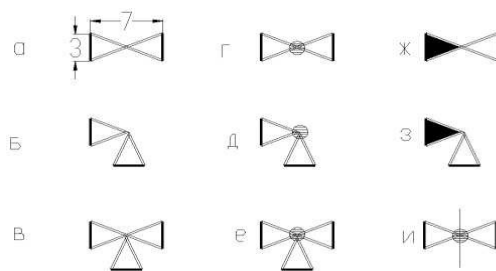


Рисунок 1 — Изображение трубопроводной арматуры:
а — проходной вентиль; *б* — угловой вентиль; *в* — трехходовой вентиль;
г — проходной кран; *д* — угловой кран; *е* — трехходовой кран;
ж — проходной клапан; *з* — угловой клапан; *и* — задвижка

Пример изображения технологического оборудования на схеме автоматизации приведен на рисунке 2.

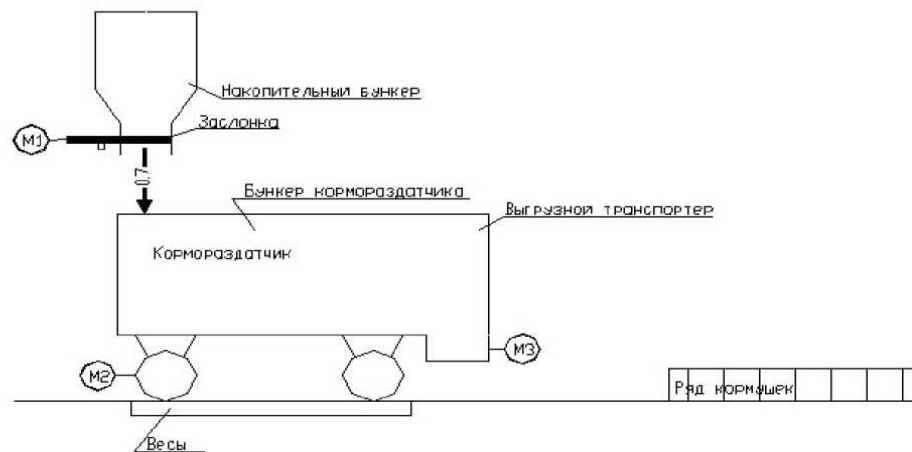


Рисунок 2 — Пример выполнения технологического оборудования на схеме автоматизации

Изображение приборов и средств автоматизации на схеме автоматизации. Условные графические и буквенные обозначения приборов и контуров контроля и управления принимают по ГОСТ 21.404–85, выдержки из которого даны в приложении 3.

Согласно стандарту устанавливаются два метода построения условных обозначений: а) упрощенный; б) развернутый.

При **упрощенном** методе построения приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции, например контроль, регулирование, сигнализацию, и выполненные в виде отдельных блоков, изображают одним условным обозначением. При этом первичные измерительные преобразователи и всю вспомогательную аппаратуру не изображают.

При **развернутом** методе построения каждый прибор или блок, входящий в единый измерительный, регулирующий или управляющий комплект средств автоматизации, указывают отдельным условным обозначением.

Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах, включают графические, буквенные и цифровые обозначения.

В верхней части графического обозначения наносят буквенные обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора, определяющего его назначение.

Основные буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов должны соответствовать приведенным в таблице ПЗ.2.

В нижней части графического обозначения наносят цифровое (позиционное) обозначение прибора или комплекта средств автоматизации.

Порядок расположения букв в буквенном обозначении принимают следующим:

- основное обозначение измеряемой величины;
- дополнительное обозначение измеряемой величины (при необходимости);
- обозначение функционального признака прибора.

Дополнительные буквенные обозначения, применяемые для указания дополнительных функциональных признаков приборов,

преобразователей сигналов и вычислительных устройств, приведены в таблице ПЗ.3 и ПЗ.4 приложения 3.

Порядок построения условных обозначений с применением дополнительных букв принимают следующим: основное обозначение измеряемой величины; одна из дополнительных букв: *E*, *T*, *K* или *Y*.

При построении условных обозначений преобразователей сигналов, вычислительных устройств надписи, определяющие вид преобразователей или операции, осуществляемые вычислительным устройством, наносят справа от графического обозначения прибора.

При построении обозначений комплектов средств автоматизации первая буква в обозначении каждого входящего в комплект прибора или устройства (кроме устройств ручного управления) является наименованием измеряемой комплектом величины.

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*.

Порядок расположения буквенных обозначений функциональных признаков прибора принимают с соблюдением последовательности (ГОСТ 21.404–85):

I — функция показания,

R — функция регистрации,

C — функция регулирования,

S — функция контактного устройства для включения, отключения, переключения,

A — функция сигнализации.

При построении буквенных обозначений указывают не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используют в данной схеме.

Для обозначения величин, не предусмотренных данным стандартом, допускается использовать резервные буквы. Применение резервных букв должно быть расшифровано на схеме.

Подвод линий связи к прибору изображают в любой точке графического обозначения (сверху, снизу, сбоку). При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи наносят стрелки.

Принцип построения условного обозначения прибора приведен на рисунке 3.

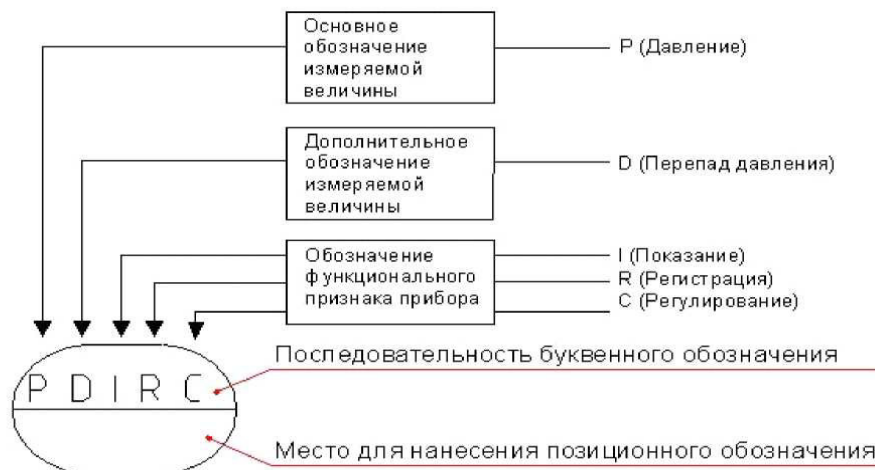


Рисунок 3 — Принцип построения условного обозначения прибора

Буквенно-цифровые (позиционные) обозначения приборов указывают в нижней части окружности или с правой стороны от него, обозначения электрических аппаратов — справа от их условного графического обозначения.

При этом позиционные обозначения технических средств присваивают по спецификации оборудования и составляют из цифрового обозначения соответствующего контура и буквенного обозначения (прописными буквами русского алфавита) каждого элемента, входящего в контур (в зависимости от последовательности прохождения сигнала).

Во избежание разночтений буквы «З» и «О», имеющих начертание, похожее на начертание цифр, применять не допускается.

Электроаппараты, входящие в систему автоматизации (звонки, сирены, сигнальные лампы, табло, ЭД и др.), показывают на схеме

условными графическими обозначениями по ГОСТ 2.722, ГОСТ 2.732, ГОСТ 2.741 и присваивают им буквенно-цифровые обозначения по ГОСТ 2.710.

Остальные технические средства автоматизации показывают условными графическими обозначениями в прямоугольниках, расположенных в нижней части схемы. Каждому прямоугольнику присваивают заголовки, соответствующие показанным в них техническим средствам. Первым располагают прямоугольник, в котором показаны внештатные приборы, конструктивно не связанные с технологическим оборудованием, с заголовком «Приборы местные», ниже — прямоугольники, в которых показаны щиты и пульты, а также комплексы технических средств.

Заголовки прямоугольников, предназначенных для изображения щитов и пультов, принимают в соответствии с наименованиями, принятыми в эскизных чертежах общих видов, для комплексов технических средств — в соответствии с их записью в спецификации оборудования.

При необходимости изображения щита на последующих листах одной схемы, прямоугольник щита не замыкается с правой стороны. В этом месте делают соответствующую надпись.

Требования к изображению линий связи на схемах автоматизации. Каждая связь между техническими средствами автоматизации, расположенными по месту и в щитах, обозначается одной линией независимо от фактического числа проводов или труб, осуществляющих эту связь.

К условным обозначениям приборов и средств автоматизации для входных и выходных сигналов линии связи допускается подводить с любой стороны, в том числе сбоку и под углом.

Линии связи допускается изображать с разрывом при большой протяженности и (или) при сложном их расположении (смотрите примеры чертежей). Места разрывов линий связи нумеруют араб-

скими 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.

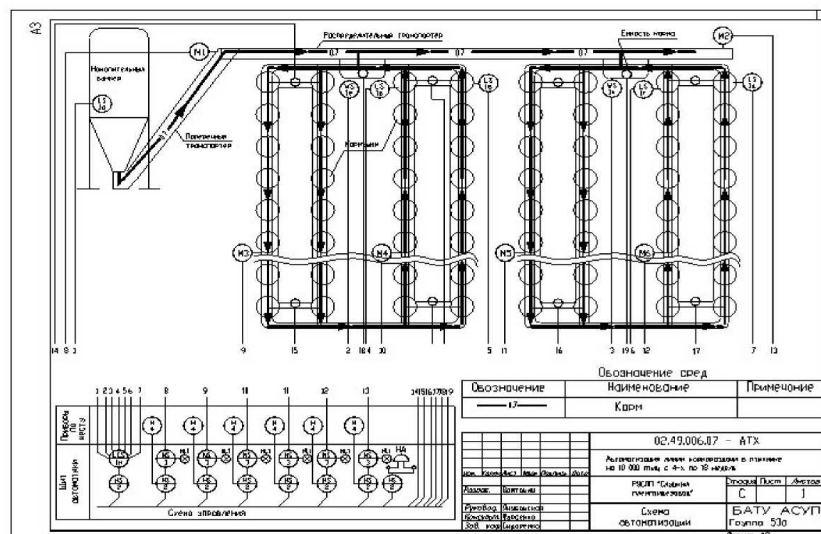
На линии связи указывают предельные (max и min) рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин по ГОСТ 8.417 или в единицах шкалы выбираемого прибора. Для обозначения разрежения ставят « – » (минус). Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование и не имеющих линий связи, эти значения указывают рядом с обозначением приборов.

Линии связи отображаются сплошной тонкой линией. Расстояние между соседними линиями связи не менее 3 мм. При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи допускается наносить стрелки.

Дополнительная информация на схеме. Таблицу не предусмотренных стандартами условных обозначений, принятых в данной схеме, располагают на первом листе чертежа над основной надписью, по ее ширине сверху вниз. При необходимости эти таблицы можно выполнить на отдельных листах.

Пояснительный текст располагают обычно над основной надписью.

Пример выполнения схемы автоматизации приведен на рисунке 4.



Тема: «Исследование статистических и динамических свойств дифманометра как безинерционного звена в АСР»

Задания

а) обсуждая в малых группах, проанализировать исходные данные и сформулировать ответы на следующий ряд вопросов:

- способы содержания птицы; приемлемый способ для данных условий, почему данный способ является приемлемым;
- способы кормления птицы; приемлемый способ для данных условий, почему данный способ является приемлемым;
- какова доза корма при заданных условиях, количество и продолжительность кормления в течение суток в заданный период;
- каковы особенности кормления данного вида птицы;
- что должна обеспечивать система кормораздачи, какие процессы (операции) подлежат автоматизации, а какие лучше оставить за оператором;

б) обсуждая в малых группах, выделить возможные варианты автоматизации для анализируемого варианта ПТЛ, достоинства и недостатки применения при данных условиях, определить возможный объем автоматизации и составить схему автоматизации ПТЛ (приложение 4), обсудить варианты устранения недостатков;

в) обсудить в группе наиболее приемлемый при заданных условиях вариант ПТЛ и ее объем автоматизации с учетом устранения недостатков или предложить модификацию ПТЛ;

г) выделить требования к системе автоматического управления линией кормораздачи;

д) задать алгоритм работы оборудования ПТЛ в виде словесного описания и символично.

3. В соответствии с вариантом (приложение 5), заданным преподавателем, составить алгоритм, выполнить проверку и сформулировать основные выводы.

2.2.2 Краткое описание проводимого занятия:

Краткие теоретические сведения по теме

Последовательность предпроектных исследований. Разработку системы автоматизации поточной технологической линии (ПТЛ) начинают с разработки алгоритма управления, в процессе чего определяется объем автоматизации, который показывают на схеме автоматизации. При этом после внимательного рассмотрения технологического процесса решаются следующие вопросы:

- выявление технологических, зоотехнических и др. требований к осуществлению процесса;
- установление технологических параметров, подлежащих автоматическому регулированию и контролю, уточнение пределов их изменений и выбор методов измерения этих параметров с целью выбора технических средств;
- определение оптимального объема автоматизации (получение информации о технологическом процессе, воздействие на технологический процесс для управления им, стабилизация технологических параметров), контроль и регистрация технологических параметров и состояния технологического оборудования);
- определение, каким образом должно происходить управление технологическим оборудованием: автоматически или дистанционно;
- выбор технических средств автоматизации, наиболее полно отвечающих предъявленным требованиям и условиям работы;
- решение вопросов размещения приборов и аппаратов: на щитах, непосредственно агрегатах и т. д.

После решения данных вопросов совместно с технологами, зоотехниками, механизаторами и другими специалистами дается словесное описание алгоритма функционирования технологической линии или вариантов алгоритма с учетом существующего опыта разра-

ботки подобных объектов и научно-технических достижений в данной области.

В ходе разработки 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. Качественные показатели работы оборудования технологической линии определяются и корректируются на втором этапе проектирования.

Далее в соответствии с комплексом требований выделяют наиболее эффективный вариант управления, выявляя достоинства и недостатки предложенных вариантов, задают алгоритм символической записью или математической моделью (моделями), разрабатывают структуру управления и реализуют ее на базе современных технических средств автоматики (ТСА). В случае неудовлетворения всех требований существующими модифицируют ТСА либо составляют техническое задание на разработку новых, или возвращаются к пересмотру алгоритма. Структуру управления переводят в полную принципиальную электрическую схему, выбрав устройство управления, дополняя цепями ручного управления, сигнализации, контроля и защиты. Проводят параметрическое моделирование и оптимизацию в проекте. После этого разрабатывают монтажные документы, конструируют щиты автоматики и проводят полное технико-экономическое обоснование варианта управления.

Пример. Для примера произведем разработку алгоритма САУ ПТЛ кормораздачи в птичнике на 10 000 кур-несушек родительского стада напольного содержания с 4-й по 18-ю неделю. Комплекс требований к процессу кормления птицы приведен в приложении 4.

Анализируя зоотехнические требования по содержанию птицы, можно выделить требования к процессу кормораздачи:

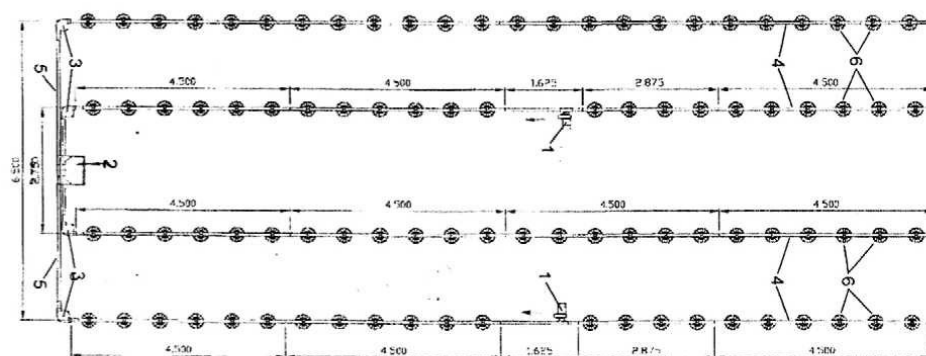
- обеспечение дозированной кормораздачи, причем норма на одну кормушку изменяется в процессе роста птицы;

- быстрая раздача с целью избегания стрессов у птицы;
- выдача корма в строго определенное время;
- легкость и синхронность регулировки дозы корма во всех кормушках;
- обеспечение сохранности птицы: отсутствие движущихся частей кормораздатчика.

Эти требования обеспечивают выбор технологического оборудования. Быстроту кормораздачи обеспечивает спиральный круговой кормораздатчик. В состав оборудования для данного кормораздатчика входит (рисунок 5): накопительный бункер, поперечный и распределительный транспортер; бункера дозаторы (на каждую линию кормораздачи); две линии кормораздачи; кормушки. Однако регулировка дозы корма еженедельно здесь не обеспечивается. Это требует модернизации кормораздатчика, для чего можно использовать идею, реализованную в двухконтурном спиральном кормораздатчике (рисунок П4.7).

Рассмотрим словесное описание цикла работы линии раздачи корма. Включение линии должно происходить в соответствии с заданным циклом кормления автоматически. Из накопительного бункера через систему транспортеров заполняется бункер дозатор в соответствии с суточной дозой на одну кормораздачу. После этого линия загрузки выключается и включаются приводы кормораздатчиков после установки высоты окна кормушки по высоте спинки птицы (не чаще одного раза в неделю в соответствии с параметрами роста птицы — приложение 4, таблица П4.2). После заполнения последней кормушки кормораздатчик выключается до следующего цикла.

a)



б)

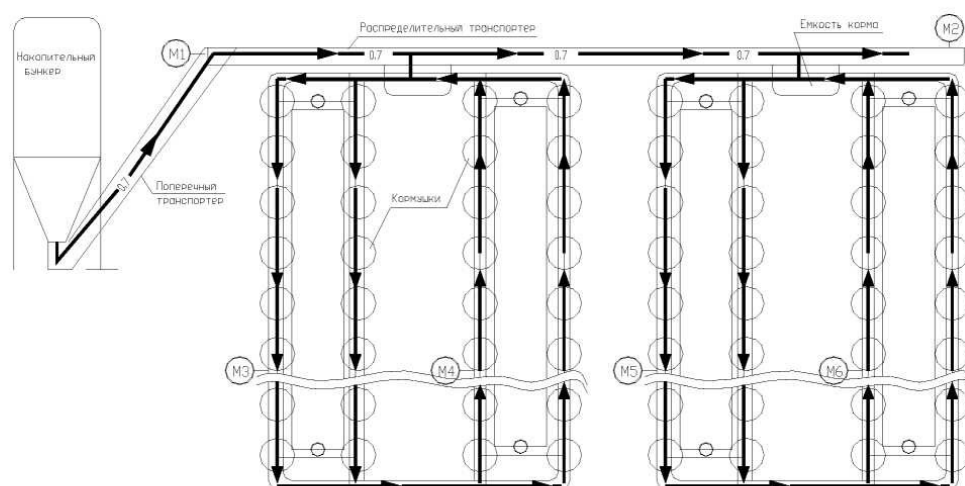


Рисунок 5 — Спиральный круговой кормораздатчик:

a — фрагмент вида сверху; *б* — развернутый вид;

1 — приводы; 2 — бункер-дозатор; 3 — поворотное устройство; 4 — спиральный раздатчик; 5 — распределительный транспортер; 6 — кормушки

Следует заметить, что регулирование дозы корма по индивидуальным кормушкам в данной линии может быть реализовано после переоборудования кормушки: установки исполнительного и дозирующего механизма. Кроме того, регулирование окна кормушки по спинке птицы обеспечивается только вручную, поэтому целесообразно также установить исполнительный механизм, который обеспечит возможность автоматизации данного процесса.

Таким образом, САУ данной ПТЛ должна обеспечить: быструю дозированную кормораздачу (еженедельное автоматическое изменение дозы и высоты окна кормушки) в соответствии с заданным графиком кормления; автоматическое включение линии, блокировку включения линии и аварийную сигнализацию при отсутствии корма в накопительном бункере; работу линии в автоматическом и наладочном режимах.

Словесное описание цикла работы технологической линии характеризует последовательность работы механизмов, однако является недостаточным для описания алгоритма управления ТП.

Для **формализации алгоритма управления** необходимо определить тип и количество командных аппаратов таким образом, чтобы обеспечить выполнение требований функционирования оборудования технологической линии, т. е. срабатывания командных аппаратов и исполнительных механизмов должны составлять непрерывную логическую цепочку.

Реализация алгоритма управления обеспечивается устройством управления, которым, как отмечалось ранее, может быть релейно-контактная схема (РКС), контроллер, или устройство на бесконтактных логических элементах. Для данного примера САУ целесообразно реализовать на программируемом логическом контроллере (ПЛК), поскольку еженедельно требуется устанавливать новую дозу и высоту окна кормушки, чего не реализуешь в рамках релейно-контактной схемы из-за неравномерности роста дозы.

Командные приборы и устройства управления являются сложными устройствами. Первые преобразуют неэлектрические и элек-

трические величины в сигналы. Вторые срабатывают под воздействием сигналов и обеспечивают подачу в объект энергии или организационных воздействий с целью перевода материала или продукта из исходного состояния к необходимому конечному состоянию.

В устройстве управления для реализации алгоритма используются исполнительные элементы командных приборов, формирующие информационные сигналы, и элементы устройств управления, воспринимающие эти сигналы.

В релейно-контактных электрических схемах в качестве исполнительных элементов командных аппаратов используются размыкающие и замыкающие контакты, в качестве воспринимающих элементов исполнительных устройств — катушки магнитных пускателей, электромагнитов.

Для формализации алгоритма ТП применим следующие буквенные обозначения:

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ — исполнительные элементы командных приборов ручного воздействия;

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ — исполнительные элементы командных приборов технологического воздействия;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — воспринимающие элементы исполнительных устройств;

$Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ — привода реле времени;

$z'_1, z'_2, z'_3, \dots, z'_n$ — исполнительные элементы реле времен (как командного прибора);

z'_c — контакт суточного реле времени.

Следующим шагом в направлении алгоритмизации САУ ТП является описание его с помощью символов.

В таблице 1 приведены символы, обозначающие определенные действия, операции, состояния элементов САУ, вспомогательные обозначения, позволяющие связать отдельные элементы в цепочку причинно-следственных связей.

