

Учебно-методические материалы
по программам повышения квалификации и
профессиональной переподготовки специалистов

**Принципы организации
АСУТП тепломеханическим оборудованием
электростанций**

МОСКВА – 2021 г.

Содержание

Содержание	2
1. Общие принципы организации АСУ ТП.....	3
1.1. Введение	3
1.2. Структура АСУ ТП.....	7
2. Структура базового программного обеспечения	8
2.1. Программирование ПТК	8
2.2. Человеко-машинный интерфейс АРМ	10
3. Описание лабораторного комплекса	11
3.1. Техническое обеспечение.	11
3.2. Программное обеспечение.	13
4. Ссылки на обучающие видео	14

1. Общие принципы организации АСУ ТП

1.1. Введение

Система управления представляет собой совокупность технических средств, необходимых для оперативного управления работой электростанции (подстанции). Обычно в системах управления выделяют пять основных подсистем.

Подсистема измерения, обеспечивающая необходимую информацию о параметрах технологического процесса.

Подсистема сигнализации, предназначенная для привлечения внимания оперативного персонала при отклонении параметров от допустимых значений.

Подсистема дистанционного управления, обеспечивающая воздействие на исполнительные органы.

Подсистема автоматического регулирования, обеспечивающая автоматическое поддержание заданного значения параметра или его изменение по заданному закону.

Подсистема защит, обеспечивающая автоматическое отключение оборудования при выходе параметров в аварийную зону.

Традиционно для реализации систем контроля и управления использовалась релейная техника. В настоящее время при модернизации систем управления и при вводе нового оборудования обычно внедряются автоматизированные системы управления технологическими процессами на основе микропроцессорных программно-технических комплексов (ПТК).

Принципы организации традиционных и микропроцессорных АСУ ТП существенно различаются. На рис.1.1 приведены фотографии блочного щита управления блока 250 МВт, выполненных на традиционных и микропроцессорных средствах.

Системы управления без ПТК характеризуются индивидуальной формой сбора, обработки и представления информации. Необходимую информацию оператор получает от измерительных приборов, установленных на оперативных панелях и пультах на щите управления (ЩУ) или по месту. Состояние коммутационных устройств (включенное / отключенное) отображается с помощью лампочек. Воздействие на исполнительные органы управления осуществляется от ключей (переключателей, кнопок). При угрозе аварийной ситуации для привлечения внимания оператора формируется сигнал в схему сигнализации для отображения на табло сигнализации на оперативной панели.

В микропроцессорных системах управления измерения, сигнализация, дистанционное управление осуществляются с автоматизированных рабочих мест (АРМ), представляющих собой обычные компьютеры. Состояние установки отображается на дисплее в виде мнемосхем. Воздействие оператора на исполнительные устройства осуществляется с помощью «мышки». Вместо «щитовых» обзорных мнемосхем используются экраны коллективного пользования.

Для реализации логики управления и защит на релейной технике требовалось разработать большое количество релейных панелей (рис. 1.2). В современных АСУ ТП алгоритмы реализуются контроллерами микропроцессорных устройств (рис. 2.1, 2.2).



Рис. 1.1. Блочный ЩУ на традиционных и микропроцессорных средствах



Рис. 1.2. Релейная панель



Рис. 1.3. Панели с контроллерами и модулями УСО

Передача информации между устройствами при использовании традиционной техники осуществляется с помощью контрольного кабеля. Каждый сигнал требует своих жил кабеля. А если сигнал используется в разных устройствах (например, состояние коммутационного аппарата для отображения в оперативном контуре на пульте и для организации цепей блокировки или автоматического включения резерва на соответствующих панелях), то соответственно увеличивалось и количество кабельных связей. На рис. 1.4 приведена фотография кабельного полуэтажа электростанции. В микропроцессорных АСУ ТП значительная часть информационных потоков уходит в цифровые сети. За счет цифрового обмена появилась возможность многократного использования информации при однократном вводе сигнала в ПТК. Кроме того, во многих случаях появляется возможность вынесения средств сбора информации к её источникам с последующей передачей по цифровым сетям (распределенные системы управления). На рис. 1.5 приведен пример расположения шкафа с модулями УСО «в поле». Всё это позволяет сократить объём кабельной продукции.

Использование АСУ ТП по сравнению с традиционными системами управления предоставляет новые возможности: сбор и первичную обработку входной информации с контролем достоверности информации; глубокую степень автоматизации процесса управления; отображение как измеряемой, так и расчетной информации на экранах операторских станций; хранение и предоставление ретроспективной информации; регистрацию аварийных событий; контроль за действиями оперативного персонала; протоколирование информации, составление отчетов; расчет технико-экономических показателей работы оборудования.