трические величины в сигналы. Вторые срабатывают под воздействием сигналов и обеспечивают подачу в объект энергии или организационных воздействий с целью перевода материала или продукта из исходного состояния к необходимому конечному состоянию.

В устройстве управления для реализации алгоритма используются исполнительные элементы командных приборов, формирующие информационные сигналы, и элементы устройств управления, воспринимающие эти сигналы.

В релейно-контактных электрических схемах в качестве исполнительных элементов командных аппаратов используются размыкающие и замыкающие контакты, в качестве воспринимающих элементов исполнительных устройств — катушки магнитных пускателей, электромагнитов.

Для формализации алгоритма ТП применим следующие буквенные обозначения:

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ — исполнительные элементы командных приборов ручного воздействия;

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ — исполнительные элементы командных приборов технологического воздействия;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — воспринимающие элементы исполнительных устройств;

$Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ — привода реле времени;

$z'_1, z'_2, z'_3, \dots, z'_n$ — исполнительные элементы реле времен (как командного прибора);

z'_c — контакт суточного реле времени.

Следующим шагом в направлении алгоритмизации САУ ТП является описание его с помощью символов.

В таблице 1 приведены символы, обозначающие определенные действия, операции, состояния элементов САУ, вспомогательные обозначения, позволяющие связать отдельные элементы в цепочку причинно-следственных связей.

трические величины в сигналы. Вторые срабатывают под воздействием сигналов и обеспечивают подачу в объект энергии или организационных воздействий с целью перевода материала или продукта из исходного состояния к необходимому конечному состоянию.

В устройстве управления для реализации алгоритма используются исполнительные элементы командных приборов, формирующие информационные сигналы, и элементы устройств управления, воспринимающие эти сигналы.

В релейно-контактных электрических схемах в качестве исполнительных элементов командных аппаратов используются размыкающие и замыкающие контакты, в качестве воспринимающих элементов исполнительных устройств — катушки магнитных пускателей, электромагнитов.

Для формализации алгоритма ТП применим следующие буквенные обозначения:

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ — исполнительные элементы командных приборов ручного воздействия;

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ — исполнительные элементы командных приборов технологического воздействия;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — воспринимающие элементы исполнительных устройств;

$Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ — привода реле времени;

$z'_1, z'_2, z'_3, \dots, z'_n$ — исполнительные элементы реле времен (как командного прибора);

z'_c — контакт суточного реле времени.

Следующим шагом в направлении алгоритмизации САУ ТП является описание его с помощью символов.

В таблице 1 приведены символы, обозначающие определенные действия, операции, состояния элементов САУ, вспомогательные обозначения, позволяющие связать отдельные элементы в цепочку причинно-следственных связей.

Таблица 1 — Основные обозначения в символической записи алгоритма

Наименование операции, условия их осуществления	Место изображения символа	Символ	Пример
Элемент изменяет исходное состояние	Перед символом элемента	\uparrow	$\uparrow \theta_1, \uparrow X_1$
Элемент возвращается в исходное положение	То же	\downarrow	$\downarrow \theta_1, \downarrow X_1$
Воздействие командного элемента на воспринимающий элемент	Между обозначениями элементов	—	$\downarrow \theta_1 - \downarrow X_1$
Выполнение технологической операции (цифрой над символом обозначается наименование технологической операции)	После обозначения включения воспринимающего элемента	$1, 2, \dots, n$	$\overset{1}{\uparrow X_1} - \uparrow \theta_2$ 1 – открытые за- слонки
Одновременное срабатывание нескольких элементов	Между обозначениями элементов		$\uparrow \theta_1$ $\uparrow X_1$ $\downarrow X_2$
Срабатывание последующего элемента происходит после срабатывания всех параллельных цепочек	То же		$\downarrow \theta_3$ $\uparrow X_3$ $\uparrow \theta_n$
Вспомогательные символы			
Включаемый механизм совершает вращение	Над обозначениями элемента		 X_4, X_5
Вспомогательные символы			
Поступательные движения назад	То же	\leftarrow	\leftarrow X_2
Поступательные движения вперед	То же	\rightarrow	\rightarrow X_1
Примечания: 1. Элементы САУ имеют два состояния (контакт замкнут — разомкнут, исполнительный механизм включен – отключен) и символы (\uparrow, \downarrow), которые обеспечивают обозначение состояния элементов. 2. Вспомогательные символы облегчают чтение алгоритма, однако нанесение их необязательно. 3. Наименование технологических операций и требования к ним приводятся дополнительно при разработке алгоритма.			

Записи алгоритма с помощью символов должны предшествовать обоснование и выбор командных приборов, при этом следует придерживаться основных принципов:

- 1) количество командных приборов должно быть таково, чтобы можно было составить логическую цепочку причинно-следственных связей работы САУ ТП;
- 2) САУ ТП должна строиться на базе серийно выпускаемых приборов;
- 3) приборы должны наиболее полно отвечать предъявляемым требованиям и условиям работы автоматизируемого объекта;
- 4) установка приборов не должна влиять на ход технологического процесса и обеспечивать бесперебойность работы оборудования в течение минимум одного цикла;
- 5) должна быть проработана кинематика взаимодействия первичного преобразователя командного прибора с объектом.

Используя словесное описание технологического процесса, условные обозначения и рекомендации, **обоснуем выбор командных приборов и произведем запись алгоритма САУ ТП для нашего примера.**

В соответствии с технологией кормораздачи, предварительно должен быть заполнен кормом накопительный бункер. Следовательно, требуется контролировать наличие минимальной дозы (разовая дача на одно кормление) элементом b_1 , представляющим собой, например мембранный датчик уровня. При наличии дозы в накопительном бункере и наступлении времени кормления должно быть обеспечено включение линии заполнения бункеров-дозаторов. В противном случае должна срабатывать аварийная сигнализация отсутствия корма в бункере. Таким образом, для автоматического включения линии требуется либо суточное реле времени (контакт z_1) либо использование функции времени в программе ПЛК. Кроме того, необходимо много-суточное реле времени, отвечающее за еженедельное изменение дозы и высоты окна кормушек, и минутное, отвечающее за время (расстояние) подъема заслонки дозирования и окна кормушки.

Заполнение бункера-дозатора должно производиться до заданной дозы. Для этого необходимо наличие датчика веса (по линиям b_2 и b_3) и клапана (по линиям X_3 и X_4), обеспечивающего отсечку корма.

Для останова спирального кормораздатчика в последних по линиям кормушках необходимо также установить датчики уровня (по линиям b_4 и b_5 , b_6 и b_7). Кроме этого, требуется контролировать крайние положения дозирующих заслонок и окон кормушки (конечные выключатели b_8 и b_9 , b_{10} и b_{11} на одну линию).

Принятые решения по выбору командных аппаратов оформляются в виде таблицы (таблица 2) или для «зримости» процесса в виде рисунка 6. Второй вариант предпочтительнее.

Таблица 2 — Буквенное обозначение командных приборов и исполнительных устройств

Обозначение элемента	Наименование командного прибора и исполнительного устройства
b_1	Датчик наличия корма в накопительном бункере
b_2, b_3	Датчики веса в бункерах-дозаторах
b_4-b_7	Датчик наличия корма в последних кормушках линии
b_8-b_{15}	Конечные выключатели, фиксирующие крайнее положение дозирующей заслонки и окна кормушки (регулируемой по высоте спинки птицы) по линиям кормораздачи
b_5	Конечный выключатель, фиксирующий закрытое состояние ЗБ
b_6	Конечный выключатель управления приводом выгрузного транспортера
b_7	Конечный выключатель фиксирующий К в конце кормушек
Z_1-Z_5	Реле времени соответственно суточное, обеспечивающее включение линии кормораздачи, многосуточные, подающее сигнал на исполнительный механизм изменения дозы, минутные, обеспечивающие интервал изменения дозы
X_1-X_2	Привода распределительного и поперечного транспортеров
X_3-X_4	Клапаны отсеки корма в бункерах дозаторов
X_5-X_8	Привода спиральных кормораздатчиков
X_9-X_{16}	Исполнительные механизмы перемещения заслонок и окон кормушек (реверсивные, поэтому обозначены через два исполнительных элемента на каждый механизм)

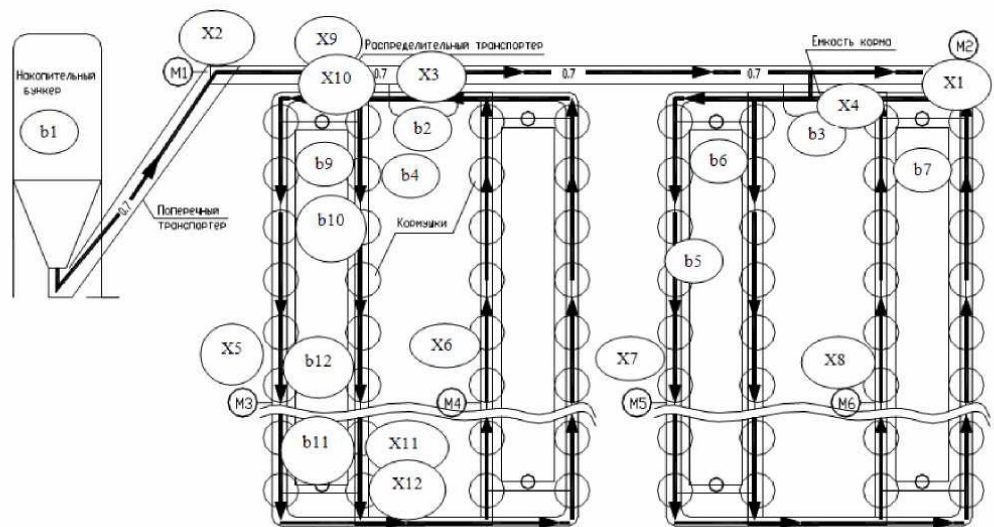


Рисунок 6 — Схема расположения командных приборов и исполнительных устройств на объекте управления

Как отмечалось ранее, при определении количества командных аппаратов следует также установить номенклатуры выпускаемых промышленностью приборов и соответствие их требованиям и условиям работы на автоматизируемом объекте.

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 для нашего примера для основного оборудования линии:

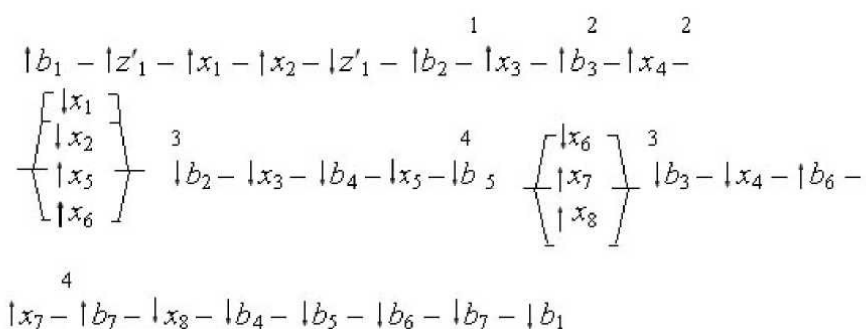


Таблица 3 — Характеристика технологических операций

Обозначение технол. операции	Наименование технол. операции (ТО)	Технол. требования к ТО
1	Заполнение кормом бункеров-дозаторов	Отключение привода при отсутствии корма в накопительном бункере
2	Отсечка корма при обеспечении нормы	Обеспечить нормированную раздачу корма
3	Кормораздача в кормушки линии	Работа до заполнения последней кормушки
4	Отключение привода кормораздатчика	По мере заполнения кормушек линии

Требования к технологическим процессам разрабатываются на начальной стадии проектирования и уточняются в процессе выбора средств автоматизации и разработки принципиальных схем.

Отдельные вопросы защиты оборудования следует решать при разработке алгоритма управления режима работы поточной технологической линии (рисунок 7).

Пуск поточной технологической линии следует производить с конца, против направления перемещения материала:

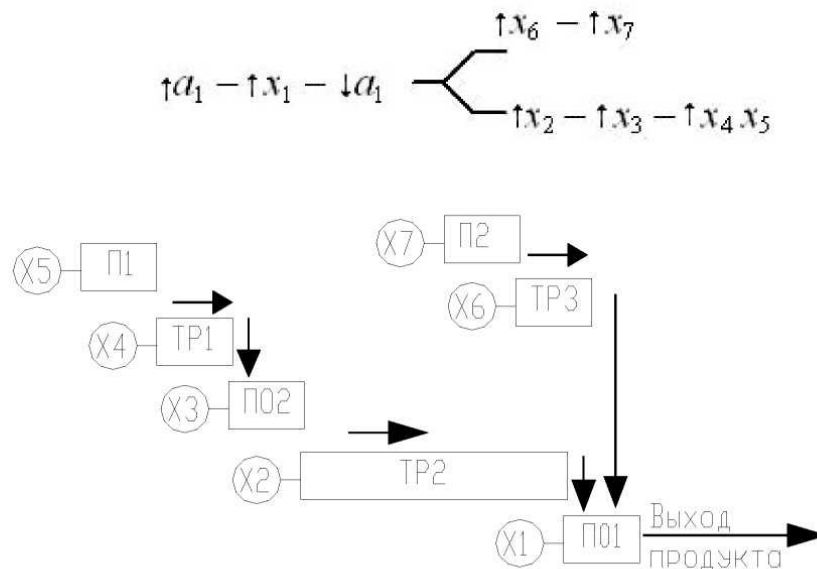


Рисунок 7 — Примерная схема поточной технологической линии:
 П₁, П₂ — питатели; ПО1, ПО2 — потребители; TP1, TP2, TP3 — транспортеры; X₁, X₂, ..., X₇ — исполнительные устройства;
 → — направление потока материала

При остановке технологической линии вначале следует отключить исполнительные устройства питателей (закрыть заслонки), а затем с выдержкой времени, необходимой для удаления материала из оборудования технологической линии, отключить все оставшиеся исполнительные устройства:

$$\uparrow a_2 - \left\{ \begin{matrix} \downarrow x_5 \\ \downarrow x_7 \\ \downarrow z \end{matrix} \right\} - \downarrow a_2 - \downarrow z' - \left\{ \begin{matrix} \downarrow x_1 \\ \downarrow x_2 \\ \downarrow x_3 \\ \downarrow x_4 \\ \downarrow x_6 \end{matrix} \right\} - \downarrow z - \downarrow z'$$

Поочередное отключение исполнительных устройств оборудования технологической линии по мере схода с него материала экономически нецелесообразно, например:

$$\uparrow a_2 \left\{ \begin{array}{l} \uparrow x_5 \\ \uparrow z \end{array} \right\} \uparrow z' - \uparrow x_4 - \uparrow z'' - \uparrow x_3 - \uparrow z''' - \uparrow x_2 - \uparrow z'''' - \uparrow x_1 - \uparrow z - \uparrow z' - \uparrow z'' - \uparrow z''' - \uparrow z''''$$

так как усложняет принципиальную схему, требует больших затрат на реализацию, что делает ее менее надежной в работе и не окупается экономией энергии.

Условие обеспечения аварийной сигнализации в примере при не завершении загрузки бункеров-дозаторов кормом, когда недостаточна загрузка накопительного бункера, требует выражения в символической записи дополнительной цепочки, которую следует рассматривать как ответвление от основной:

$$\uparrow b_1 - \uparrow z'_1 - \uparrow x_1 - \uparrow x_2 - \uparrow z'_1 - \uparrow b_1 \left\{ \begin{array}{l} \uparrow x_2 \\ \uparrow x_c \\ \uparrow x_1 \end{array} \right\}$$

где x_c — сигнализация.

Условие еженедельного изменения дозы корма требует также рассмотрения отдельных цепей алгоритма, выраженных для одной линии кормораздачи:

$$\begin{aligned} \uparrow z'_2 & \left\{ \begin{array}{l} \uparrow x_9 \\ \uparrow x_{10} \\ \uparrow z_4 \\ \uparrow z_3 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \uparrow b_8 \\ \uparrow b_{10} \end{array} \right\} \uparrow z'_2 - \uparrow z'_3 - \uparrow x_9 - \uparrow z_3 - \uparrow z'_3 - \uparrow z'_4 - \uparrow x_{10} - \uparrow z_4 - \uparrow z'_4 \dots \uparrow b_9 - \\ & \uparrow b_{11} - \uparrow z'_5 \left\{ \begin{array}{l} \uparrow x_{11} \\ \uparrow x_{12} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \uparrow b_9 \\ \uparrow b_{12} \end{array} \right\} \uparrow b_8 - \uparrow x_{11} - \uparrow b_{10} - \uparrow x_{12} - \uparrow z'_5 \end{aligned}$$

Многоточие означает наличие повторяющихся циклов работы оборудования. В данном примере изменение дозы за цикл содержания происходит еженедельно, т. е. раз в неделю срабатывают исполнительные механизмы на подъем заслонки и окна кормушки. Причем поскольку доза прирастает неравномерно, то и выдержки $\uparrow z'_3$ и $\uparrow z'_4$ не одинаковы в цикле содержания птицы. Поэтому реализовать данный алгоритм возможно только на ПЛК.

Символическая запись технологического процесса дает полный алгоритм работы схемы и позволяет применить любой инженерный метод синтеза принципиальных схем автоматического управления технологическим процессом.

Определение реализуемости алгоритма САУ ТП. Запись алгоритма ТП в виде символов удобно не только своей наглядностью, но и тем, что она служит основой синтеза схемы управления. Обычно для этой цели служат таблицы включений, однако для записи всего цикла работы механизмов ТП они громоздки и для определения реализуемости алгоритма воспользуемся записью в виде символов, где каждое изменение состояния командного аппарата или исполнительного органа будет рассматриваться как такт.

Под реализуемостью алгоритма ТП понимают возможность синтеза схемы управления без применения промежуточных реле (логических) или, если они нужны, определение их количества, необходимого для реализации структуры управления.

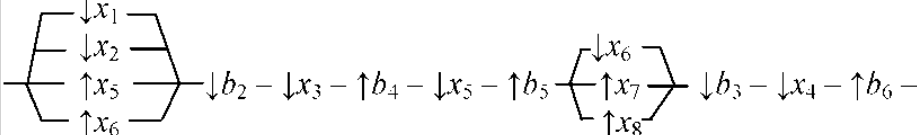
С целью определения возможности реализации цикла каждому элементу символической записи присваивается так называемый «вес». Первому элементу присваиваем «вес» равный единице. «Вес» каждого последующего «нового» элемента удваивается.

Начальный вес всей схемы принимается равным нулю, независимо от того замкнут или разомкнут контакт командного аппарата, включен или отключен исполнительный орган.

С каждым тактом весовое состояние схемы меняется. При изменении исходного состояния элемента к весовому состоянию схемы прибавляется весовое состояние элемента, при возвращении элемента в исходное состояние от весового состояния схемы вычитается весовое состояние элемента. Такая запись производится для всего цикла работы.

Произведем проверку реализуемости алгоритма обоснованного варианта управления:

Такт	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вес элемента	1	2	4	8	2	16	32	64	128
Запись алгоритма	$\uparrow b_1 - \uparrow z'_1 - \uparrow x_1 - \uparrow x_2 - \downarrow z'_1 - \uparrow b_2 - \uparrow x_3 - \uparrow b_3 - \uparrow x_4 -$								
Вес состояния	1	3	7	15	13	29	61	125	253

1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	4/8/256/512	16	32	1024	256	2048	512/4096/8192	64	128	16384
3										
4	1009	993	961	1985	1729	3777	15553	15489	1536	31745

1	20	21	22	23	24	25	26	27
2	4096	32768	8192	1024	2048	16384	32768	1
3	$-\downarrow x_7 - \uparrow b_7 - \downarrow x_8 - \downarrow b_4 - \downarrow b_5 - \downarrow b_6 - \downarrow b_7 - \downarrow b_1$							
4	27649	60417	52225	51201	49153	32769	1	0

Необходимо заметить, что проверке отдельно подвергается основная цепь алгоритма и дополнительная (дополнительные). В данном случае рассмотрена только основная.

Реализуемость алгоритма определяется анализом его весового состояния. На первом этапе определяется корректность записи весового состояния — весовое состояние в последнем такте цикла работы оборудования технологической линии не должно быть числом отрицательным. О необходимости использования промежуточных элементов говорит наличие повторений числовых значений весового состояния алгоритма на протяжении цикла. Введение промежуточных элементов в алгоритм выбирается таким образом, чтобы перекрыть такты с одинаковыми весовыми состояниями. Необходимо иметь в виду, что промежуточный элемент никогда не должен изменять своего состояния сразу после нереализуемого такта. После него обязательно должен быть пропущен хотя бы один такт с другим весовым состоянием, и только после этого можно включить или выключить промежуточный элемент.

Проверка данного алгоритма показала, что 1) алгоритм составлен верно, поскольку значение конечного весового состояния

2.3 Практическое занятие №5-6 (4 часа).

Тема: «Исследование промышленной автоматической системы регулирования температуры в объекте»

2.3.1 Задание для работы:

Задание

1. Заполнить карточку предварительной подготовки к занятию. Доказать выводимые законы алгебры логики.

2. В соответствии с вариантом (приложение 7) упростить приведенную структуру, записав структурную формулу двумя способами (по выделению видов соединений элементов и по определению множества непрерывных цепей), применив к записи основные законы алгебры логики.

3. Проверить ответ, используя электронный практикум, и показать результат преподавателю. Для этого запустить файл «самостоятельная.rpt» (область документов — **Общая/АСУП/АТП/Миним**), выбрать вариант, ввести ответ в текстовое поле по приведенным на слайде правилам и воспользоваться кнопкой **Проверка**. В случае не-

2.3.2 Краткое описание работы

Краткие теоретические сведения по теме

Аналитическая запись структуры схем управления. Наиболее распространенным способом изображения структуры схем является их графическое вычерчивание, при котором контакты командных (приемных) элементов и исполнительные органы изображаются в виде графических символов. Выражение структуры в программе логического контроллера зависит от применяемого языка программирования. Для языка функциональных блочных диаграмм, например графическое представление структуры рассмотрено в теме 5 и теории электронного практикума (запустить файл «алгебра.rpt» из области документов — **Общая/АСУП/АТП/Миним**), поэтому остановимся более подробно на структуре, реализованной релейно-контактной схемой управления.