Следует отметить, что при автоматизации тепловой и электрической частей электростанций используются различные подходы и предъявляются разные требования к ПТК, так как динамика электрических процессов на порядки выше тепловых. Контроль и управление электродвигателями собственных нужд (с.н.) обычно ведется в рамках технологических АСУ ТП [1]. Другие присоединения электростанций, а также оборудование на подстанциях управляются в рамках АСУ электротехническим оборудованием.



Рис. 1.4. Кабельные связи



Рис. 1.4. Шкаф с модулями УСО в распределенной АСУ ТП.

1.2. Структура АСУ ТП

Основой АСУ ТП является программно-технический комплекс оборудование которого можно условно разделить на несколько уровней.

На рис. 1.5 приведен пример типичной структурной схемы современной распределенной системы управления на базе контроллеров.

Система управления состоит из 3-х уровней.

1) Датчики измеряемых аналоговых и дискретных сигналов, исполнительные устройства.

2) Микропроцессорные контроллеры (МПК) с модулями УСО для сбора и первичной обработки измеряемых параметров; автоматического регулирования, блокировок. МПК с модулями УСО связаны полевой шиной.

3) Операторские станции, объединяемые между собой и с МПК по локальной вычислительной сети (ЛВС) типа "промышленный Ethernet".

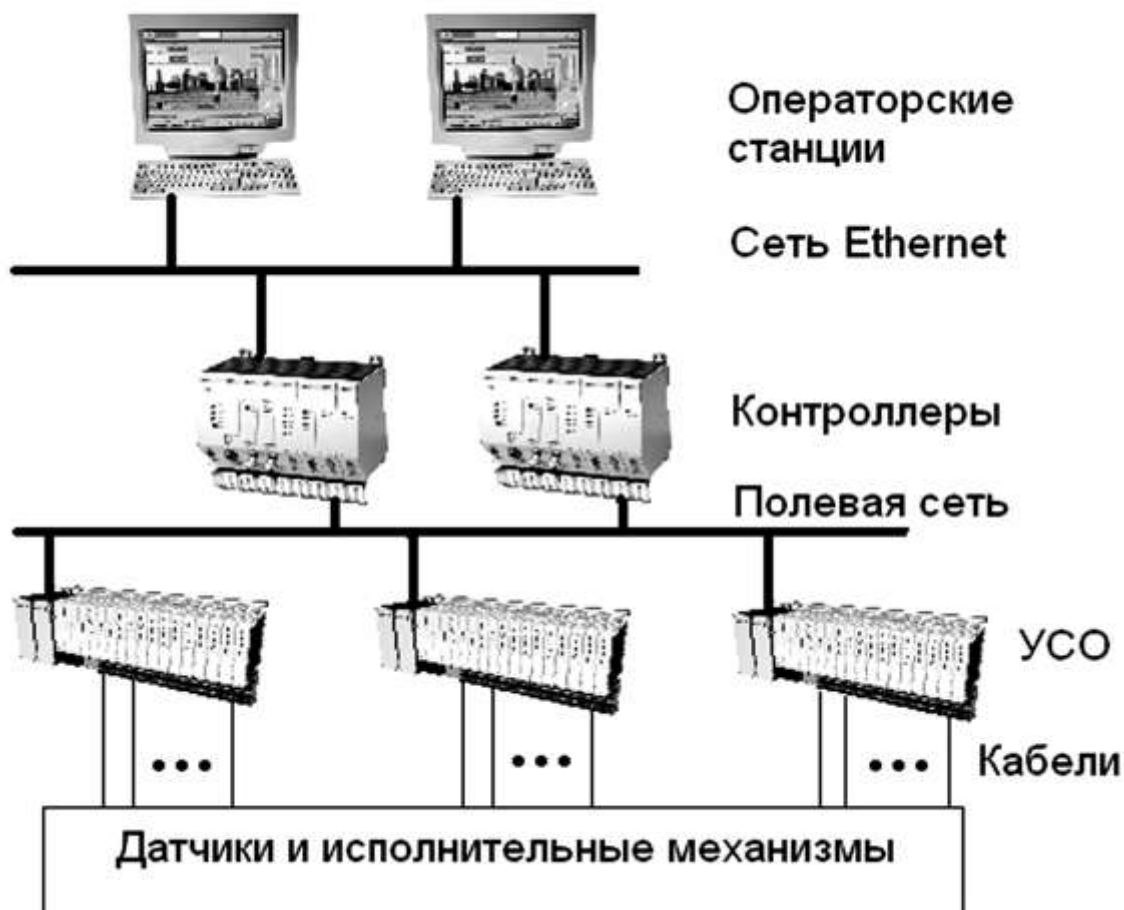


Рис. 1.5. Структурная схема АСУ ТП

Количество контроллеров и операторских станций может быть различным в зависимости от сложности объекта управления или характеристик выбранного ПТК.