При описании схем, изображенных в развернутом начертании, приходится для каждого контакта и исполнительного органа, помимо графических символов, вводить буквенные обозначения. При небольшом усложнении буквенных обозначений можно совершенно отказаться от использования графических символов.

Элементы структурной схемы обозначаются обычно буквами латинского алфавита.

Примем следующие обозначения:

- приемные элементы — $A, B, C, \dots, N;$
- промежуточные элементы — $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n;$
- исполнительные органы — $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n;$
- исполнительное устройство — реле времени — $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n.$

Контакты командных, промежуточных элементов и исполнительных органов:

- размыкающие $\overline{a}, \overline{b}, \overline{c}, \dots, \overline{x_1}, \overline{x_2}, \overline{x_3} \dots;$
- замыкающие $a, b, c, \dots, x_1, x_2, x_3, \dots;$
- контакты реле времени $z'_1, z'_2, z'_3, z'_n;$
- постоянно-замкнутый контакт — 1;
- постоянно-разомкнутый контакт — 0.

При принятых обозначениях структура схемы управления (рисунок 8, а) будет иметь вид, изображенный на рисунке 8, б. Однако во избежание ошибок, связанных с написанием больших и малых букв алфавита, целесообразно использовать комбинированное обозначение (рисунок 8, в).

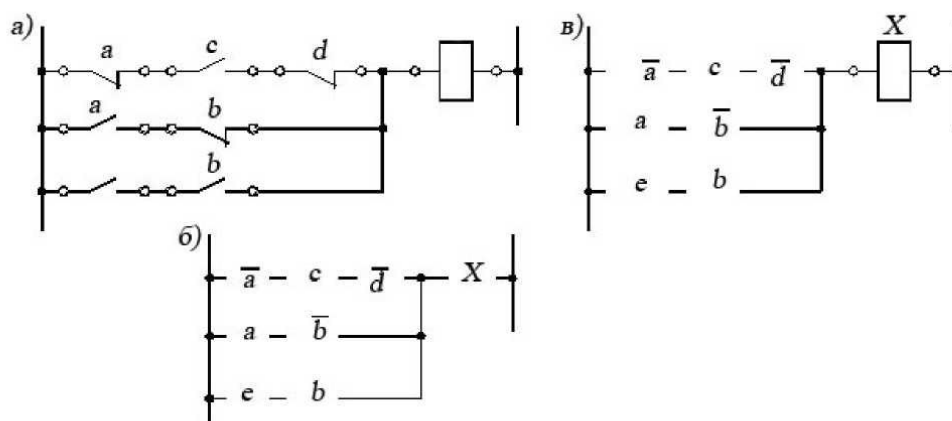


Рисунок 8 — Варианты изображения структуры релейных схем

Если обозначить последовательное соединение знаком умножения (точкой), а параллельное соединение — знаком сложения (плюсом), то структуру релейных схем можно записать в виде аналитических выражений, которые носят название **структурных формул схем**.

Если использовать те же символы, что и при упрощении изображения структурной схемы (рисунок 8, б), то структурная формула будет иметь вид:

$$f(X) = \bar{a} \cdot c \cdot \bar{d} + a \cdot \bar{b} + eb. \quad (1)$$

Правая часть этой структурной формулы выражает контактную схему, контактный двухполюсник. В левой части индекс X при функции f указывает, что контактный двухполюсник воздействует на один исполнительный орган X .

По виду соединений различают параллельно-последовательные схемы (схемы класса **П** — рисунок 8) и с мостиковыми соединениями (рисунок 9). Последние часто называют схемами класса **Н**, так как простейшая схема такого вида, состоящая из пяти структурных элементов, по своему начертанию сходна с буквой Н (параллельно-последовательная структура).

Применение мостиковых соединений приводит к существенному сокращению числа контактов.

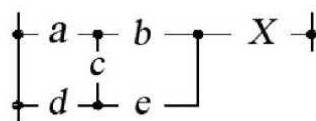


Рисунок 9 — Простейшая мостиковая схема класса Н

Из рисунка 9 видно, что в схемах класса **Н** каждый из начальных структурных элементов (в данном случае *a* и *d*) соединен последовательно с каждым из конечных структурных элементов (в данном случае *b* и *e*). Структурные элементы, включенные в мостовое соединение (в данном случае *c*), входят в несколько различных цепей, которые могут образоваться в схеме между ее начальными и конечными полюсами. Поэтому схему можно описать структурной формулой:

$$f(x) = a \cdot b + d \cdot e + a \cdot c \cdot e + d \cdot c \cdot b. \quad (2)$$

При помощи структурной формулы можно выразить структурные схемы, содержащие несколько исполнительных органов.

Пусть в схему должны быть включены исполнительные органы X_1, X_2, \dots, X_n , на которые должны воздействовать контакты элементов A, B, C, \dots, Q .

Для каждого из элементов, исполнительные органы которых должны быть включены в схему, можно написать структурную формулу в следующем виде:

$$f(X_1) = f_1(a, b, c, \dots, q);$$

$$f(X_2) = f_2(a, b, c, \dots q); \quad (3)$$

$$f(X_n) = f_n(a, b, c, \dots q).$$

Условное графическое изображение этих формул представлено на рисунке 10.

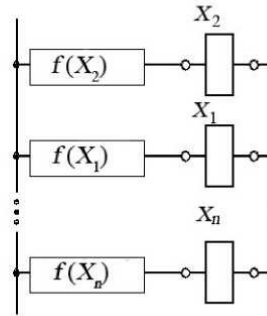


Рисунок 10 — Структура схемы управления

Так как воздействующие контакты включены последовательно с исполнительными органами, а цепи различных исполнительных органов включены между собой параллельно, то структуру всей схемы, изображенной на рисунке 2.10, можно записать в следующем виде:

$$F_{\text{сх.}} = f_1(a, b, c, \dots q) \bullet X_1 + f_2(a, b, c, \dots, q) \bullet X_2 + f_n(a, b, c, \dots, q) \bullet X_n, \quad (4)$$

или в общем виде:

$$F_{\text{сх.}} = f(a, b, c, \dots, q; X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (5)$$

Следует различать структурные формулы, содержащие только символы контактов, т. е. выражающие контактные схемы, и структурные формулы, содержащие символы контактов и исполнительных органов, т. е. выражающие релейные схемы в целом.

При записи структурных формул примем следующие обозначения: прописной буквой f будем обозначать функцию, содержащую только символы контактов, а буквой F — структурную схему исполнительного органа.

Основные законы алгебры логики. Упрощение контактных схем. В процессе синтеза контактных схем могут возникнуть

сложные структуры с большим количеством контактных элементов. В основу существующих методов преобразования заложен математический аппарат так называемой алгебры логики, созданной английским ученым Булем (приложение 6).

Переместительный, сочетательный и распределительный законы соответствуют аналогичным законам обычной алгебры. Поэтому в случае преобразования структурных формул в отношении порядка сложения и умножения членов, вынесения членов за скобки и раскрытия скобок можно следовать правилам, установленным для обращения с обычными алгебраическими выражениями. Остальные законы являются специфическими для булевой алгебры.

Примеры преобразования контактных схем.

Пример 1. Требуется преобразовать с целью упрощения контактную схему, изображенную на рисунке 11, а.

Решение.

Выделяя виды соединений, напомним структурную формулу контактов исполнительного элемента X:

$$f(x) = (a + b) \bullet [e \bullet (a + d) + \bar{e} \bullet (a + c) + a \bullet \bar{f} \bullet (f + d)] \quad (6)$$

Используя законы булевой алгебры произведем преобразования:

$$f(x) = (a + b) \bullet (e \bullet a + e \bullet d + \bar{e} \bullet a + \bar{e} \bullet c) + a \bullet \bar{f} \bullet f + a \bullet \bar{f} \bullet d,$$

так как $e \bullet a + \bar{e} \bullet a = a \bullet (e + \bar{e}) = a$, а $a \bullet \bar{f} \bullet f = 0$, то $f(x)$ примет вид:

$$f(x) = (a + b) \bullet (a + e \bullet d + \bar{e} \bullet c + a \bullet \bar{f} \bullet d),$$

но так как

$$a + a \bullet \bar{f} \bullet d = a(1 + \bar{f} \bullet d) = a,$$

то

$$\begin{aligned} f(x) &= (a + b) \bullet (a + ed + \bar{e} \bullet c) = aa + aed + a\bar{e}c + ab + bed + b\bar{e}c = \\ &= a \bullet (1 + ed + \bar{e}c + b) + b \bullet (ed + \bar{e}c) = a + b \bullet (ed + \bar{e}c). \end{aligned} \quad (7)$$

РКС исполнительного органа X, соответствующая полученной формуле, изображена на рисунке 11, б.

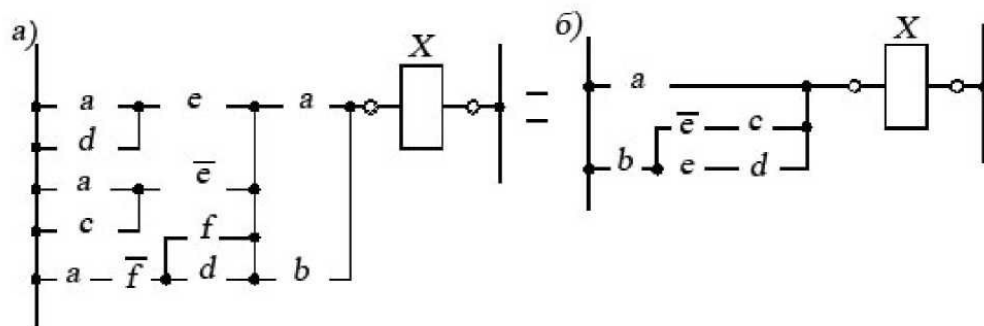


Рисунок 11 — Пример упрощения структуры РКС:
a — исходная структура; *б* — упрощенная структура

Пример 2. Требуется преобразовать с целью упрощения контактную схему изображенную на рисунке 12, *a*.

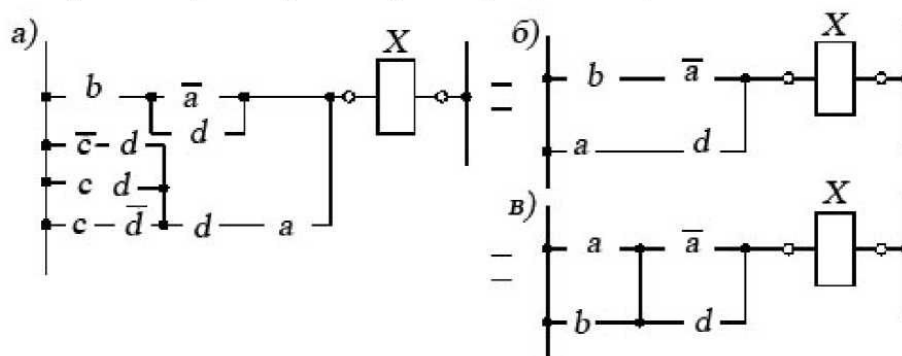


Рисунок 12 — Пример упрощения структуры РКС:
a — исходная структура; *б* — первый вариант упрощения структуры;
в — второй вариант упрощения структуры

$$f(x) = b\bar{a} + bd + \bar{c}dda + cdda + \bar{c}dda, \quad (8)$$

так как $\bar{c}dda = 0$, то $f(x) = b\bar{a} + bd + \bar{c}da + cda$.

Умножим $\bar{c}d$ на $\bar{a} + a = 1$.

$$f(x) = b\bar{a} + bda + bd\bar{a} + da = b\bar{a}(1 + d) + ad(b + 1) = b\bar{a} + ad.$$

Схема, соответствующая полученной формуле, изображенная на рисунке 2.19, *б*, по действию равносильна заданной.

К выражению $f(x) = b\bar{a} + bd + da$ можно также прибавить $0 = a \cdot \bar{a}$. Тогда

2.4 Практическое занятие №7-8 (4 часа).

Тема: «Исследование статистических и динамических свойств чувствительного элемента инерционного звена в АСР»

2.4.1 Задание для работы:

Задания

1. Заполнить карточку предварительной подготовки к занятию.
2. Проверить усвоение основных положений теории синтеза структуры управления с помощью компьютера в ходе работы с электронным практикумом, выполнив тест и задание по варианту преподавателя (файл «Теория_РКС.ppt» в области документов — **Общая / АСУП / АТП / Практика**).
3. Разработать структуру управления для варианта алгоритма, полученного в ходе изучения темы 2.

2.4.2. Краткое описание занятия

Краткие теоретические сведения по теме

Теория разработки структуры управления поточными технологическими линиями. Системы управления поточными технологическими линиями относятся к классу двоичных систем. Все входные, выходные величины и параметры состояний таких систем могут принимать только дискретные значения. Описать алгоритм схем такого класса можно, используя законы Булевой алгебры, теорию автоматов, векторные дифференциальные уравнения, пространственное изображение состояний, Марковские процессы, таблицы автоматов, графы состояний, логические таблицы.

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

Разрабатывается структура управления, как правило, для основного (автоматического) режима работы и затем дополняется элементами и связями, способными реализовать дополнительные режимы работы (ручной, наладочный).

Для математического описания алгоритма дискретных систем управления воспользуемся законами Булевой алгебры и логическими таблицами.

Исходным материалом для составления логических таблиц (частные таблицы включения, таблицы покрытий) служит запись алгоритма работы САУ ТП с помощью символов (тема 2). Перевод алгоритма в структуру управления обеспечивает следующая последовательность действий: составление частной таблицы включения, в соответствии с которой формируется структурная формула контактов, которая на этом этапе является достаточно громоздкой и требует упрощения, например с помощью таблицы покрытия; далее ведется анализ получен-

ной частной структуры управления на соответствие действия алгоритму, исправление состояния некоторых элементов или уточнение алгоритма и повторная реализация управления в частной структуре; в случае положительного исхода анализа всех частных структурных формул реализуется полная структура управления, которую получают через сведение частных структур с выделением общих элементов управления; далее полную структуру управления требуется проанализировать с точки зрения устранения ложных цепочек срабатывания и соответствия алгоритму работы оборудования линии.

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

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

Рассмотрим примеры построения частных таблиц включения и построения по ним первоначальных структурных формул на базе алгоритма управления кормораздачей птичника, описанного в общей теоретической части второй темы.

Для составления частных таблиц включения для всех командных и исполнительных органов используем те же обозначения, что и при символической записи алгоритма.

В горизонтальных строках таблицы вписаны все элементы (Э). Вертикальные столбцы — это такты (Т).

При переходе от одного такта к другому меняется состояние хотя бы одного из элементов.

Знаком «+» обозначается срабатывание или включение элемента (попадание под напряжение катушки реле магнитного пускателя, электромагнита или нажатие кнопки управления или конечного выключателя), а знаком «-» — их выключение или отпускание. Нулевой такт характеризует состояние всех элементов в начале цикла.

Для удобства синтеза принимают, что в начале цикла все элементы отключены (катушки пускателей и реле не находятся под напряжением, а конечные выключатели не нажаты).

Однако в реальных условиях может быть, что в начале цикла некоторые конечные выключатели будут нажаты, а некоторые электромагниты или пускатели будут включены. Поэтому хотя такое состояние элементов не повлияет на результат синтеза, при переходе структурной формулы к реальной схеме контакты конечных выключателей, нажатых в начале цикла, должны быть заменены на инверсные.

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

Рассмотрим пример построения частных таблиц включения и получение первоначальных структурных формул для элемента x_1 или исполнительного элемента распределительного транспортера.

В частную таблицу включения элемента x_1 (таблица 4) войдут элементы:

z'_1 — элемент пуска кормораздачи;

e_1 — элемент, определяющий исходное состояние линии (загрузка кормом накопительного бункера);

e_3 — элемент отключения x_1 .

При корректной записи в таблице включения «вес» в последнем такте должен равняться «0».

Таблица 4 — Таблица включений ИЭ x_1

Э	Вес Э	Такты								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
x_1	1	—	—	—	⊕	+	+	⊖	—	—
z_1	2	—	—	⊕	+	⊖	—	—	—	—
e_3	4	—	—	—	—	—	⊕	+	⊖	—
e_1	8	—	⊕	+	+	+	+	+	+	⊖
Вес схемы		0	8	10	11	9	13	12	8	0

Частная таблица включений проверяется на реализуемость в интервале цикла работы элемента X_1 (такты 2, 3, 4). Если алгоритм реализуем, то с помощью его элементов можно сделать реализуемыми и все полученные из него частные таблицы включения, что и видно из данной частной таблицы включений.

С целью упрощения анализа частной таблицы включения элемента обозначим:

- такт, предшествующий такту включенного состояния ИЭ — **тактом срабатывания** (такт 2);
- такт, предшествующий такту отключенного состоянию ИЭ — **тактом отпускания** (такт 5);
- такты включенного состояния ИЭ называются **рабочими тактами** ИЭ (такты 2–4), остальные такты — холостыми.

Реализуемость схемы управления без дополнительных элементов характеризуется повторяемостью весового состояния схемы. В данном случае весовое состояние в рабочих тактах не повторяется, и схема может быть реализована без дополнительных элементов.

Представленная в таблице запись тактов не совсем удобна для ее чтения. В дальнейшем в таблицах включений знаками «—» и «+» будем обозначать такты срабатывания элементов, а промежутки между этими тактами заполнять знаками не будем.

Для удобства анализа изменение состояния элемента в таблице обведено кружком.

Из структурной теории релейных устройств известна следующая общая формула для определения первоначальной структуры какого-либо элемента X :

$$f(x) = f_{\text{ср}}(x) + X \cdot \overline{f_{\text{отп}}(x)}, \quad (10)$$

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

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

Определим цепь включения ИЭ X_1 по таблице включений. ИЭ X_1 в такте срабатывания включается тогда, когда для логического произведения контактов этого такта у элементов z_1 и \mathbf{b}_1 будут использованы замыкающие контакты (элемент \mathbf{b}_1 замкнется в такте 1, z_1 — в такте 2), а у элемента \mathbf{b}_3 будет использован замкнутый контакт.

Таким образом, $f_{\text{ср}}(x) = z'_1 \cdot \overline{b_3} \cdot b_1$.

В тактах рабочего хода ИЭ X_1 элементы z_1 и \mathbf{b}_3 изменили свое состояние, а элемент \mathbf{b}_1 остался в прежнем состоянии, поэтому структурная формула в такте отпущения будет иметь вид:

$$f_{\text{отп}}(x_1) = \overline{z'_1} \cdot b_3 \cdot b_1,$$

При корректной записи в таблице включения «вес» в последнем такте должен равняться «0».

Таблица 4 — Таблица включений ИЭ x_1

Э	Вес Э	Такты								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
x_1	1	—	—	—	⊕	+	+	⊖	—	—
z_1	2	—	—	⊕	+	⊖	—	—	—	—
e_3	4	—	—	—	—	—	⊕	+	⊖	—
e_1	8	—	⊕	+	+	+	+	+	+	⊖
Вес схемы		0	8	10	11	9	13	12	8	0

Частная таблица включений проверяется на реализуемость в интервале цикла работы элемента X_1 (такты 2, 3, 4). Если алгоритм реализуем, то с помощью его элементов можно сделать реализуемыми и все полученные из него частные таблицы включения, что и видно из данной частной таблицы включений.

С целью упрощения анализа частной таблицы включения элемента обозначим:

- такт, предшествующий такту включенного состояния ИЭ — **тактом срабатывания** (такт 2);
- такт, предшествующий такту отключенного состоянию ИЭ — **тактом отпускания** (такт 5);
- такты включенного состояния ИЭ называются **рабочими тактами** ИЭ (такты 2–4), остальные такты — холостыми.

Реализуемость схемы управления без дополнительных элементов характеризуется повторяемостью весового состояния схемы. В данном случае весовое состояние в рабочих тактах не повторяется, и схема может быть реализована без дополнительных элементов.

Представленная в таблице запись тактов не совсем удобна для ее чтения. В дальнейшем в таблицах включений знаками «—» и «+» будем обозначать такты срабатывания элементов, а промежутки между этими тактами заполнять знаками не будем.

Для удобства анализа изменение состояния элемента в таблице обведено кружком.

Из структурной теории релейных устройств известна следующая общая формула для определения первоначальной структуры какого-либо элемента X :

$$f(x) = f_{\text{ср}}(x) + X \cdot \overline{f_{\text{отп}}(x)}, \quad (10)$$

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

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

Определим цепь включения ИЭ X_1 по таблице включений. ИЭ X_1 в такте срабатывания включается тогда, когда для логического произведения контактов этого такта у элементов z_1 и \mathbf{b}_1 будут использованы замыкающие контакты (элемент \mathbf{b}_1 замкнется в такте 1, z_1 — в такте 2), а у элемента \mathbf{b}_3 будет использован замкнутый контакт.

Таким образом, $f_{\text{ср}}(x) = z'_1 \cdot \overline{b_3} \cdot b_1$.

В тактах рабочего хода ИЭ X_1 элементы z_1 и \mathbf{b}_3 изменили свое состояние, а элемент \mathbf{b}_1 остался в прежнем состоянии, поэтому структурная формула в такте отпущения будет иметь вид:

$$f_{\text{отп}}(x_1) = \overline{z'_1} \cdot b_3 \cdot b_1,$$

а полная структурная формула цепи управления ИЭ X_1 :

$$f(x_1) = z_1' \cdot \bar{b}_3 \cdot b_1 + \overline{z_1' \cdot b_3 \cdot b_1} \cdot X_1.$$

Используя основные законы алгебры логики произведем преобразование структурной формулы контактов ИЭ X_1 , раскрыв по формуле де Моргана выражение под общей инверсией:

$$f(x_1) = z_1' \cdot \bar{b}_3 \cdot b_1 + z_1' \cdot X_1 + \bar{b}_3 \cdot X_1 + \bar{b}_1 \cdot X_1.$$

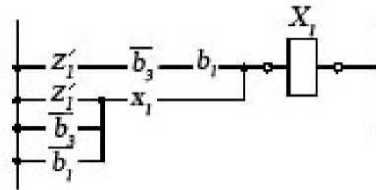


Рисунок 13 — Формула управления, выраженная структурой

В результате преобразований получена структурная формула контактов ИЭ X_1 , состоящая из четырех параллельных цепей. Формула является рабочей, но достаточно громоздкой и требующей упрощения. Для дальнейших действий для удобства анализа можно по формуле нарисовать структуру управления (рисунок 13).