2. Структура базового программного обеспечения

2.1. Программирование ПТК

При реализации систем контроля и управления на традиционной технике, чтобы система заработала, достаточно было реализовать принципиальную схему в «железе». При использовании ПТК система не заработает, пока не будет сконфигурировано и запрограммировано ПТК. Для инжиниринга ПТК обычно используется базовое программное обеспечение от производителя. Это программное обеспечение обычно устанавливается на инженерной станции (АРМ инженера АСУ ТП), представляющей собой обычный персональный компьютер (или ноутбук) с операционной системой WINDOWS. Как уже отмечалось, подключение инженерной станции к ПТК обычно осуществляется через специальный инженерный порт. В зависимости от типа ПТК это может быть СОМ-порт или Ethernet. Для «запуска» ПТК в общем случае необходимо:

- задать конфигурацию устройства (проектно компонованные устройства одной серии могут оснащаться разными контроллерами и модулями УСО);
- определить параметры цифровой сети (сетевой адрес, используемый протокол);
- разработать программу для контроллера.

Для простых контроллеров, выполняющих ограниченный набор функций, программирование может выполняться в виде настройки жёсткой логики. Для контроллеров со свободно программируемой логикой программирование в большинстве современных ПТК ведётся на специализированных технологических языках программирования, которые понятны специалистам-технологам (электрикам) и не требуют специальной программистской подготовки. Существует стандарт МЭК на такие языки, поэтому реализация алгоритмов для различных ПТК имеет много общего.

Задачу стандартизации средств программирования МПК взяла на себя Международная Электротехническая Комиссия (IEC). Результатом этой работы стала разработка стандарта IEC 61131-3. Структура стандарта включает три графических и два текстовых языка. Кроме того, языки могут использоваться в одном редакторе, иными словами, допускается работа с использованием смешения языков. Программа может быть написана на любом из языков. Однако каждый язык имеет свою специфику, и для разных алгоритмов может быть удобно использовать разные языки. Ниже кратко описаны языки стандарта.

LD (Ladder Diagram) является графическим языком, программа на котором представляет собой аналог релейно-контактной схемы, что является привычным для инженеров - релейщиков. Язык может быть использован только для описания процессов, имеющих дискретный характер. При обработке непрерывных переменных релейная аналогия теряет смысл. В случае больших программ диаграммы на этом языке сложны в отладке в силу своей неструктурированной природы.

FBD (Functional Block Diagram) является графическим функциональным языком программирования, использующим аналогию с цифровыми схемами. Программа на этом языке представляет собой совокупность функциональных блоков, соединённых линиями связи. Язык FBD является наиболее часто используемым языком. Этот язык нагляден, обеспечивает обработку, как непрерывных сигналов, так и логических функций. Хотя в нём не совсем удобным образом реализуются участки программы, которые связаны с большими объёмами математических и логических операций.

Язык SFC (Sequential Function Chart) является графическим языком, в котором программа описывается в виде последовательности шагов, объединённых переходами. На этом языке естественным образом описываются технологические процессы, состоящие из последовательных шагов, с возможностью описания параллелизма. Для этого в языке используются средства разветвления и слияния потоков. Этот язык удобен для программирования функционально-группового управления, когда нужно описывать последовательность различных операций, разнесённых во времени, с проверкой возникновения условий для их выполнения.

Язык ST (Structured Text) представляет собой текстовый язык высокого уровня. Этот язык может быть освоен технологом за короткий срок, однако текстовая форма представления программ – сдерживающий фактор при разработке сложных систем, так как не даёт наглядного представления ни о структуре программы, ни о происходящих в ней процессах. Если для профессионального программиста такой порядок вещей представляется если не естественным, то, во всяком случае, привычным, то для программиста-технолога текстовая форма представления может служить серьёзным препятствием.

Язык IL (Instruction List), являясь ассемблером виртуальной машины, имеет все те же недостатки, которые присущи ассемблерам реальных процессоров: сложность и высокую трудоёмкость программирования, трудность модификации программ.