Для упрощения первоначальной структурной формулы контактов ИЭ X_1 можно воспользоваться **таблицей покрытия**. Ее назначение — исключить из первоначальной структурной формулы ИЭ лишние слагаемые (которые или не реализуют какие-либо такты, или реализуют их с помощью дополнительных слагаемых структурной формулы). Таблицы покрытия строятся следующим образом: в горизонтальных строках левого столбца выписываются все суммы произведений, имеющиеся в первоначальных структурных формулах элементов, а в вертикальных столбцах — номера тактов включенного состояния данного элемента, в том числе и такта срабатывания. Такт отпускания ИЭ в таблицу покрытий не входит.

Далее определяется, какими тактами реализуется каждое произведение структурной формулы, и в тех тактах, где данное произведение вызывает замкнутую цепь для элемента, ставят знак X . Произведения, в строках которых нет ни одного знака X , исключаются из первоначальной структурной формулы, так как они не реализуют ни одного такта.

Произведения, знаки X которых перекрываются такими знаками другого произведения, также могут быть исключены, так как для каждого из тактов включенного состояния ИЭ достаточно замыкание всего одной цепи.

Воспользовавшись частной таблицей включений ИЭ X_1 и полученной первоначальной структурной формулой ($f(x_1)$), построим таблицу покрытия для ИЭ X_1 и произведем минимизацию первичной структурной формулы элементов (таблица 5).

Таблица 5 — Покрытия ИЭ X_1

№	Цепи	Такты		
		2	3	4
1	$z_1' \bullet \bar{b}_3 \bullet b_1$	X	X	—
2	$\bar{b}_3 \bullet x_1$	—	X	X
3	$\bar{b}_1 \bullet x_1$	—	—	—
4	$z_1' \bullet x_1$	—	X	—

Цепочка контактов 1 обеспечит замкнутую цепь в тактах 2 и 3 в соответствии с записью начального условия $f_{cp}(x_1)$. В такте 4 элемент z_1' меняет свое состояние, т. е. цепь размыкается.

Цепочка контактов 2 в такте 2 будет разомкнута, так как ИЭ X_1 включается в такте 3, в этом же такте замкнется и его контакт и в цепочке 2 в тактах 3–4 обеспечит замкнутую цепь.

Цепочки 3 не обеспечивает замкнутую цепь ни в одном такте, так как контакт \bar{b}_1 является инверсным контактом b_1 , который в тактах 2–4 замкнут, значит \bar{b}_1 в этих тактах разомкнут. Таким образом, замкнутую цепь в тактах 2–4 обеспечат две параллельно соединенные цепочки контактов:

$$f(x_1) = z'_1 \cdot \bar{b}_3 \cdot b_1 + \bar{b}_3 \cdot X_1 = \bar{b}_3 \cdot (z'_1 \cdot b_1 + X_1),$$

при этом обеспечивается «перехват».

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

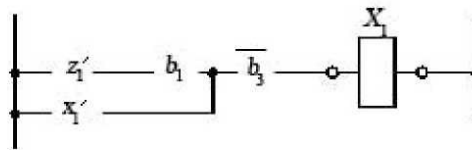


Рисунок 14 — Структурная схема ИЭ X_1

Проанализируем работу схемы. Включение ИЭ X_1 произойдет при замыкании контакта z'_1 и выполнении условия заполнения кормом накопительного бункера (при этом замкнется контакт b_1). Распределительный транспортер будет работать. Если контакты z'_1 и b_1 разомкнутся, ИЭ X_1 не отключится, так как цепь элементов z'_1 , b_1 будет заблокирована блок контактом X_1 . Электрическая цепь $\bar{b}_3 \cdot x_1$ разомкнется после полной загрузки промежуточных емкостей и размыкания контакта b_3 . Повторного включения распределительного транспортера после заполнения емкости не должно произойти, так как контакт z'_1 будет находиться в разомкнутом состоянии. Однако имеется дополнительная цепочка алгоритма, описывающая работу в неполном технологическом режиме, когда отсутствует корм в накопительном бункере. В этом случае должно выполняться условие отключения транспортера, а в данной структурной схеме этого не произойдет. По-

этому в полной структурной схеме в данную цепь следует включить контакт промежуточного реле (рисунок 15).

Полная структурная схема САУ ТП состоит из структурных схем отдельных исполнительных механизмов (рисунок 15). На данной схеме исполнительные механизмы управления заслонками действуют аналогично, но по сигналам от датчиков второй линии. Однако следует заметить, что данная структура не может быть полноценно переведена в релейно-контактную схему управления, поскольку не решает ряд проблем:

- доза корма в емкости в период содержания птицы с 4-й по 18-ю неделю не постоянна, датчик же настраивается на одну дозу или настройку приходится постоянно изменять;
- также неравномерно в течение периода содержания может меняться интервал времени подъема заслонки в кормушке, как и подъем окна кормушки по спинке птицы.

Однако данных проблем можно избежать, если перевести структуру управления в программу контроллера.

В настоящее время имеется обширная литература, посвященная синтезу релейных схем автоматики, позволяющая кроме разработки обеспечивать минимизацию схемы, однако сокращение командных аппаратов усложняет схему управления и увеличивает затраты на технические средства, а также уменьшает надежность работы САУ. Тот или иной вариант схемы управления, таким образом, должен быть всесторонне проанализирован с учетом возможных критериев.

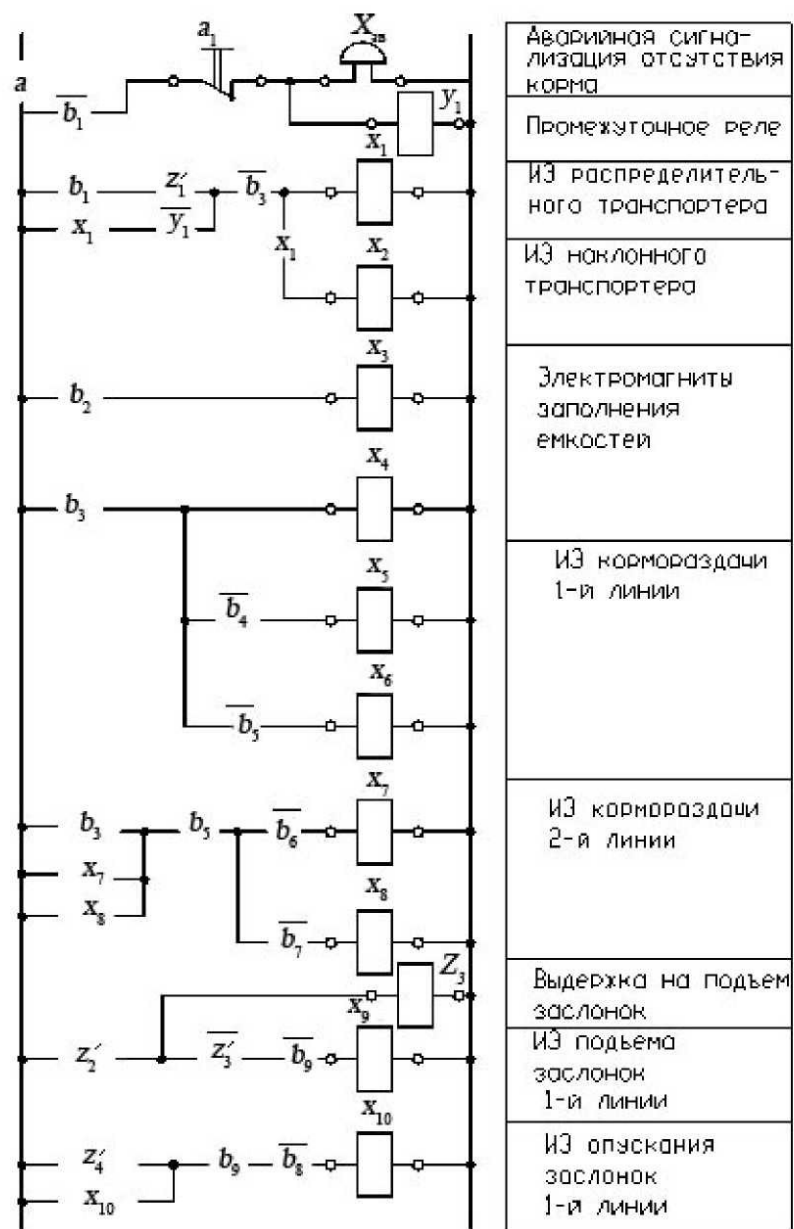


Рисунок 15 — Полная структурная схема управления кормораздачей в птичнике

2.5 Практическое занятие №9-10-11 (6 часа).

Тема: «Изучение промышленных АСР реальных теплотехнических объектов»

2.5.1 Задание для работы:

Задания

1. Заполнить карточку предварительной подготовки к занятию.
2. Выбрать устройство управления технологической линией (релейно-контактная аппаратура, регуляторы или контроллер), аргументируя выбор с точки зрения эффективного решения задач управления, полноты реализации алгоритма управления, экономических показателей, надежности, безопасности.

2.5.2 Краткое описание занятия

Краткие теоретические сведения по теме

Назначение и типы принципиальных электрических схем.

Принципиальная (полная) схема — это схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы установки или изделия.

Элементом схемы называется составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющая самостоятельное функциональное назначение (прибор, магнитный пускатель, трансформатор, ключ управления, резистор и т. д.).

Полные принципиальные электрические схемы по функциональному назначению **можно разделить на:** управления технологическими процессами, регулирования, защиты, измерения и сигнализации.

Принципиальные схемы управления состоят из силовых цепей или цепи главного тока и из вспомогательных цепей управления и защиты. При всем многообразии принципиальных электрических схем управления технологическими процессами и степени их сложности они представляют определенным образом составленное сочетание отдельных, достаточно элементарных электрических цепей и типовых функциональных узлов, в заданной последовательности выполняющих ряд стандартных операций. Под стандартными операциями следует понимать передачу командных сигналов к органам управления или сигналов измерения к исполнительным органам, усиление или размножение командных сигналов, их сравнение, превращение кратковременных сигналов в длительные и, наоборот, блокировку сигналов и т. д.

Принципиальная электрическая схема управления разрабатывается в соответствии с алгоритмом управления технологического процесса и дополняется типовыми принципиальными схемами регулирования, защиты и сигнализации.

Выбор типовых схем осуществляется в соответствии с общим комплексом вопросов, связанных с контролем, управлением и регулированием данного объекта, определенным в начальной стадии проектирования, и обеспечивающим надежность, простоту, удобство оперативной работы, эксплуатации и четкость действия схемы при аварийных режимах.

Полная принципиальная схема служит основанием для разработки монтажных таблиц щитов и пультов, схем соединений внешних проводок и других документов проекта.

Принципиальными схемами пользуются для изучения принципов работы изделий, а также при их наладке, контроле и ремонте.

Разработка полной принципиальной схемы управления, защиты, контроля и сигнализации. Полная принципиальная схема управления, защиты, контроля и сигнализации разрабатывается в соответствии с требованиями к схеме САУ ТП, которые определяются в начальной стадии проектирования.

На этом этапе определяются режимы работы оборудования (автоматический, ручной, наладочный) и способ функционирования оборудования (исключающий одновременное управление в нескольких режимах), способы защиты технологического процесса и оборудования, виды и объем сигнализации.

При разработке систем управления технологическими процессами сельскохозяйственного производства следует учитывать тот фактор, что оборудование ряда технологических процессов должно работать в режиме реального времени. К таким процессам относятся освещение в птичнике и досветка растений, кормление, доение и температурный режим в помещении и т. д.

Включение системы может обеспечить оператор с помощью тумблера или переключателя кнопочной станции.

Для функционирования САУ ТП без участия оператора используются программные устройства многосуточного действия типа УПУС, ПРУС (для обеспечения светового режима в птичнике) и устройства с суточным циклом работы типа 2РВМ, которое представляет собой часовой механизм, программное устройство которого делает один оборот в 24 часа. Современным средством, обеспечивающим многосуточный многопрограммный цикл автоматической работы оборудования, являются контроллеры [1].

Переключение режимов работы оборудования. В соответствии с техническим заданием на проектирование системы автоматического управления технологическим процессом (объектом управления) могут быть заданы кроме автоматического ручной и наладочный режимы работы, при этом исключается возможность одновременного управления в нескольких режимах.

Принципиальная схема управления таким процессом строится в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 16.

Переключение режимов работы оборудования производится переключателем SA. В автоматическом режиме напряжение подается на шину 1 и система работает в соответствии с алгоритмом. В ручном режиме напряжение подается на шину 2 и управление обеспечивается вручную с помощью кнопочных блоков. Очередность включения агрегатов определяется технологическими условиями. На схеме (рисунок 16) подача напряжения на катушку магнитного пускателя КМ2 возможна после включения КМ1 и замыкания контакта КМ1 в цепи кнопочного блока SB4, SB5. Кнопочные блоки ручного управления устанавливаются на щите управления.

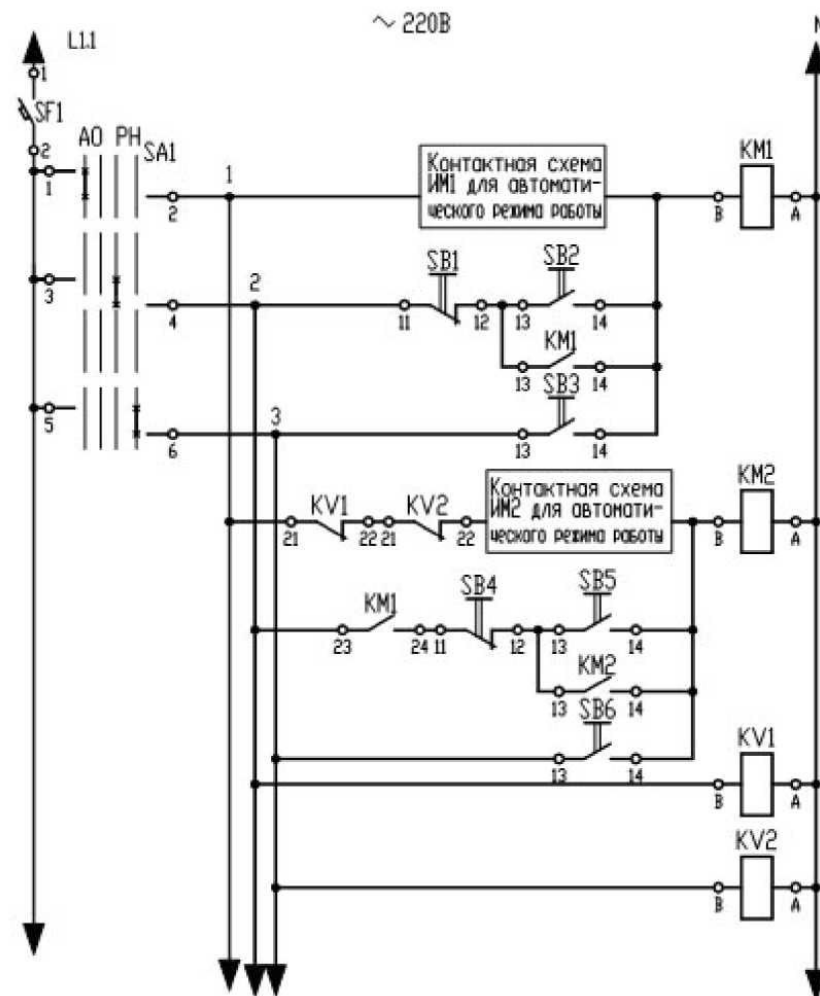


Рисунок 16 — Структура ПЭС для работы в нескольких режимах

При выполнении наладочных и ремонтных работ в отдельных случаях возникает необходимость кратковременного включения исполнительных устройств на месте их установки. На катушку магнитных пускателей KM1 и KM2 в режиме наладки напряжение подается с шины 3 кнопками SB5 и SB6, установленными по месту.

Шинная организация связи может вызвать дополнительные цепи по контактным схемам исполнительных механизмов и шине 1, что вы-

зывает одновременное срабатывание двух и более исполнительных механизмов при подаче управляющего сигнала на один из них в ручном или наладочном режимах. Разрыв дополнительных цепей можно обеспечить размыкающими контактами KV1 и KV2 реле, подключаемых к шинам ручного и наладочного режимов схемы.

Автоматическая защита представляет собой совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных и аварийных режимов прекращают контролируемый производственный процесс. Автоматическая защита тесно связана с автоматическим управлением и сигнализацией. Система автоматической защиты (САЗ) динамическая, она преобразует выходную величину объекта защиты в сигнал, сравнивает его с предельно допустимым значением и в случае превышения прекращает подачу энергии к объекту. Исполнительным элементом САЗ является контакт, который используется в принципиальной схеме защиты.

На рисунке 17 приведена схема защиты объекта управления, параметры которого контролируются датчиками SZ1–SZ3. Пуск системы производится контактами SB или КТ, которые затем блокируются контактом реле KV. В нормальных режимах работы объекта контакты датчиков SZ1–SZ3 замкнуты. При возникновении аварийного режима соответствующий контакт датчика размыкается, реле KV обесточивается и управление прекращается. Контакт сработавшего датчика переключается и при этом образуется электрическая цепь в сигнальной лампе аварийного табло. Принципиальная схема может быть использована, если после прекращения производственного процесса остальные датчики не изменяют своего состояния, в противном случае следует применять принципиальную схему защиты и сигнализации изображенную на рисунке 19.

Приведенная схема используется при автоматизации котлоагрегатов. На рабочий режим котлоагрегат выводится вручную, и контакты соответствующих датчиков приводятся в соответствующее положение.

После аварийного отключения котлоагрегата на табло загорается сигнальная лампа датчика, отключающего подачу топлива в котлоагрегат.

На рисунке 18 представлена принципиальная схема защиты агрегата с выдержкой времени на отключение после возникновения аварийного режима.

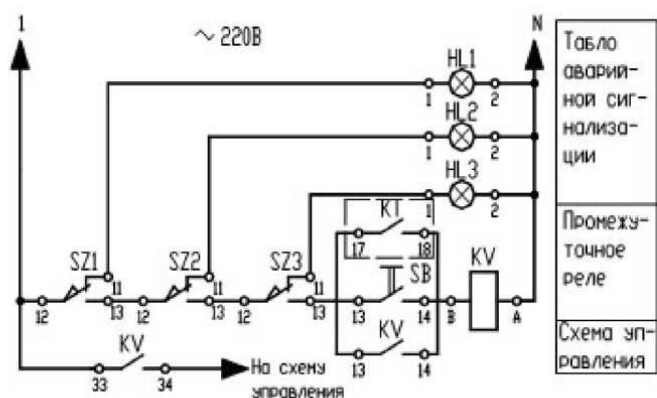


Рисунок 17 — ПЭС защиты объекта управления

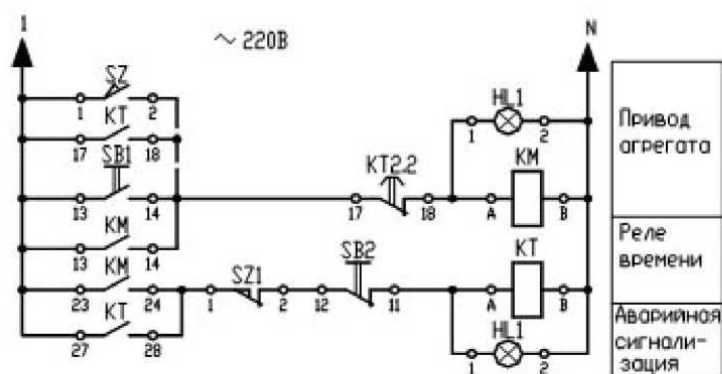


Рисунок 18 — ПЭС защиты агрегата

Пуск агрегата может производиться кнопкой SB1, контактом программного реле времени KT или технологическим датчиком SZ. При этом подается напряжение на катушку магнитного пускателя KM исполнительного механизма агрегата. Контакт KM подает напряжение

на катушку реле времени КТ, которое своим контактом КТ блокирует этот контакт. Если за данный период времени агрегат не выйдет на рабочий режим, датчик аварийного режима SZ1 останется замкнутый, а контакт КТ2 в цепи катушки магнитного пускателя КМ разомкнется и отключит привод агрегата. Реле КТ останется на самоблокировке. Кнопка SB2 предназначена для снятия блокировки после устранения неисправности.

Для управления технологическим процессом в ручном режиме оператору необходима информация о его протекании, об уровне технологических параметров и состоянии механизмов.

В САУ ТП используются следующие типы сигнализации:

- **сигнализация положения**, связанная с исполнительными органами системы управления технологическим процессом (для уменьшения сложности схемы эту сигнализацию выполняют на переменном токе, включив сигнальные лампы параллельно с исполнительными органами);
- **сигнализация положения**, связанная с командными органами, датчиками положения, уровня, потока и т. п.;
- **технологическая сигнализация** о предельных и аварийных состояниях технологического процесса с подачей светового и звукового сигнала;
- **предупреждающая сигнализация** о включении оборудования (рисунок 20, а) или о ненормальных, но пока еще допустимых значениях контролируемых или регулируемых величин (рисунок 20, б). Появление предупреждающих сигналов указывает обслуживающему персоналу о принятии мер предосторожности или о необходимости принятия мер по устранению возникших неисправностей. В первом случае пуск оборудования осуществляется автоматически с помощью контакта КТ суточного реле времени, во втором — датчиком аварийного состояния объекта SZ. Сигнал с выдержкой времени или

подается на объект управления, или снимается. Кнопка SB предназначена для отключения схемы и снятия блокировки.