2.2. Человеко-машинный интерфейс АРМ

Реализация интерфейса человек-машина на автоматизированных рабочих местах оперативного персонала осуществляется с помощью SCADA-систем. АРМ обеспечивают наблюдение за технологическим процессом, подачу команд дистанционного управления оборудованием, фиксацию сообщений предупредительной и аварийной сигнализации, архивирование информации (журналы событий, тренды, отчеты).

Разработка прикладного программного обеспечения АРМ ведется с помощью базовых средств SCADA-системы. Основными элементами SCADA -системы являются:

- графический редактор для подготовки мнемосхем;
- средства взаимодействия с базой данных переменных;
- средства формирования журналов событий;
- средства формирования архивов.

Одним из наиболее трудоемких процессов является разработка мнемосхем. Мнемосхемы (экраны процесса) – однолинейные схемы и специальные экраны с активными элементами (коммутационные устройства, измерения, индикаторы, и т.п.).

Современные SCADA-системы предоставляют для их разработки широкий набор графических объектов, позволяющих формировать мнемосхемы и связывать их с базой данных переменных. Обычно в них имеется набор пассивных графических объектов для рисования структуры управляемого объекта (линия, окружность, прямоугольник и прочее), а также активные объекты, отображение которых связано с состоянием переменных.

Для вывода на экран аналоговых параметров обычно используются алфавитно-цифровые индикаторы. Их внешний вид (размер, шрифт, цвет, формат вывода числа) определяются их свойствами. Одним из свойств является и связанная с индикатором переменная. При необходимости аналоговые параметры могут отображаться с помощью бар-графов или изображений, аналогичных стрелочным приборам.

Дискретные входные переменные обычно выводятся на экран не непосредственно, а определяют внешний вид (цвет, размер, изображение) других графических объектов.

Для формирования дискретных команд на экране дисплея прорисовываются какие-то управляющие элементы (кнопки, переключатели), которые сопоставлены с 0 или 1 в соответствующей переменной.

Для управления стандартным оборудованием (например, коммутационными аппаратами) обычно используются специальные библиотечные элементы, базирующиеся на типовых алгоритмических блоках, связанных с соответствующими входными и выходными сигналами.

База данных процесса – БД реального времени, содержащая текущее значение сигнала, регистрирует входящие и исходящие сигналы. Сигналы могут быть различных типов: индикация, измерения, команды. Объект процесса – это программная модель сигнала, содержащая различные настройки (атрибуты), определяющие его обработку в АСУ. Например, наименование сигнала, значение аварийного уровня и т.п. У каждого типа сигналов свой список атрибутов.

Событие – это фиксация сигнала с меткой времени. События могут генерироваться контролируемым процессом (изменения состояния контролируемых объектов, внутренние сигналы оборудования РЗА и УСО) и системой (диагностика оборудования, действие персонала, системные сообщения). Аварийные события приводят к генерации тревоги.

При фиксировании события записывается информация о том, что произошло, где произошло и когда произошло.

События отображаются в журнале событий, хранятся в БД Событий, а значения могут записываться в БД Отчётов. Журнал событий также информирует о дей-

ствиях других пользователей, квитировании аварийных сигналов, редактировании предельных значений и т.п. При просмотре журнала событий пользователь может определить собственные фильтры (условия отображения). Фильтровать журнал событий можно, используя один или несколько критериев: время, источник, присоединение, класс тревог и т.д.

Тревога – событие, значение сигнала которого, соответствует тревожному уровню, определённому в БД процесса. Она указывает на нарушение в технологическом процессе или в системе. Аварийные сигналы могут вызвать срабатывание звуковой и световой сигнализации, изменение вида элементов станции, распечатку на принтере, а также изменения в Списке Тревог. Сигналы с тревожной сигнализацией отображаются в Списке Тревог. Эта информация сохраняется здесь до тех пор, пока не будет устранена причина аварии. Квитирование это факт подтверждения оператором того, что он увидел тревожный сигнал. Оператору необходимо квитировать тревоги. Необходимость квитирования определяется при настройке объекта процесса.

В БД Отчетов хранятся архивные данные и расчетные значения. Отчетные данные позволяют производить математическую или статистическую обработку. Затем эти данные сохраняются в БД Отчетов. К ним относятся непосредственно отчёты и тренды. Для отчётов определён период: день, месяц, неделя, месяц, год. В соответствии с этим периодом, производится запись выбранных значений в текущую БД Отчётов. Тренды позволяют выводить графики аналоговых величин. Данные попадают в базу данных отчетов и затем анализируются.

3. Описание лабораторного комплекса

3.1. Техническое обеспечение.