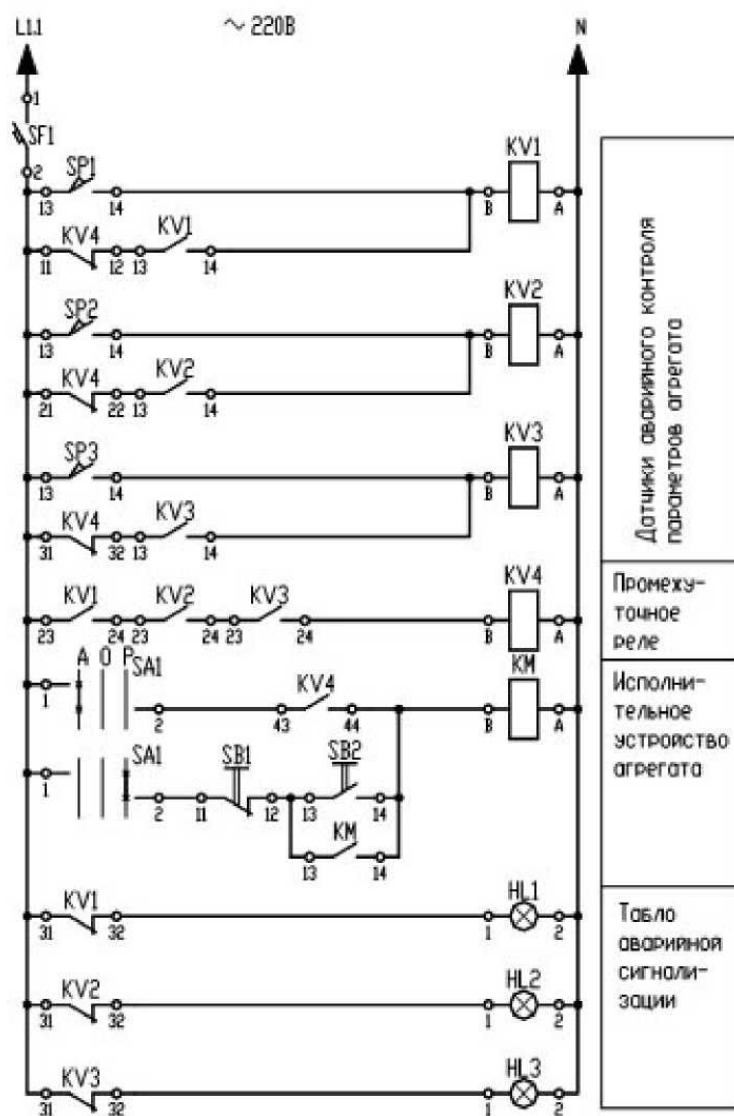


Рисунок 19 — ПЭС защиты и сигнализации

Разработка отдельных цепочек схем сигнализации. Для сигнализации о том, что заслонка не закрылась или не открылась, применяют

реле времени КТ (рисунок 21), которое включено параллельно КМ (привод заслонки или последнего в технологической цепочке ИМ). Если заслонка не закрылась (открылась) за определенный промежуток времени (технологический процесс не завершен), то конечный выключатель SQ (датчик завершения процесса SY) не разомкнется. Контакт КТ размыкается цепь в катушке исполнительного механизма КМ и подается аварийный сигнал (HL, HA).

К дополнительным аппаратам аварийного отключения относятся следующие устройства. Защита схем управления от токов короткого замыкания, отключающая системы управления при кратковременном исчезновении напряжения на шинах щита управления. Благодаря нулевой защите временное снятие напряжение со схем управления приводит к отключению электромагнитных элементов автоматики, но при этом командные органы (датчики, конечные выключатели и т. п.) и двигательные исполнительные механизмы остаются в прежнем состоянии. При повторном появлении напряжения на схеме возможно возникновение аварийных ситуаций из-за повторного включения механизмов. Чтобы избежать этого, в схемах предусматривается реле напряжения (рисунок 20, *а*), отключающее питание от схемы управления при описанном уменьшении напряжения на шинах щита. При наличии дистанционного ручного или автоматического управления процессом оператор выполняет функцию надзора за правильностью работы оборудования обходя и осматривая его. При обнаружении неисправности, отклонении от заданных параметров или при возникновении аварийной ситуации оператор должен иметь возможность быстро отключить оборудование, обесточив схему управления независимо от режима ее работы. Для этого в производственном помещении в доступных местах устанавливается несколько кнопок аварийного отключения схемы, контакты которых включаются, как правило, в цепь управления реле напряжения (нулевая защита).



Есть и другие способы электрической и механической блокировки. Однако первый — наиболее универсальный, выполняющий свою функцию при любых режимах работы.

Основные требования к оформлению принципиальных электрических схем управления, регулирования контроля и сигнализации. Принципиальные электрические схемы управления, регулирования, измерения, сигнализации, питания, входящие в состав проектной документации систем автоматизации, выполняют в соответствии с требованиями общих госстандартов [4, 5, 6] по правилам выполнения схем за исключением основной надписи, которую оформляют так же, как и основные надписи других чертежей, входящих в состав проекта автоматизации [7, 8]. В случае выполнения до-

кументации в ходе учебного процесса следует руководствоваться требованиями стандарта предприятия [9].

На чертежах принципиальной электрической схемы системы автоматизации в общем случае должны изображаться:

- все электрические элементы, необходимые для управления, регулирования, измерения, сигнализации, электропитания;
- контакты аппаратов данной схемы, занятые в других схемах, и контакты аппаратов других схем;
- диаграммы и таблицы включений, контактов переключателей, программных устройств, конечных и путевых выключателей, циклограммы работы аппаратуры;
- поясняющая технологическая схема, схема блокировочных зависимостей работы оборудования (при необходимости);
- необходимые пояснения и примечания;
- перечень элементов.

Принципиальные электрические схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделия не учитывают. Графическое обозначение элементов и соединяющие их линии связи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении. В технически обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого изображены эти элементы.

Элементы и устройства изображают на схемах совмещенным или разнесенным способом по требованиям ряда стандартов, выдержки из которых приведены в [9]. При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу. При разнесенном способе составные части элемен-

тов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно.

Возможны случаи, когда возникает необходимость в применении каких-либо графических изображений, не предусмотренных стандартом. Тогда допускается применять нестандартизированные графические обозначения, приводя при этом необходимые пояснения на схеме.

При выполнении схем рекомендуется пользоваться строчным способом. При этом условные графические обозначения элементов или их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи — рядом, образуя параллельные (горизонтальные или вертикальные) строки. Таким образом, схема в целом должна читаться слева направо и сверху вниз. При выполнении схемы строчным способом допускается нумеровать строки арабскими цифрами.

Расстояние между двумя соседними линиями графического изображения должно быть не менее 1 мм, между соседними параллельными линиями связи — 3 мм, между отдельными условными графическими обозначениями — 2 мм.

Графические обозначения на схемах следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи. Условные графические обозначения элементов изображают на схеме в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах, или повернутыми на угол, кратный 90° , если в соответствующих стандартах отсутствуют специальные указания. Допускается условное графическое обозначение поворачивать на угол, кратный 45° , или изображать зеркально повернутыми, если только при этом не нарушится смысл или удобочитаемость обозначения.

Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров графических обозначений. Рекомендуемая толщина линий от 0,3 до 0,4 мм. Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений (в отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линии связи, длину которых следует по возможности ограничивать). Линии связи, переходящие с одного листа на другой, следует обрывать за пределами изображения схемы без стрелки. Рядом с обрывом линии связи должно быть указано обозначение или наименование, присвоенное этой линии, и в круглых скобках номер листа схемы и зоны, при ее наличии, при выполнении схемы на нескольких листах, например лист 5 зона 6 (Л5. 6), или обозначение документа, на который переходит линия связи, при выполнении схем самостоятельными документами. Линии связи в пределах одного листа, если они затрудняют чтение схемы, допускается обрывать. Обрывы линий связи заканчивают стрелками. Около стрелок указывают места обозначений прерванных линий и необходимые характеристики цепей (полярность, потенциал).

Существуют несколько групп обозначений на чертеже принципиальной электрической схемы (рисунок 22).

1. Позиционное обозначение в общем случае состоит из 3-х частей, указывающих вид элемента, его номер и функцию. Первые два являются обязательной частью обозначения и должны быть присвоены всем элементам и устройствам. Указание функции не является обязательным. В первой части записывают одну или несколько букв для указания вида элемента (приложение 1 ГОСТ 2.710–81), во второй части записывают одну или несколько цифр для указания номера элемента, и в третьей (при необходимости) — одну или несколько букв функции элемента (приложение 2 ГОСТ 2.710–81).

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов и устройств с правой стороны или над ними.

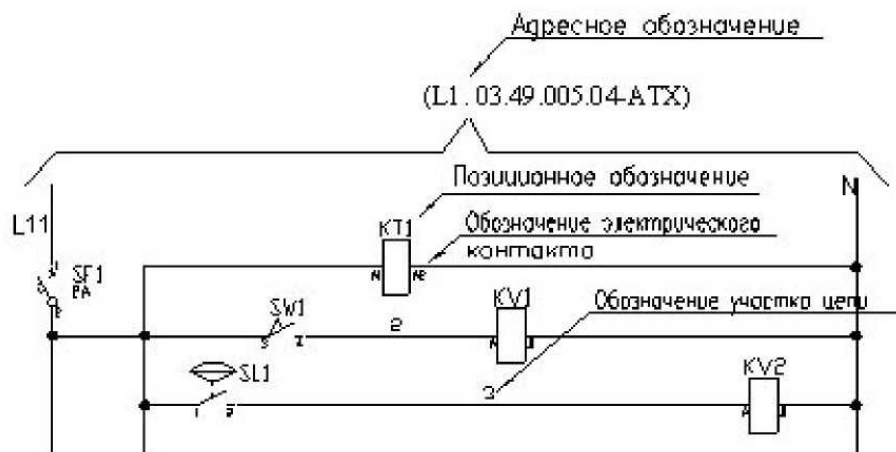


Рисунок 22 — Группы обозначений на чертеже принципиальной электрической схемы

2. Обозначение электрического контакта. Для обозначения электрического контакта в общем случае используют комбинацию букв и цифр. Обозначение контакта должно повторять маркировку контакта, нанесенную на объекте или указанную в документации этого объекта. Если обозначение контактам присваивают при разработке объекта, то следует обозначить их номерами.

3. Обозначение участков цепей. Обозначение участков цепей в схемах служит для их опознавания, может отражать их функциональное назначение и создает связь между схемой и устройством. При обозначении используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры, выполненные одним размером кегля. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками машин, резисторами и другими элементами, должны иметь разное обозначение. Соедине-

ния, проходящие через неразборные, разборные и разъемные контактные соединения, обозначают одинаково (допускаются в обоснованных случаях разные обозначения). Последовательность обозначения должна быть, как правило, от ввода (источника питания) к потребителю. Разветвляющиеся цепи обозначают сверху вниз в направлении слева направо. Для удобной ориентации в схемах при обозначении участков цепей допускается оставлять резервные номера или некоторые номера пропусков.

Обозначение цепи переменного тока состоит из обозначения участков цепей фазы и последовательного номера (1-ая фаза — L1, L11, L12, L13 и т.д.; 2-ая фаза — L2, L21, L22, L23 и т.д.; 3-ая фаза — L3, L31, L32, L33 и т.д.). Пример обозначения показан на чертежах приложения 8.

Допускается, если это не вызовет ошибочного подключения, обозначать фазы соответственно буквами *A*, *B*, *C*.

Цепи постоянного тока обозначают нечетными числами на участках положительной полярности и четными числами на участках отрицательной полярности. Входные и выходные участки цепи обозначают с указанием полярности «L+» и «L-»; допускается применять только знаки «+» и «-».

Цепи управления, защиты сигнализации обозначают последовательными числами в пределах изделия или установки.

Для обозначения цепей по функциональному признаку может быть рекомендовано для цепей управления, регулирования и измерения использовать группу чисел 1–399, для цепей сигнализации 400–799, для цепей питания 800–999. Вместо групп цифр функциональная принадлежность цепей принципиальной схемы может быть выражена и условно, принятыми буквами.

На схеме обозначение проставляют около концов или в середине участка цепи: слева от изображения цепи — при вертикальном распо-

ложении цепи; над изображением цепи — при горизонтальном расположении цепи.

4. Адресное обозначение в общем случае состоит из трех частей: обозначение документа, с которым сопрягается данный документ; номер листа документа, с которым сопрягается данный лист документа; адрес другой части объекта (или ее изображение), с которой сопрягается данная часть объекта. Все части данного адресного обозначения записывают в указанном порядке и отделяют друг от друга точкой. Адресное обозначение применяется, например для обозначения разрыва линий связи при переходе с листа на лист.

Данные об элементах принципиальной электрической схемы должны быть записаны в перечень элементов, который помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа и оформляют в виде таблицы, заполняемой сверху вниз.

В графе «Позиционные обозначения» указывают позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп; в графе «Наименование» — для элемента (устройства) — наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (ГОСТ, ОСТ, ТУ), для функциональной группы — наименование; в графе «Примечание» — рекомендуется указывать технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

Элементы в перечень записывают группами в **алфавитном порядке буквенно-позиционных обозначений**, а в группах по порядку номеров.

Запись элементов, входящих в каждое устройство (функциональную группу), начинают с наименования устройства или функциональной группы, которое записывают в графе «Наименование» и подчеркивают. Ниже наименования устройства (функциональной

группы) должна быть оставлена одна свободная строка, выше — не менее одной свободной строки.

При выполнении перечня элементов на первом листе схемы его располагают, как правило, над основной надписью.

Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 12 мм.

Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

Пример выполнения принципиальной электрической схемы управления выполненной в соответствии со структурой управления, разработанной в качестве примера в ходе темы 4, представлен в приложении 8 (рисунки П8.4, П8.5, П8.7, П8.8). Причем первый вариант схемы дан для устройства управления, реализованного на релейно-контактной аппаратуре, второй – на базе контроллера. Второй вариант предпочтительнее, так как он позволяет в полном объеме без ограничений реализовать требуемый алгоритм управления.

2.6 Практическое занятие №12-13-14 (6 часа).

Тема: «Определение оптимальных параметров настройки регулятора АСР реального теплотехнического объекта.»

2.6.1 Задание для работы:

Задания

1. Заполнить карточку предварительной подготовки к занятию.
2. Повторить синтез САУ ТП в соответствии с заданием темы 2 (для одного исполнительного механизма) с помощью осваиваемого в ходе занятия метода.
3. Перевести полученную структурную формулу управления и формулу данную в задании (приложение 9) на бесконтактные элементы.
4. Используя программу Alpha Programming набрать полученную схему на языке FBD, смитировать ее работу и показать результат преподавателю.

2.6.2 Краткое описание занятия:

Краткие теоретические сведения по теме

Описание дискретных систем с использованием таблиц истинности. Дискретными или логическими системами автоматики называют такие системы, у которых входные и выходные сигналы могут принимать два возможных значения. Обычно одно из этих значений соответствует сигналу «включено» или высокому уровню напряжения (формально обозначается символом логической единицы «1»). Второе значение соответствует сигналу «выключено» или низкому уровню напряжения (формально обозначается символом логического нуля «0»).

Любая дискретная система автоматики может быть рассмотрена как некоторый объект, который преобразует входные сигналы $x_1 \dots x_n$ в выходной сигнал $Y = f(x_1 \dots x_n)$. Логические переменные $x_1 \dots x_n$, а также Y могут принимать значения «0» или «1», причем зависимость выходного сигнала от входных описывается логической функцией f , которая каждому набору значений входных переменных ставит в соответствие значение выходной переменной.

Логическую функцию задают **таблицей истинности** или логическим выражением. Достоинством способа описания таких систем с помощью таблицы истинности является его простота и наглядность, однако, при большом количестве входных сигналов таблицы получаются громоздкими. В таблице истинности перечисляются все наборы входных сигналов и соответствующие каждому набору значения выходного сигнала или сигналов. Такая таблица составляется на этапе проектирования системы и описывает ее реакции на различные входные воздействия. Основой для составления таблицы истинности является технологический процесс.

Для примера опишем с помощью таблицы истинности работу устройства управления горизонтальным перемещением кормораздатчика (рисунок 23). Сигнал на движение вперед подает кнопка

SB1 (обозначим для записи в таблице истинности как x_1). При нажатии кнопки на устройство управления кормораздатчиком (УУК) подается сигнал $x_1 = 1$. Останавливает кормораздатчик в крайнем положении сигнал от концевого выключателя SQ1 ($x_3 = 1$) независимо от сигнала x_1 . Аналогично при движении назад задействованы кнопка SB1 (x_2) и SQ2 (x_4). Одновременное нажатие кнопок или одновременное срабатывание выключателей (в результате их неисправности) должно прекратить движение кормораздатчика.

УУК вырабатывает управляющие сигналы Y_1 — пуск кормораздатчика вперед и Y_2 — пуск кормораздатчика назад. При $Y_1 = 0$ и $Y_2 = 0$ кормораздатчик стоит на месте. Комбинация $Y_1 = 1$ и $Y_2 = 1$ является **запрещенной**, т. е. такой набор выходных сигналов не может появиться на выходе УУК при любых сигналах на входе.

Пользуясь данным описанием составим таблицу истинности (таблица 6), определяющую работу УУК. Данная таблица одновременно задает две логические функции $Y_1 = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ и $Y_2 = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$. Заметим, что число строк в таблице истинности должно быть равно числу всевозможных наборов значений входных сигналов, то есть 2^n , где n — число входных сигналов.

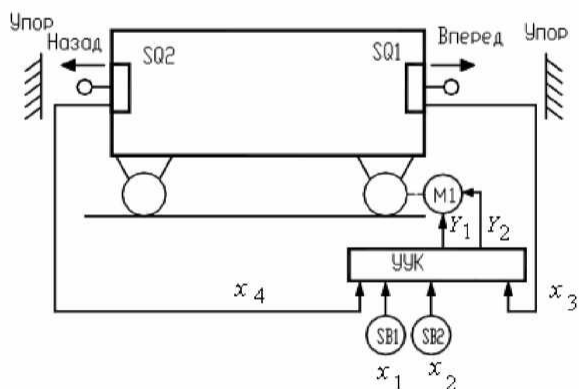


Рисунок 23 — Схема управления горизонтальным перемещением кормораздатчика

Таблица 6 — Таблица истинности работы УУК

x_1	x_2	x_3	x_4	Y_1	Y_2
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0

Правило для получения аналитической записи по таблице истинности формулируется следующим образом:

✓ любая логическая функция записывается в виде суммы (дизъюнкции) логических произведений (конъюнкций) Z_i , описывающих строки таблицы истинности, в которых функция принимает значение логической единицы;

✓ каждая конъюнкция Z_i включает все входные переменные, причем переменная x_j ($j = 1 \dots n$) входит в конъюнкцию без инверсии, если в i -й строке таблицы истинности она равна логической единице, иначе она входит в конъюнкцию с инверсией.

Обратимся к примеру. Функция $Y_1 = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ принимает значение логической единицы при $x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 0$ и $x_4 = 0$ (9 строка таблицы) и при $x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 0$ и $x_4 = 1$ (10 строка таблицы). Запишем логические произведения:

$$Z_9 = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4}; \quad (11)$$

$$Z_{10} = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot x_4. \quad (12)$$

Логическую функцию Y_1 получим путем логического сложения (11) и (12):

$$Y_1 = Z_9 + Z_{10} = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4} + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot x_4. \quad (13)$$

Применив тоже правило, получим для второй функции:

$$Y_2 = Z_5 + Z_7 = \overline{x_1} \cdot x_1 \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4} + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \overline{x_4}. \quad (14)$$

Однако получив логические уравнения необходимо еще уметь их упростить. Наряду с алгебраической минимизацией (тема 3) и с помощью таблиц покрытия (тема 4) широко применяется метод, использующий карты Карно (диаграммы Вейча). **Карты Карно** — это графическое представление таблиц истинности. Каждая клетка карты соответствует одной конъюнкции при записи логической функции в совершенной дизъюнктивной нормальной форме — **СДНФ** (в форме дизъюнкции конъюнкций). Поэтому число клеток всегда равно 2^n .

Рассмотрим принципы построения карт Карно и минимизации логических выражений.

Пусть логическая функция задана с помощью таблицы истинности (таблица 7).

Запишем для функции $Y = f(x_1, x_2)$ аналитическое выражение:

$$Y = \overline{x_1} \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot x_2. \quad (15)$$

Карта Карно в данном случае состоит из 4-х клеток и представлена на рисунке 24. Каждая клетка соответствует определенной комбинации значений переменных x_1 и x_2 . Единицами на карте отмечены те клетки, которые соответствуют конъюнкциям в выражении (6). Левая верхняя клетка соответствует конъюнкции x_1, x_2 , левая нижняя — конъюнкции $\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$, правая верхняя — конъюнкции $x_1 \cdot \overline{x_2}$. На рисунке обведены соседние клетки, содержащие 1.

Таблица 7

x_1	x_2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

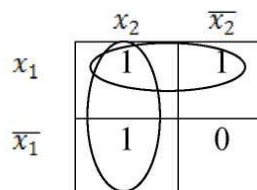


Рисунок 24 — Карта Карно для функции двух переменных

Нетрудно понять, что верхняя строка соответствует функции

$$Y' = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2},$$

а левый столбец функции

$$Y'' = x_1 \cdot x_2 + \overline{x_1} \cdot x_2.$$

Тогда, сложив Y' и Y'' и применив алгебраическую минимизацию, получим:

$$\begin{aligned} Y &= Y' + Y'' = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot x_2 + \overline{x_1} \cdot x_2 = \\ &= x_1(x_2 + \overline{x_2}) + x_2(x_1 + \overline{x_1}) = x_1 + x_2. \end{aligned} \quad (16)$$

В результате получили, что верхняя строка карты описывается функцией $Y' = x_1$, а левый столбец — функцией $Y'' = x_2$. Тот же ответ следует из карты Карно. Для этого достаточно заметить, что верхняя строка соответствует неизменному значению переменной x_1 , а левый столбец — неизменному значению переменной x_2 , и записать дизъюнкцию этих переменных.

В общем случае **правило минимизации** логических выражений с помощью карт Карно можно сформулировать следующим образом.

1. Записать логическую функцию в СДНФ.
2. Единицами на карте Карно отметить клетки, соответствующие каждой конъюнкции в СДНФ, остальные заполнить нулями.
3. Выделить прямоугольные области из клеток, заполненных единицами. При этом области должны иметь максимально возможные

размеры, а число клеток в них обязательно кратно степени числа 2 (области могут пересекаться).

4. Для каждой области определить переменные, сохраняющие свои значения неизменными, и составить конъюнкции этих переменных.
5. Записать результат минимизации, составив дизъюнкцию конъюнкции, полученных в пункте 4.

Применим данное правило для минимизации функции трех переменных, заданной таблицей 8:

$$Y = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (17)$$

Таблица 8

x_1	x_2	x_3	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

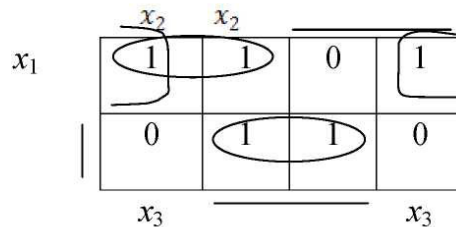


Рисунок 25 — Карта Карно для функции трех переменных (чертой обозначены клетки, соответствующие инверсии переменных)

Прямоугольные области, отмеченные на карте Карно (рисунок 25), позволяют записать минимальное выражение для функции Y в виде:

$$Y = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot x_3. \quad (18)$$

Хотя обычно карта Карно для функции трех и четырех переменных изображается на плоскости, как показано на рисунке, с точки зрения формирования прямоугольных групп карту нужно считать трехмерной. Карту с тремя переменными следует рассматривать как цилиндр со склеенными правыми и левыми краями. Поскольку пря-

моугольные группы формируются на цилиндре, на плоском рисунке та или иная группа может оказаться разорванной. На картах с четырьмя переменными нужно считать склеенными не только правый и левый края, но также верхний и нижний. Таким образом, карта с четырьмя переменными должна рассматриваться как поверхность тора.

Иногда при составлении таблицы истинности, описывающей работу проектируемого дискретного устройства, известно, что какие-то комбинации входных сигналов появиться не могут, или если они появляются, то значение сигнала на выходе несущественно. Для таких ситуаций нет необходимости определять значения выходных сигналов. Такая логическая функция называется неопределенной. В соответствующих строках таблицы истинности и клетках карты Карно при этом ставят прочерк. Клетки, в которых стоит прочерк, можно произвольным образом включить в прямоугольные группы единиц.

Вернемся к примеру. Функции Y_1 и Y_2 являются функциями 4-х переменных, поэтому карты состоят из 16 клеток (рисунки 26 и 27).

Выделив прямоугольные области в соответствии с правилом минимизации получим:

$$Y_1 = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3}; \quad (19)$$

$$Y_2 = \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_4}. \quad (20)$$

	x_1	x_1	$\overline{x_1}$		
x_4	0	0	0	0	x_2
	0	0	0	0	x_2
	0	1	0	0	
x_4	0	1	0	0	
	x_3		x_3		

Рисунок 26 — Карта Карно для функции Y_1

	x_1	x_1	$\overline{x_1}$		
x_4	0	0	0	0	x_2
	0	0	1	1	x_2
	0	0	0	0	
x_4	0	0	0	0	
	x_3		x_3		

Рисунок 27 — Карта Карно для функции Y_2

Описание дискретных систем логическими функциями. Данный способ основан на применении аппарата булевой алгебры и позволяет получить аналитическое выражение для логической функции $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, которое затем применяется при разработке принципиальных схем автоматики. Булева алгебра оперирует с логическими переменными. С ее помощью задают любую логическую функцию, используя элементарные логические операции И, ИЛИ, НЕ.

Операция И (конъюнкция) обозначается точкой (\cdot), которая может опускаться при записи, или символом \wedge , например $Y = x_1 \cdot x_2 = x_1 x_2 = x_1 \wedge x_2$.

Операция И для двух переменных определяется таблицей истинности (таблица 9).

Операция И легко обобщается на случай n логических переменных. А именно, переменная $y = x_1 x_2 \dots x_n$ равна логической 1 только тогда, когда значение каждой переменной x_1, x_2, \dots, x_n равно логической 1, иначе $y = 0$. Логические функции и устройства (логические элементы), реализующие операции И, на схемах изображаются в виде прямоугольника, в левом верхнем углу которого помещен знак конъюнкции «&» (рисунок 28).

Таблица 9 — Таблица истинности
для операции И
(случай двух аргументов)

x_1	x_2	$y = x_1 x_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

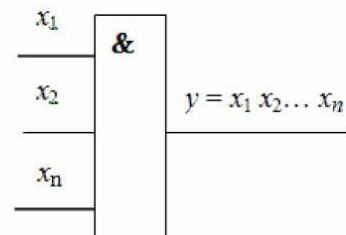


Рисунок 28 — Условное графическое изображение элемента И с n входами

Операция ИЛИ (дизъюнкция) обозначается знаком (+) или символом V. Операция ИЛИ для двух переменных определяется по таблице 10.

Если число входных переменных n , то функции $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$, равна логической 1, если хотя бы одно из переменных x_1, x_2, \dots, x_n равна логической 1, иначе $y = 0$. На рисунке 29 приводится пример условного графического изображения элемента ИЛИ.

Таблица 10 — Таблица истинности для операции ИЛИ

x_1	x_2	$y = x_1 + x_2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

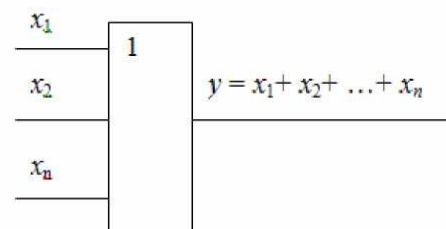


Рисунок 29 — Условное графическое изображение элемента ИЛИ с n входами

Операция НЕ, которую также называют отрицанием или инверсией, обозначается надчеркиванием (инверсия) $y = \bar{x}$ (таблица 11). Пример условного графического изображения элемента, реализующего операцию НЕ, представлен на рисунке 30.

Таблица 11 — Истинность для операции НЕ

x	y
0	1
1	0

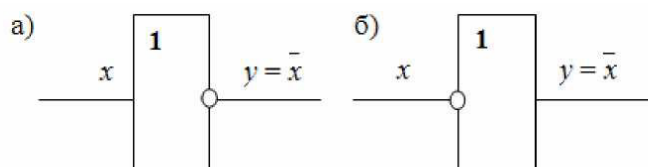


Рисунок 30 — Условное графическое изображение элемента НЕ

На практике наряду с элементами И, ИЛИ, НЕ в схемах автоматики используются элементы, реализующие логические функции И–НЕ и ИЛИ–НЕ (таблица 12)

Любую логическую функцию можно реализовать, имея элементы только ИЛИ–НЕ или только элементы И–НЕ. Необходимость приведения логического выражения к заданному базису возникает в связи с ограниченным ассортиментом устройств, реализующих логические функции (например, современные серии интегральных микросхем не реализуют некоторые логические функции). Рассмотрим примеры подобных преобразований.

Приведем запись логической функции ИЛИ к базису ИЛИ–НЕ, используя закон двойной инверсии:

$$Y_1 = x_1 + x_2 = \overline{\overline{x_1 + x_2}} \quad (21)$$

Выражение под второй инверсией $\overline{x_1 + x_2}$ и является выражением по заданному базису.

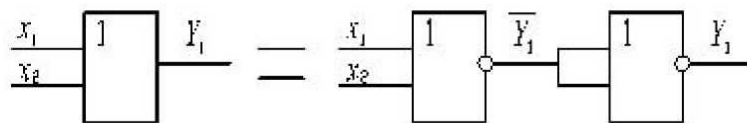


Рисунок 31 — Функциональная схема приведения логической функции ИЛИ к базису ИЛИ–НЕ

В качестве элемента инверсии использован двухвходовый элемент ИЛИ–НЕ, у которого оба входа соединяются, как показано на схеме.

Аналогично, используя законы двойной инверсии и де Моргана, приведем функцию ИЛИ к базису И–НЕ. Схема замены приведена на рисунке 32.

$$Y_1 = x_1 + x_2 = \overline{\overline{x_1 + x_2}} = \overline{\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}} \quad (22)$$

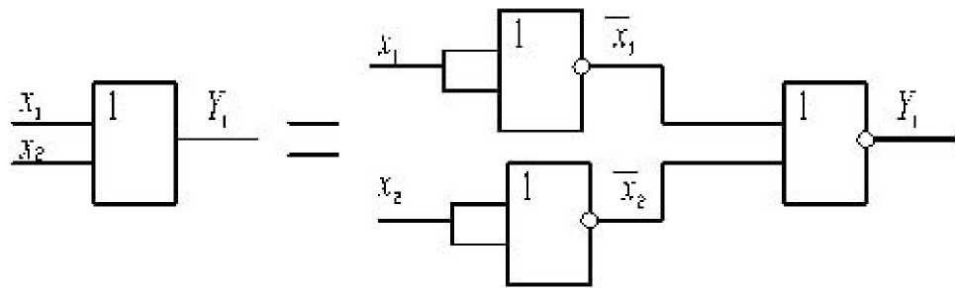


Рисунок 32 — Функциональная схема приведения логической функции ИЛИ к базису И-НЕ

Произведем замену логической функции И на базовые элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ:

$$Y_2 = x_1 \cdot x_2 = \overline{\overline{x_1 \cdot x_2}}; \quad (23)$$

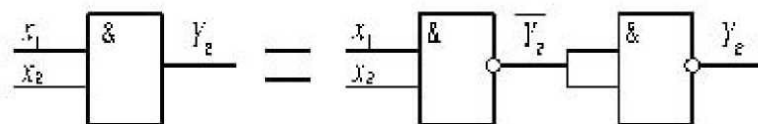


Рисунок 33 — Функциональная схема приведения логической функции И к базису И-НЕ

$$Y_2 = x_1 \cdot x_2 = \overline{\overline{x_1 \cdot x_2}} = \overline{\overline{x_1} + \overline{x_2}}. \quad (24)$$

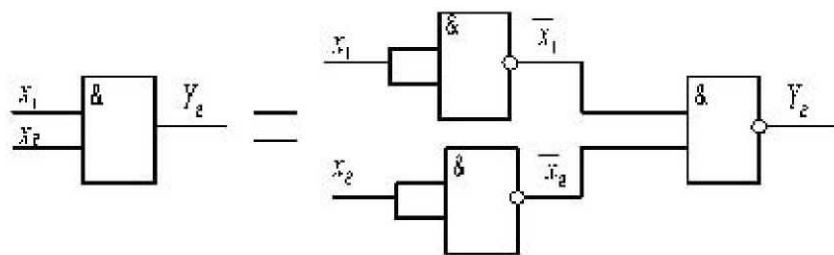


Рисунок 34 — Функциональная схема приведения логической функции ИЛИ к базису И-НЕ

Однако для аналитической записи релейных схем чаще всего используют систему из трех логических функций: инверсии, конъюнкции и дизъюнкции. Логические функции инверсии, конъюнкции и дизъюнкции обладают наиболее простыми и привычными свойствами, почти аналогичными алгебраическим операциям умножения и сложения.

Методика описания релейно-контактной схемы в виде элементарных логических функций. Последовательность замены существующих релейно-контактных схем примерно следующая.

1. По имеющейся принципиальной схеме устройства, выполненного на релейных элементах, производится запись структурной формулы контактов цепи включения исполнительного элемента. При записи следует иметь в виду, что параллельное соединение контактов соответствует логической функции ИЛИ, а последовательное — логической функции И.

2. Полученная функция приводится к заданному базису.

3. Разрабатывается функциональная схема устройства.

4. Составляется принципиальная электрическая схема устройства.

Заменяем схему управления рисунка 35 на бесконтактное устройство управления.

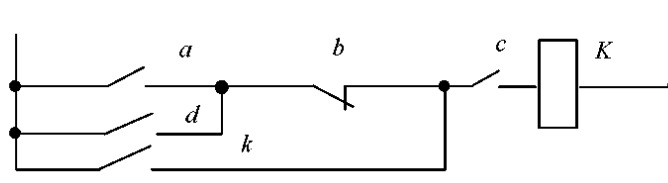


Рисунок 35 — Схема к примеру 1

Запишем структурную формулу контактов исполнительного элемента K :

$$f(K) = [(a + d) \bullet \bar{b} + k] \bullet c \quad (25)$$

Запись структурной формулы $f_{(K)}$ в форме логической функции с двумя переменными представлена на рисунке 36.

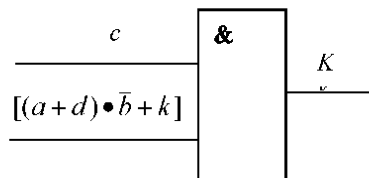


Рисунок 36 — Представление структуры на элементе И

Входная переменная, заключенная в квадратные скобки, является сложной функцией, состоящей из ряда переменных.

Произведем последовательную замену входной переменной функции $[(a + d) \bullet \bar{b} + k]$ элементарными логическими функциями двух переменных до момента получения на входе элементарных переменных (рисунок 37).

Таким образом, сложную логическую функцию, представленную, например, в виде релейно-контактной схемы, можно всегда представить в виде элементарных логических функций И, ИЛИ, НЕ.

Рассмотрим принципы преобразования функциональной схемы в принципиальную схему на бесконтактных элементах. Электронная промышленность выпускает изделия, которые могут реализовать указанные выше логические функции (см. таблицу 12) с помощью бесконтактных электронных схем, условное обозначение которых совпадает с обозначением логических функций.

В электронных схемах данного класса применяются сигналы только двух типов — с ВЫСОКИМ и НИЗКИМ уровнями напряжений и называются **цифровыми схемами**.

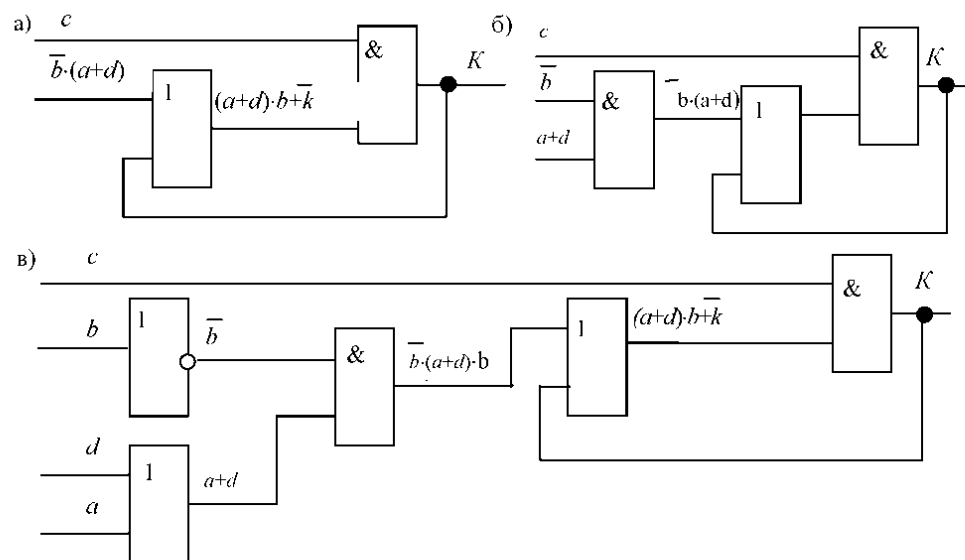


Рисунок 37 — Реализация структуры РКС на логических элементах по этапам:
 a — первоначальный этап; $б$ — промежуточный этап;
 $в$ — окончательный этап

Логической единице (1) логической функции соответствует напряжение высокого уровня, а логическому нулю — напряжение низкого уровня.

Цифровые схемы изготавливаются с применением ТТЛ и КМОП технологий.

Для примера мы используем широко распространенную ранее и снятую с производства ИС серии К155 (приложение 10). Однако функциональные признаки элементов И, ИЛИ, НЕ остаются прежними, и при использовании более современного типа ИС следует только уточнить расположение выводов элементов схемы. Изготовители ИС сопровождают свои изделия схемой расположения выводов (рисунок 38, б-г).

Произведем, например, разработку устройства управления кормораздатчиком (УУК), функциональная схема которого представлена на рисунке 39, на интегральных логических схемах.

Управление кормораздатчиком производится вручную с помощью кнопок SB1, SB2 и SB3. Останов кормораздатчика автоматический конечными выключателями SQ1 и SQ2.

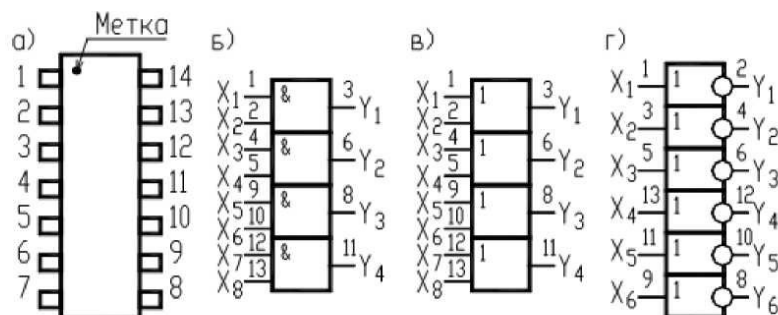


Рисунок 38 — Цифровая ИС:

а — маркировка типичной цифровой ИС; б, в, г, — схемы расположения выводов цифровых схем К155 ЛИ1, К155 ЛЛ1, К155 ЛН1 соответственно

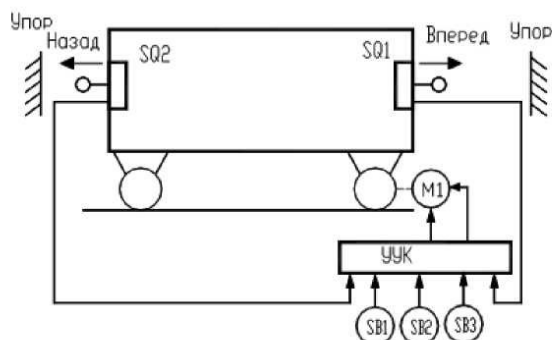


Рисунок 39 — Функциональная схема управления кормораздатчиком

УУК на релейных элементах представлено на рисунке 40.

При нажатии кнопки SB1 замыкается цепь питания катушки магнитного пускателя КМ1. Магнитный пускатель срабатывает и замыкаются контакты КМ1 в цепи электродвигателя М. Кормораздат-

чик начинает перемещаться «вперед». Замыкаются также контакты КМ1.1 и блокируют контакты SB1. Таким образом, при размыкании контактов кнопки SB1 кормораздатчик продолжает перемещаться «вперед». Останов кормораздатчика возможен при размыкании цепи путем ручного воздействия на кнопку SB3, размыкании контакта тепловой защиты электродвигателя КК, а также в крайнем правом положении при воздействии на конечный выключатель SQ1.

Перемещение «назад» осуществляется после замыкания контактов кнопки SB2. Схема работает аналогично. Останов кормораздатчика в крайнем левом положении происходит после срабатывания контактов конечного выключателя SQ2.

Нормально замкнутые контакты КМ2.1 и КМ1.2 вводятся в цепи катушек магнитных пускателей КМ1 и КМ2 соответственно для защиты силовой сети реверсивного электропривода от короткого замыкания. В процессе эксплуатации возможны случаи «залипания» магнитной системы пускателей и такое включение контактов КМ2.1 и КМ1.2 обеспечивает защиту силовой сети от короткого замыкания.

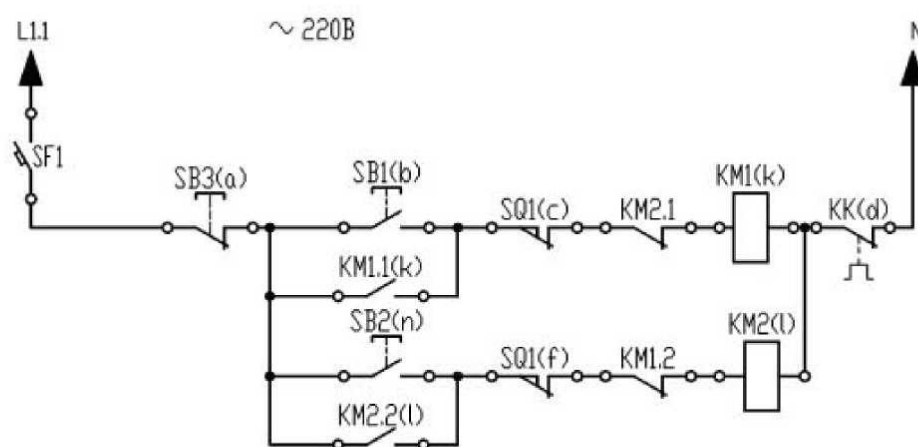


Рисунок 40 — Принципиальная электрическая схема управления перемещением кормораздатчика

Обозначим элементы принципиальной схемы буквами алфавита (a, b, c, d, e, f, n) и произведем запись структурных формул контактов исполнительных элементов k и l :

$$f(k) = [\bar{a} \bullet \bar{d}] \bullet [\bar{c} \bullet (b + k)];$$

$$f(l) = [\bar{a} \bullet \bar{d}] \bullet [\bar{f} \bullet (n + l)]. \quad (26)$$

Переменные КМ2.1 и КМ1.2 логических функций в структурные формулы ИЭ не входят, так как обладают меньшим быстродействием по сравнению с остальными логическими переменными. Для обеспечения защиты от токов короткого замыкания при реверсе электродвигателя эти контакты следует подключать последовательно с соответствующими катушками магнитных пускателей.

Функциональная схема логического блока, разработанная в соответствии со структурными формулами контактов исполнительных элементов k и l кормораздатчика, приведена на рисунке 41.

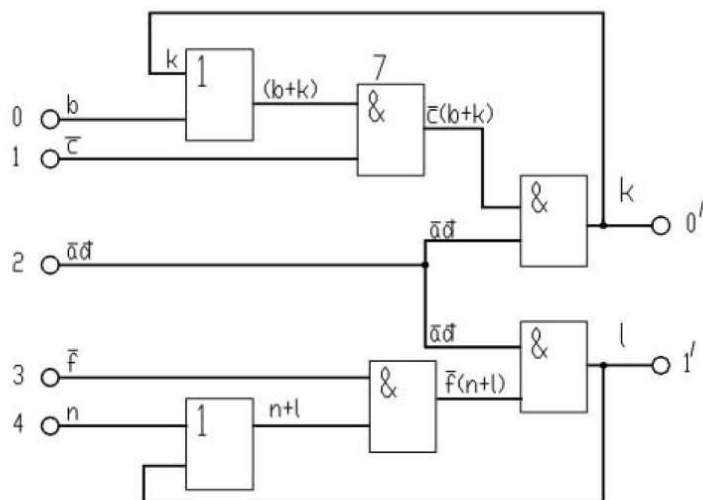


Рисунок 41 — Функциональная схема логического блока управления кормораздатчиком

При разработке принципиальной электрической схемы в соответствии с функциональной схемой следует учитывать, что обозначение логической переменной без инверсии (b, n) соответствует напряжению **низкого** уровня, подаваемого на соответствующий вход логической ИС, а обозначение логической переменной с инверсией ($\bar{c}, \bar{a}, \bar{d}, \bar{f}$) — напряжению **высокого** уровня.

На рисунке 42 приведена принципиальная электрическая схема управления кормораздатчиком на логических ИС, которые смонтированы на печатной плате. Схема является аналогом релейно-контактной схемы (см. рисунок 40).

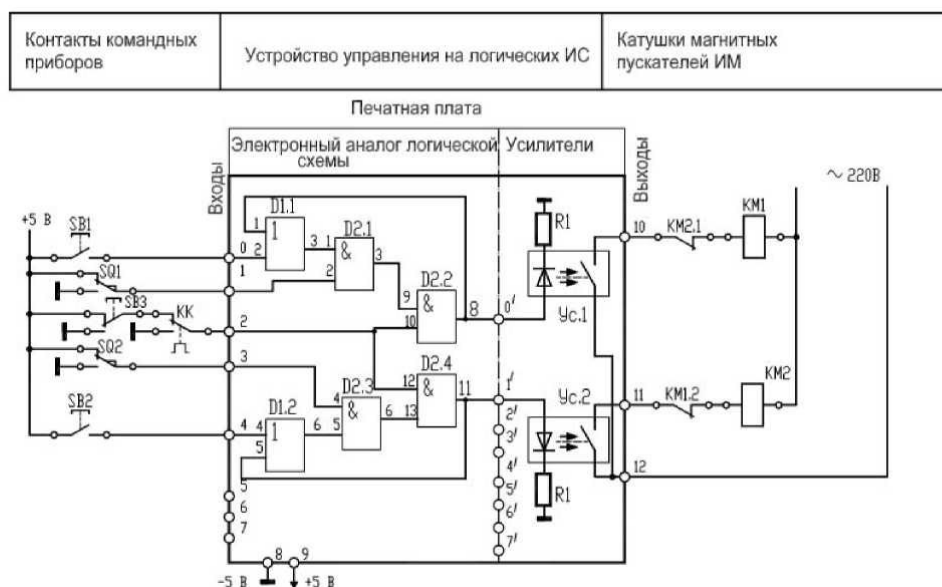


Рисунок 42 — Принципиальная электрическая схема управления перемещением кормораздатчика (цепи питания ИС на схемах не показывают)

Для реализации устройства управления использованы две микросхемы D1 — К155ЛЛ1 и D2 — К155ЛИ1. Причем у первой микросхемы два элемента 2ИЛИ не будут использованы.

Нами была приведена методика перевода релейно-контактных схем на бесконтактные на примере простой логической системы управления. Это позволяет нам проанализировать работу схемы и убедиться в ее работоспособности не прибегая к физическому моделированию. Предположим, что в исходном состоянии сигналы на катушках магнитных пускателей отсутствуют и контакты командных аппаратов находятся в таком состоянии, как показано на рисунке 42, при этом напряжение логической единицы подается на выводы 10, 12 ИС D2 и выводы 2,4 ИС D1. Сигналы логической единицы на выводах 8, 12 ИС D2 отсутствуют, так как отсутствуют сигналы логической 1 на входах 9 и 13 ИС D2. При замыкании контактов SB1, на вход 2 ИС D1 подается сигнал логической 1. Сигнал логической единицы появляется на выходе 3 ИС D1 и соответственно на выходе 1 ИС D2, а затем на выходе 3 ИС D2, входе 9 ИС D2 и в конечном счете на входе 8 ИС D2. Сигнал усиливается и подается на катушку магнитного пускателя KM1. Сигнал логической единицы также с выхода 8 ИС D2 подается на вход 1 ИС D1 и тем самым блокирует сигнал логической единицы на входе 2 ИС D1, т. е. при размыкании контактов SB1 сигнал логической единицы сохраняется на выходе 3 ИС D2 и соответственно на выходе 8 ИС D2. Для снятия сигнала логической единицы с выхода 8 ИС D2 достаточно кратковременно разомкнуть один из контактов SQ1, SB3 или KK, при этом с ИС D1.1 снимается блокировка и схема становится в исходное состояние.

Аналогично работает и нижняя часть принципиальной схемы на рисунке 42.

На интегральных схемах могут быть выполнены и такие функциональные узлы, как: «часы», реле времени, счетчики и др., функцию которых в релейно-контактных схемах выполняют дорогостоящие приборы.

Бесконтактные логические элементы не имеют движущихся частей, обладают высокой надежностью и быстродействием, не требуют наладки и регулировки в процессе эксплуатации и хорошо себя зарекомендовали в установках со сложными системами управления логического типа и с большим числом оперативных переключений.

Распространенными исполнительными элементами являются контактные аппараты: контакторы, магнитные пускатели, соленоиды приводов, электромагниты исполнительных механизмов и т. п. Для повышения надежности в качестве исполнительных механизмов в последнее время стали широко применяться тиристорные пускатели.

Недостаток схем на бесконтактных элементах, как и релейно-контактных в том, что они собираются по принципу «жесткой логики», т. е. соединение элементов схемы между собой определяется алгоритмом управления технологическим процессом. Этот недостаток отсутствует в системах управления с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК).

Программирование логических контроллеров. Среди большого многообразия ПЛК, представленных сегодня на рынке, простой программирования выделяется альфа-контроллер (производитель MITSUBISHI). Ввод программы для такого контроллера может осуществляться непосредственно через кнопки лицевой панели, однако еще проще — с помощью компьютера через порт программирования посредством программы компилятора [4]. Программирование осуществляется в виде некой структуры соединенных функциональных блоков, которые реализуют логические функции, функции сравнения, счетчика и т. д.

Рассмотрим пример разработки программы для данного класса контроллеров. Переведем структуру управления кормораздачей (рисунк 43) в программу ПЛК.

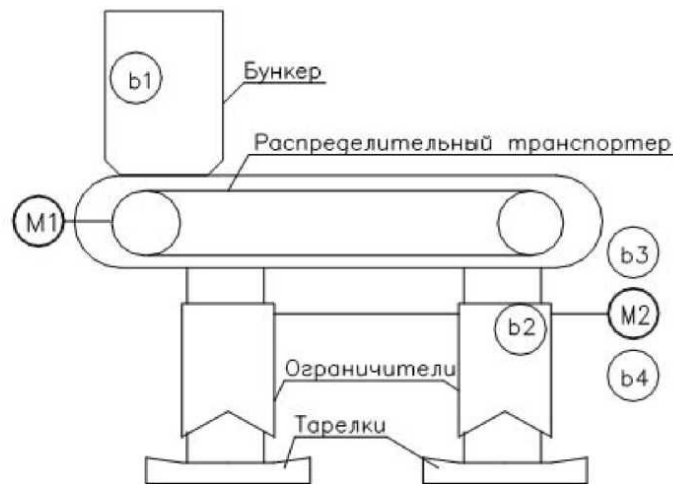


Рисунок 44 — Оборудование кормораздачи в птичнике

Для реализации алгоритма управления технологическим процессом примера в основном потребуются логические элементы И, ИЛИ и НЕ. Выразим структуру управления в виде аналитических выражений. Согласно рисунку 43 для автоматического режима работы, учитывая, что последовательное соединение выражается знаком « \bullet », параллельное « $+$ », имеем:

$$\begin{aligned}
 f(HL) &= \overline{b1} \bullet (KT1 + HL); \\
 f(KM1) &= b1 \bullet b4 \bullet \overline{b2} \bullet (KT1 + KM1); \\
 f(KM2.1) &= b1 \bullet KT1 \bullet \overline{b4}; \\
 f(KM2.2) &= \overline{b3} \bullet (b2 + KM2.2).
 \end{aligned}$$

Осталось перевести формулы на логические элементы, учитывая, какие сигналы подаются на входы и выходы (таблица 13), и имея в виду, что операция « \bullet » реализуется элементом И, операция « $+$ » — элементом ИЛИ. Кроме того, следует иметь в виду, что реализовать подачу сигнала на включение кормораздачи можно с помощью специализированного блока контроллера, т. е. функцию суточного реле времени

обеспечивает сам контроллер. Реализовать вариант управления можно в виде структуры, представленной на рисунке 45 (автоматический режим). В данную структуру необходимо добавить условие, что управление по данному алгоритму ведется в автоматическом режиме, то есть добавить условие, что на вход I1 подан сигнал (переключатель режимов установлен в положение — автоматический режим).

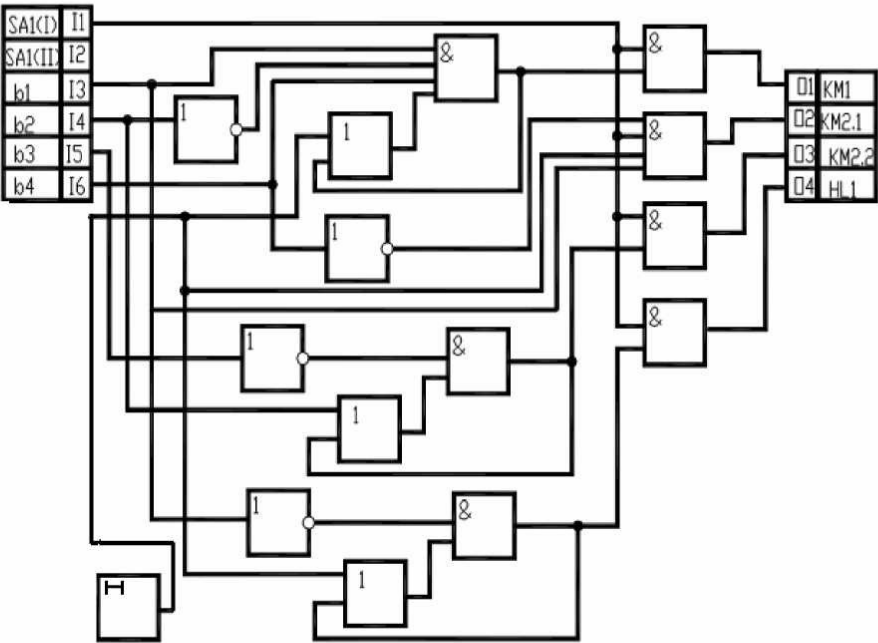


Рисунок 45 — Структура управления, выраженная через блоки контроллера

Таблица 13 — Сигналы, подаваемые на вход и снимаемые с выхода контроллера

Вход	Сигнал	Выход	Сигнал
I1	SA1 (Автоматический режим)	O1	KV1 (управление транспортером)
I2	SA1 (Ручной режим)	O2	KV2 (управление опусканием ограничителей)
I3	SL1 (сигнал о наличии корма в бункере)	O3	KV3 (управление подъемом ограничителей)

Окончание таблицы 13

I4	SL2 (сигнал о наличии корма в последней кормушке)	O4	HL1 (сигнализация отсутствия корма в бункере)
I5	SQ3 (крайнее верхнее положение ограничителя)		
I6	SQ4 (крайнее нижнее положение ограничителя)		
I8	SB1 («Пуск»)		
I9	SB2 («Пуск»)		
I10	SB3 («Пуск»)		
I11	SB4 («Стоп»)		



Последовательность работы с программой-компилятором при программировании контроллера




1. Загрузить оболочку **Alpha Programming**, щелкнув по иконке на рабочем столе либо используя путь **Пуск → Программы → Mitsubishi Alpha Controller → Alpha Programming**.

2. Выбрать пункт **New** из меню **File** (интерфейс приведен на рисунке) для создания нового файла программы.

3. В диалоге выбора типа оставить ключ выбора контроллера с 12-ю входами и 8-ю выходами и выбрать кнопку **ok**.

4. Приступить к формированию программы, переключая группы функциональных блоков, перетаскивая их на наборное поле и соединяя их линиями связи. Например, чтобы сформировать первый контур управления аппаратом КМ1 (рисунок 45), необходимо проделать следующие действия:

- используя группу **Input Signals**, установить на входы 1, 3, 4, 6 сигналы  переключателя (Toggle Switch) и  датчиков (Limit Sensor). Это производится щелчком левой кнопки мыши на требуемом инструменте и последующим щелчком по требуемому входу;

- используя группу **Output Signals** (для переключения группы необходимо щелкнуть на соответствующий переключатель), установить выходной сигнал  катушка реле (Relay Coil);
- используя группу **Functions**, установить блок реле времени (Time Switch Function) .
- используя группу **Logic Functions**, установить требуемые блоки И, ИЛИ, НЕ в зону «Наборное поле»;
- используя кнопку **Wire**  сформировать требуемые связи, щелкая левой кнопкой мыши на выходе блока и не отпуская требуется подвести к входу, с которым требуется соединить. При необходимости линии связи можно двигать по полю для обеспечения удобства, но для этого необходимо отжать кнопку **Wire**, выделить требуемую линию, щелчком по ней, и тянуть за высветившиеся «ручки». При этом получим вид, приведенный на рисунке 47.

5. Остается сохранить программу в файле и проверить правильно ли она действует. Для осуществления первого необходимо выбрать пункт **Save** меню **File**. Для осуществления второго нужно воспользоваться меню **Controller** → **Simulation** → **Start**. При этом красным цветом показано прохождение сигнала, синим – бездействие линии. Аппарат должен срабатывать, если включен датчик *b1* (имеется корм в бункере), *b4* (ограничители находятся в нижнем положении), отключен *b2* (корм в последней кормушке отсутствует) и имеется сигнал на кормораздачу (замкнут контакт реле времени). Кроме того, переключатель стоит в положении — автоматический. Поэтому для проверки работы аппарата необходимо последовательно щелкнуть по входам 1, 3, 6 и установить текущее время по времени включения блока реле времени. При этом будет подан сигнал на выход. Когда сработает *b2* (щелчок по входу 4), с выхода будет снят сигнал. Таким образом, программа действует согласно заданному алгоритму.

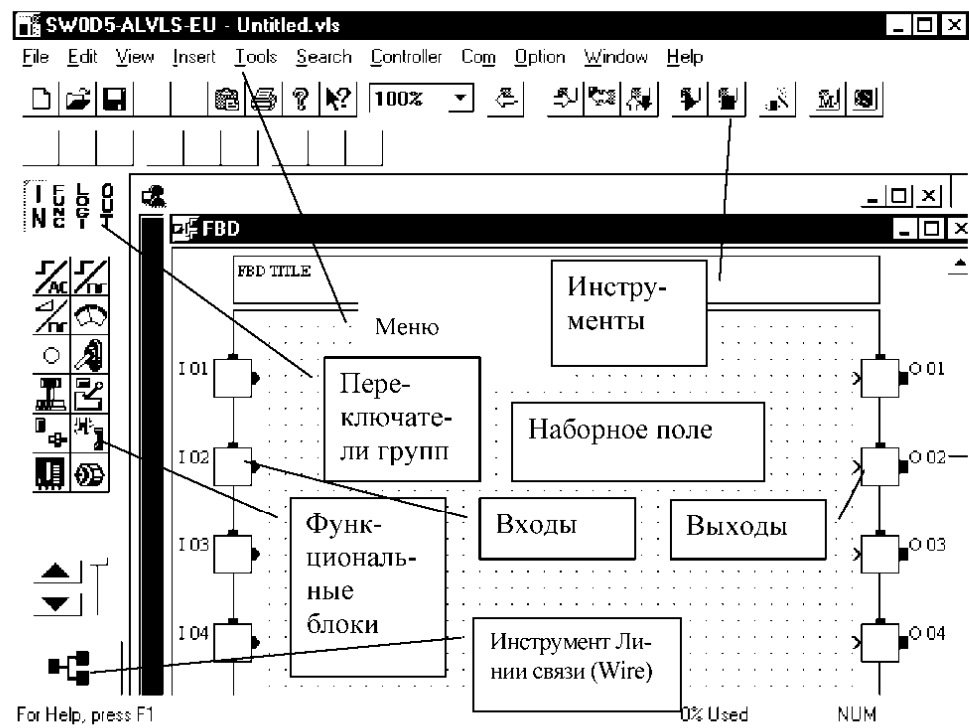


Рисунок 46 — Интерфейс программы-компилятора

6. Отключить эмуляцию действия программы по пути **Controller** → **Simulation** → **Stop** и произвести аналогичные действия для других контуров управления и, наконец, проверить работу полной программы. Если результат проверки положителен, остается только записать программу в контроллер, используя тоже меню **Controller**.

7. Выйти из оболочки, используя путь меню **File** → **Exit**.

2.7 Практическое занятие №15-16-17 (6 часа).

Тема: «Проектирование схем автоматизации промышленных теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения»

2.7.1 Задание для работы:

Задания

1. Заполнить карточку предварительной подготовки к занятию.
2. Разработать щит автоматики и оформить на него документацию согласно принципиальной схемы, полученной в ходе изучения темы 5 (в соответствии с вариантом). При этом придерживаться примерно следующей последовательности:
 - а) согласно исходным данным (перечень элементов к принципиальной электрической схеме) разделить аппаратуру, которая должна быть установлена в щите, по месту и в других конструктивных устройст-

2.7.2 Краткое описание занятия

Краткие теоретические сведения по теме

Типы и конструкция щитов автоматики. Все щитовые изделия, предусмотренные ОСТ 36.13–90, по конструкции и назначению подразделяются на 5 групп:

- щиты и стативы высотой 2 200 и 1 800 мм;
- стативы плоские высотой 2 200 и 1 800 мм;
- щиты шкафные малогабаритные;
- пульты;
- вспомогательные элементы щитов и пультов.

По ОСТ 36.13–90 предусматривается условная запись всех модификаций щитовой продукции по определенной схеме при ее заказе и в проектной документации:

Щит – ЩШ – 3Д – 1 – 22 – 3 – (444 × 444) – УХЛ4 – IP30 ОСТ36.13 –90,

где «Щит» — наименование изделия;

«ЩШ-3Д» — первые буквы наименования (3Д — проставляют только для одиночных щитов);

1 — количество секций (для одиночного щита не проставляют);

22 — степень открытия боковых сторон щита (О2 — открытый с двух сторон, ОП и ОЛ — соответственно открытый справа и слева);

3 — номер исполнения (I, II);

(444 × 444) — типоразмер (высота на глубину);

«УХЛ4» — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150–89;

«IP30» — степень защиты по ГОСТ 74254–80;

«ОСТ36.13–90» — обозначение основного документа.

Основой полногабаритных щитов и стативов является объемный каркас. Стойки, образующие каркас, имеют ряд установочных отверстий диаметром 6,6 мм, расположенных с шагом 25 мм. Установка на

каркас 2-х или 3-х фасадных панелей образует панель с каркасом, соответственно, первого или второго исполнений. Установка на панели с каркасом боковых стенок, дверей и крышки образует шкафы.

Шкафы малогабаритные конструктивно представляют собой цельносварной корпус. С помощью петель на каркас с передней стороны установлена дверь с замком. Верхняя и нижняя крышки съемные, закрепленные при помощи болтовых соединений. Нижняя крышка имеет 12 отверстий для ввода внешних проводок. Монтажное поле в щитах образовано специально предусмотренными для этой цели швеллерами, которые, аналогично стойкам каркаса полногабаритных щитов и стативов, имеют ряды отверстий диаметром 6,6 мм, расположенные с шагом 25 мм, для закрепления деталей для монтажа аппаратуры и проводок. Швеллера крепятся на задней стенке при помощи болтовых соединений.

Шкафы малогабаритные исполнения I предназначены для напольной установки, II — для навесной установки.

При необходимости отдельные аппараты управления и сигнализации могут быть установлены также и на двери.

Принципы проектирования щитов автоматики. Исходными материалами для размещения аппаратуры, монтажных изделий и т.п. являются следующие чертежи и инструкции:

- а) габариты и конструкции выбранных стандартных пультов и щитов;
- б) принципиальные схемы автоматизации;
- в) принципиальные схемы питания;
- г) монтажно-эксплуатационные инструкции на приборы и средства автоматизации;
- д) чертежи установки приборов и средств автоматизации внутри шкафов щитов и пультов и на панельных щитах;
- е) чертежи металлоконструкций нестандартных щитов и пультов.

При выборе щитов и размещении в них приборов и аппаратов придерживаются следующего порядка.

1. Предварительно определив тип щитовой продукции, в соответствии с исходными материалами *б* и *в* определяют перечень приборов и аппаратуры, располагаемой на фасадных панелях щитов, пультов и внутри щитов и стативов.

На фасадной панели щитов размещают самопишущие и регистрирующие приборы, органы управления, показывающие приборы, сигнальную арматуру, мнемосхемы, панели операторов.

Внутри шкафных щитов или на монтажной стороне панельных щитов размещают неоперативную аппаратуру схем автоматизации; выключатели, предохранители, трансформаторы, выпрямители, источники питания, резисторы, реле, фильтры, редукторы и т. п., а также в некоторых случаях реле приборного типа, регулирующие и функциональные блоки и т. п.

При размещении приборов и аппаратуры на щитах и пультах, не допускается:

- а) установка приборов и аппаратуры утопленного монтажа (вторичных приборов, кнопок, ключей, сигнальной арматуры, табло и т. д.) на боковых стенках шкафных щитов, а также на боковых стенках, щитов панельных с каркасом, закрытых слева или справа;
- б) установка приборов и внутрищитовой аппаратуры на дверях шкафных щитов;
- в) установка внутрищитовой аппаратуры на дверях малогабаритных щитов;
- г) на щитах, устанавливаемых в щитовых помещениях, не допускается установка приборов, к которым непосредственно подводятся горючие и взрывоопасные вещества;
- д) в шкафных щитах, устанавливаемых в производственных помещениях, не рекомендуется располагать датчики, к которым подводятся

токсичные вещества, а также устанавливать приборы с ртутным заполнением. При необходимости такой установки щиты должны иметь надежную вентиляцию, отвечающую нормам и правилам работ с токсичными веществами;

- е) на щитах, на которых смонтированы приборы автоматического регулирования и управления, слаботочные реле и другие чувствительные аппараты и приборы, **не допускается установка пускателей третьей и большей величины**. При решении вопроса об установке пускателей второй величины на щитах или на отдельных сборках необходимо учитывать количество пускателей и частоту их включения. Допускается установка ограниченного количества пускателей второй величины при относительно малой частоте включения;
- ж) установка аппаратуры (реле, трансформаторов, предохранителей и пр.) в пультах, как правило, не допускается;
- з) размещение приборов и аппаратуры на вспомогательных элементах щитов (панелях вспомогательных с дверью и без дверей, панели торцевой декоративной, вставках угловых).

2. Руководствуясь ГОСТами, руководящими материалами, производят предварительную компоновку приборов, аппаратов, вспомогательных изделий на фасадных панелях или дверях щитов и внутри щитов.

Компоновка приборов и аппаратуры на фасадных панелях щитов должны выполняться с учетом допустимых полей монтажа (рисунки 48, 49).

Размеры приборов и аппаратуры, устанавливаемых на фасадных панелях, а также расстояния между ними принимаются согласно РТМ 25.91–90 «Рекомендуемые расстояния между приборами на фасадах щитов и пультов», выдержки из которого приведены в приложении 11.

Приборы и средства автоматизации рекомендуется размещать на следующих расстояниях по высоте (от основания щита до горизонтальных осей приборов и аппаратов):

- а) показывающие приборы и сигнальная арматура — 1000–650 мм, допустимо 800–100 мм;
- б) регистрирующие приборы на оперативных щитах без приставных пультов 900–900 мм;
- в) регистрирующие приборы на оперативных щитах, с приставными пультами — 1100–700 мм;
- г) регистрирующие приборы на неоперативных щитах — 700–2000 мм;
- д) оперативная (командная) аппаратура управления (переключатели, ключи и кнопки управления) — 700–1500 мм;
- е) мнемосхемы на щитах — 1000–100 мм.

Расстояние от основания щита до нижней кромки прибора должно быть не менее 500 мм.

При размещении приборов и средств автоматизации на фасадах щитов малогабаритного исполнения следует учесть, что щиты крепятся к стене или устанавливаются на стойках таким образом, что расстояние между бетонным основанием и днищем щита равно 800 мм.

Также необходимо учитывать при использовании — щитов шкафных, что поле нижней панели является декоративным и не предназначено для установки аппаратуры. Для исполнения II на поле средней панели располагают крупногабаритные и самопишущие приборы, органы управления. На поле верхней панели — сигнальная арматура, малогабаритные показывающие приборы, компактные мнемосхемы.

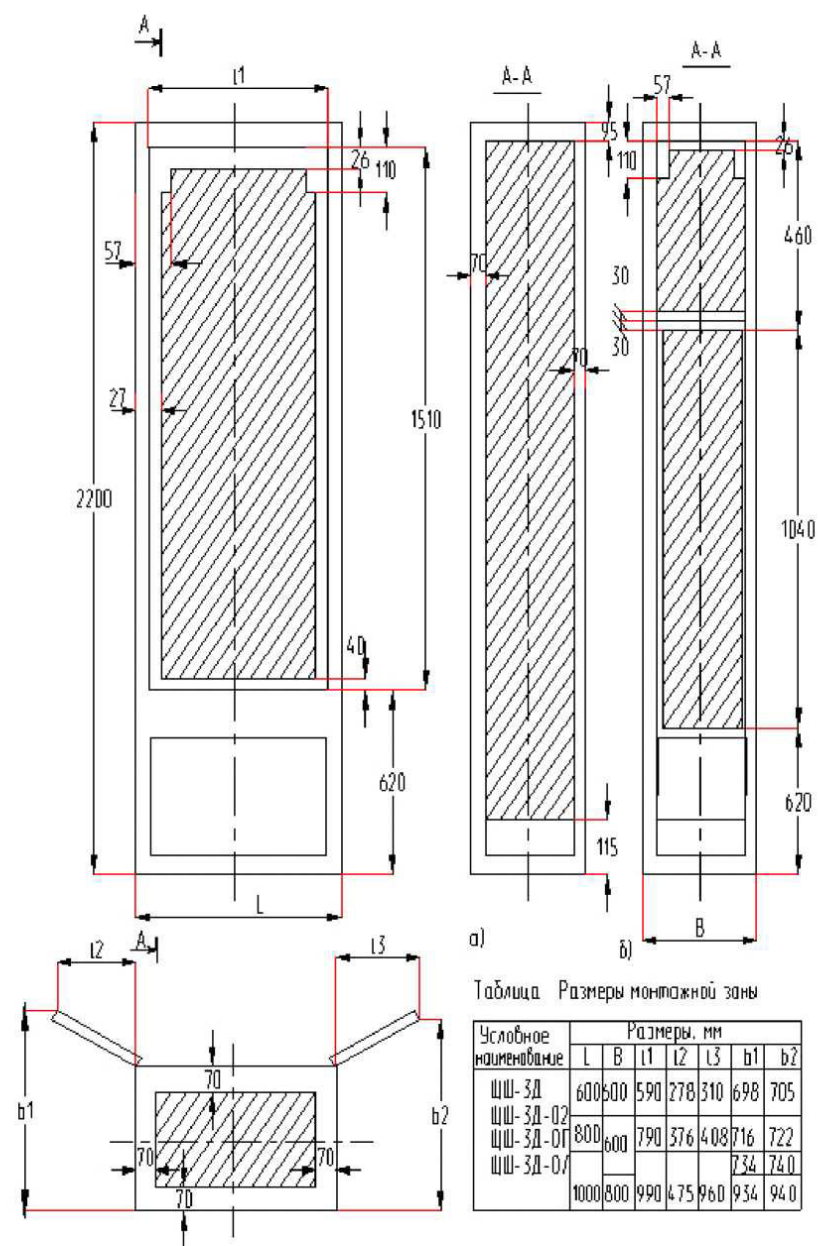


Рисунок 48 — Монтажные зоны шкафных щитов ЩШ-ЗД:
a — исполнение I; *б* — исполнение II

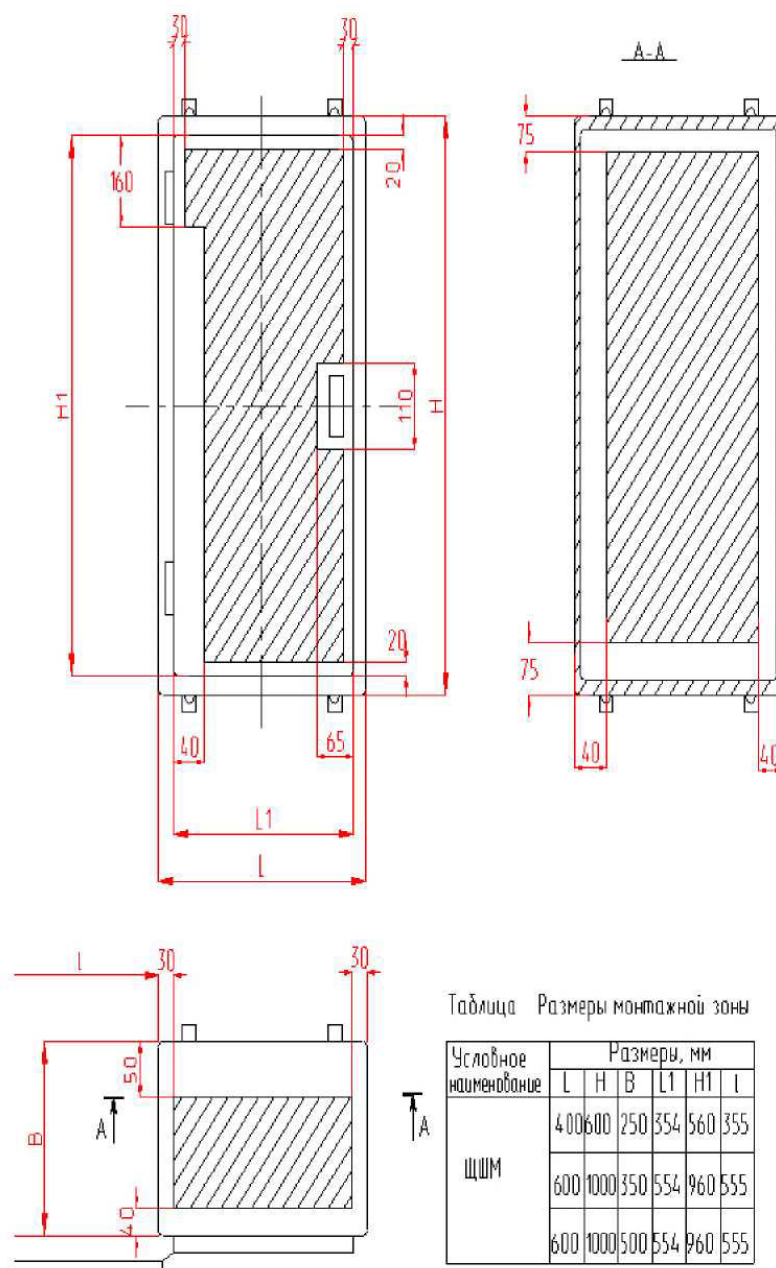


Рисунок 49 — Допустимые поля монтажа малогабаритных щитов

При размещении аппаратуры внутри шкафных щитов и на панельных щитах должны учитываться:

- ✓ допустимые расстояния между корпусами аппаратов, приборов и монтажных изделий;
- ✓ рекомендации по расположению аппаратуры по высоте;
- ✓ рекомендации по размещению аппаратуры по тепловым зонам;
- ✓ габариты выступающих внутрь шкафных щитов, приборов и аппаратов утопленного монтажа, устанавливаемых на фасаде этих щитов;
- ✓ габариты установочных конструкций, устройств разделки вводимых в щит кабелей, устройств для крепления проводов, труб и т. п.;
- ✓ обеспечение удобства демонтажа приборов и аппаратов.

Аппаратуру внутри шкафных щитов и на панельных щитах рекомендуется устанавливать на следующих расстояниях по высоте от основания щита до основания приборов:

- трансформаторы и источники питания, как редко обслуживаемые — 1 700–2 000 мм;
- выключатели, предохранители, ключи — 700–1 700 мм;
- реле — 600–1900 мм;
- воздушные фильтры и редукторы — 500–1 500 мм;
- воздушный коллектор — 250–500 мм;
- сборки зажимов (при горизонтальном расположении) с учетом разделки кабеля — 450–800 мм;
- в случае установки двух и более горизонтальных сборок расстояние между ними должно быть — 200 мм;
- сборки зажимов (при вертикальном расположении) с учетом разделки кабеля снизу и сверху: нижний край сборки — 350 мм, верхний край сборки — 1 900 мм;
- стойки для крепления кабелей — 150 мм.

При размещении аппаратов на боковых стенках малогабаритных щитов глубиной 500 мм дополнительно устанавливается угольник

У32 по ТКЗ-262-90, имеющий ряд перфорированных отверстий диаметром 6,6 мм с шагом 25 мм. Сборки контактных зажимов в этих щитах располагаются горизонтально на задней стенке, допускается горизонтальная или вертикальная установка на боковой стенке малогабаритных щитов.

Сборки зажимов и скобы для крепления кабелей рекомендуются устанавливать на боковых стенках пульта либо по ширине пульта на уголках, приваренных к его боковым стенкам. В случае установки двух рядов сборок расстояние между ними должно быть не менее 200 мм. Установка трех рядов сборок в пульте не допускается. Стойки для крепления кабелей рекомендуется устанавливать на расстоянии не менее 70 мм от основания пульта.

В пультах с поднимающейся верхней панелью допускается установка предохранителей, трансформаторов, резисторов и прочей электроаппаратуры, не имеющей подвижных элементов, при условии обеспечения удобства их обслуживании при поднятой верхней панели пульта.

При размещении аппаратуры на монтажной стороне панели рекомендуется группировать ее по принадлежностям к системам измерения, регулирования, управления и сигнализации, а внутри этих групп компоновать по роду тока и величине напряжения, типам аппаратов и т. д.

В случае установки в щите приборов и устройств, работа которых создает помехи в измерительных цепях (например, феррорезонансные стабилизаторы) рекомендуется размещать их в зонах, наиболее удаленных от измерительных цепей (если это возможно на других панелях щита).

Вводы электрических проводов в щиты и пульты должны выполняться:

– в щиты шкафные, шкафные малогабаритные — снизу;

- в пульты — снизу;
- в щиты панельные с каркасом — снизу и сверху.

Устройства, в которых во включенном состоянии выделяется тепло (лампы, резисторы, трансформаторы и т. п.), следует размещать в верхней части щитов. Аппараты и приборы, характеристики которых существенно зависят от температуры окружающей среды, следует размещать в зонах, удаленных от устройств, выделяющих тепло.

Компоновку аппаратов в щитах рекомендуется выполнять в следующем порядке:

- 1) определить монтажную зону соответствующей плоскости щита по рисунку;
- 2) определить поле монтажа свободное от «теней» приборов и аппаратов, устанавливаемых на смежной плоскости щита. При определении размеров тени необходимо учитывать также площадь, перекрываемую крышкой аппарата при ее снятии;
- 3) наметить вариант взаимного расположения (композицию) устанавливаемых аппаратов и места прокладки жгутов проводов (труб);
- 4) подобрать способы установки аппаратов и установочные конструкции соответственно намеченной композиции. Если аппараты можно установить на одной и той же установочной конструкции несколькими способами, предпочтение следует отдать наиболее простому (по металлоемкости, количеству узлов крепления, компактности).
- 5) найти монтажные зоны аппаратов по таблицам соответствующих типовых чертежей на основе принятых способов установки [6]. Монтажную зону аппарата, отсутствующую в сборнике, находят, как сумму: габарит устанавливаемого аппарата плюс разность размеров монтажной зоны и габарита аппарата — аналога.
- 6) проверить правильность намеченной компоновки по большему габариту фасадной панели или внутренней плоскости щита выбирают ближайший больший стандартный размер щита и затем производят

окончательную компоновку приборов и аппаратуры в габаритах выбранного щита.

3. По большему габариту фасадной панели или внутренней плоскости щита выбирают ближайший больший стандартный размер щита и затем производят окончательную компоновку приборов и аппаратуры в габаритах выбранного щита.

Требования к документации на щиты автоматики. Документация, разрабатываемая на щиты и пульта, должна содержать специфические особенности проектируемой системы автоматизации. Состав, содержание и порядок оформления документации, разрабатываемой в проекте для изготовления щитов, определяются РМ4-107-82 «Щиты и пульта систем автоматизации технологических процессов. Требования к выполнению технической документации, предъявляемой заводу-изготовителю».

Чертеж общего вида единичного щита должен в общем случае содержать:

- перечень составных частей;
- вид спереди (фронтальная плоскость), фрагменты вида (при необходимости);
- вид на внутренние плоскости, фрагменты вида (при необходимости);
- технические требования;
- таблицу надписей на табло и в рамках.

Допускается выполнять другие изображения: виды, разрезы и т. д.

На чертежах общих видов единичные щиты изображают в масштабе 1:10. Масштаб на чертежах в этом случае не указывают. В обоснованных случаях (например, для узлов крепления, вырезов и т. д.) могут применяться другие масштабы по ГОСТ 2.302–68, которые проставляются над изображением узла по ГОСТ 2.316–68.

На чертежах общих видов щиты, приборы, средства автоматизации, аппараты, элементы их крепления и т. п. изображают упрощенно

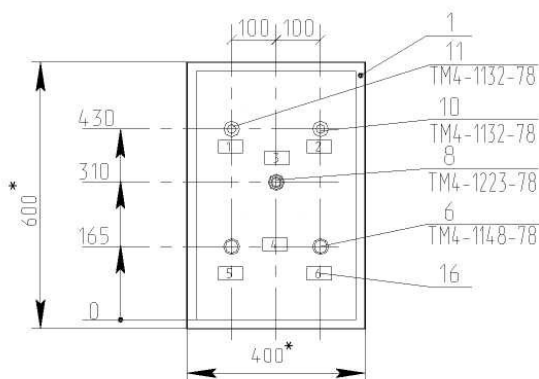
в виде внешних очертаний, сплошными основными линиями по ГОСТ 2.303–68.

Шкафам, панелям, панелям с каркасом, корпусам пультов, вспомогательным элементам, поворотным рамам, а также приборам и средствам автоматизации, аппаратам, линиям и символам мнемосхем, вводам электрических и трубных проводок, монтажным изделиям, элементам крепления внутрищитовой аппаратуры, устанавливаемым на фасадах и внутри щитов, присваивают номера позиций в порядке записи их в перечень составных частей. Номера позиций наносят на полках линий-выносок по правилам ГОСТ 2.109–73.

При простановке позиций с целью сокращения числа линий выносок на чертежах, содержащих большое число однотипных аппаратов (сигнальной арматуры, кнопок управления или реле одного типа, отличающихся набором контактов и вводами), их рекомендуется изображать условными знаками по правилам обозначения одинаковых отверстий по ГОСТ 2.307–68.

Рассмотрим требования к изображению вида спереди. Изображение вида спереди (рисунок 50) в общем случае выполняют на листе формата А3 по ГОСТ 2.301–68. На фронтальной плоскости единичного щита показывают приборы и средства автоматизации, элементы мнемосхем, изделия для нанесения надписей о назначении того или иного прибора.

На фронтальной плоскости единичного щита проставляют габариты щита и размеры, координирующие установку всех приборов и средств автоматизации, монтируемых на ней. Размеры по вертикали проставляют от нижнего края фасадной панели щита, столешницы пульта или двери малогабаритного щита, принимаемого за базу. Размеры по горизонтали от вертикальной оси симметрии фасадной панели щита, столешницы пульта или двери малогабаритного щита.



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

Рисунок 50 — Пример вида спереди малогабаритного щита

Всем шкафам, стойкам, корпусам пультов, вспомогательным элементам, рамам, приборам и средствам автоматизации, аппаратуре и монтажным изделиям, устанавливаемым на фасадах и внутри щитов (составным частям щита), присваиваются номера позиций, начиная с цифры 1, в порядке записи их в перечень составных частей. Перечень элементов на чертеже общего вида щита нумеруется совместно с перечнем элементов на чертеже вида на внутренние плоскости. Под полкой линии выноски, на которой проставлен номер позиции, указывают обозначение установочного чертежа. В качестве установочных чертежей должны применяться типовые монтажные чертежи. При отсутствии для какого-либо прибора типового монтажного чертежа в проекте должен быть разработан чертеж установки этого прибора.

На фронтальной плоскости единичного щита показывают также изображение табло и рамок. Каждой рамке присваивают номер, начиная с единицы, и указывают его внутри контура рамки. Присваивают номера, как правило, слева направо, сверху вниз, сначала надписям на табло, а затем — в рамках.

При вводе проводок в щиты шкафные и шкафные малогабаритные сверху на поле чертежа размещают вид на крышку щита, на котором координируют и указывают вводы для электрических и трубных проводок в соответствии со сборником 72 «Вводы в щиты и пульты по ОСТ 36.13–90».

Требования к изображению вида на внутренние плоскости щита. Вид на внутренние плоскости (рисунок 51) щита изображают на листе не более формата А3 по ГОСТ 2.301–68. Над изображением щита помещают заголовок «Вид на внутренние плоскости (развернуто)».

Для щитов и стативов на чертеже вида изображают условно развернутыми в плоскости чертежа боковые стенки, поворотные рамы, крышки, находящиеся в разных плоскостях.

Для пультов вид на внутренние плоскости дается по стрелкам.

На внутренних плоскостях щитов (передних и боковых стенках), поворотных рамах, дверях малогабаритных щитов показывают:

- 1) установленные на них приборы, электроаппаратуру и пневмоаппаратуру. Расположение электроаппаратуры должно быть, как правило, систематизировано в зависимости от последовательности буквенно-цифровых позиционных обозначений;
- 2) изделия для монтажа электропроводок: блоки зажимов, рейки с наборными зажимами, колодки маркировочные, упоры и т. п.;
- 3) изделия для монтажа, трубных проводок; трубопроводная арматура (краны, вентили);
- 4) элементы для крепления внутрищитовой аппаратуры (рейки, скобы, угольники и тому подобные элементы, которые крепятся непосредственно к стойкам щита), выбираемые по сборникам типовых чертежей ([3], приложение 3). Промежуточные детали для крепления аппаратуры к рейкам и угольникам не изображают;

- 5) дециметровые шкалы стоек щитов, которые наносятся на стойки условно и служат для координации установленной внутри щитов аппаратуры по вертикали;
- 6) жгуты электрических и трубных проводок, кроме вертикальных жгутов, прокладываемых в стойках щитов шкафных, панельных с каркасом и стативов по РМЗ-82-90.

При размещении внутри щитов аппаратуры необходимо учитывать ее взаимное расположение на различных плоскостях и поворотных конструкциях относительно друг друга и приборов, установленных на фасаде.

При установке внутри щитов изделий, требующих увеличенного изображения (диодов, зажимов наборных ЗН-П, ЗК-2,5; ЗК-7,5; перемычек П, катушек подгоночных, витков питания и т. п.), следует выполнять выносные фрагменты на поле чертежа вида на внутренние плоскости или на последующих листах.

Аппаратуру координируют по горизонтали от краев стоек и между собой.

Для приборов и аппаратуры, а также для труб, устанавливаемых внутри щита, проставляются позиции по перечню составных частей.

Для всех приборов, аппаратов, блоков зажимов внутри изображения, над ним или справа от него указывают:

- для приборов — позиции по заказной спецификации;
- для электро- и пневмоаппаратуры — позиционные обозначения по принципиальным электрическим, пневматическим схемам, элементами которых они являются.

К буквенным обозначениям должны добавляться порядковые номера, начиная с единицы в пределах каждой группы изделий, обозначаемых одинаковыми буквами.