Фотография стенда представлена на рис. 3.1. Внизу расположен объект управления с датчиками и исполнительными устройствами, сверху - реализация схем управления исполнительными устройствами, и контроллер с модулями УСО. Перед стендом закреплена IP камера для видео наблюдения. Фактически рисунок соответствует картинке с камеры, которую видит обучающийся при дистанционном доступе. За кадром остались компьютер верхнего уровня и сетевой коммутатор Ethernet.

Функциональная схема стенда представлена на рис. 3.2. На ней можно выделить две технологические цепочки. В первой вода из нижнего резервуара с помощью перекачивающего насоса подаётся в верхний. В нём имеется регулируемый слив и установлен датчик уровня. Кроме того, на случай неправильного управления предусмотрен аварийный слив, который не даст верхнему резервуару переполниться. Визуально отслеживать уровень мы можем по поплавковому датчику. По второй технологической цепочке вода из резервуара нагнетается насосом через регулирующий кран в гидроаккумулятор. До и после регулирующего крана имеются два отбора, через которые вода возвращается в исходный резервуар. Интенсивность отбора установлена заранее шаровыми кранами. На трубопроводе установлены датчики расхода и давления, а также манометр для визуального контроля давления. Кроме того, в резервуаре установлены нагреватель и датчик температуры, также имеется датчик температуры окружающей среды.

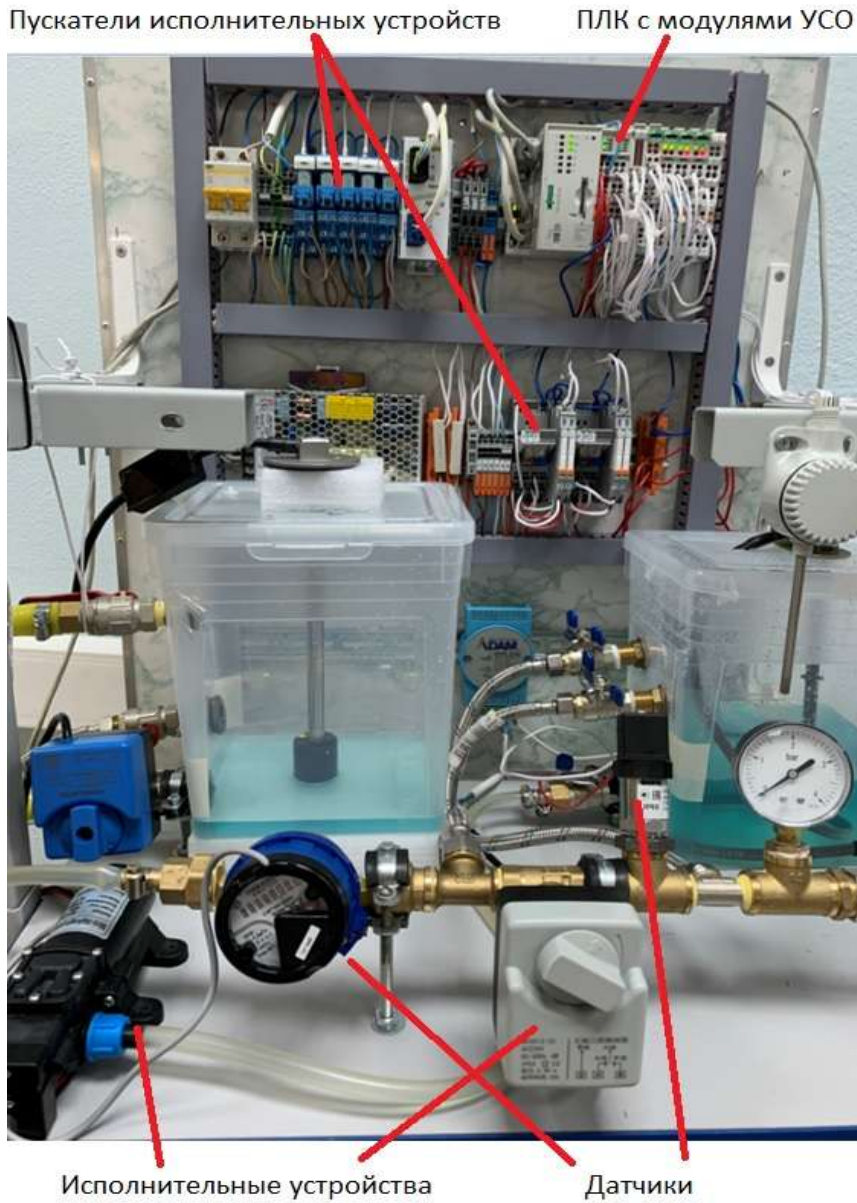


Рис.3.1. Структура лабораторного стенда.

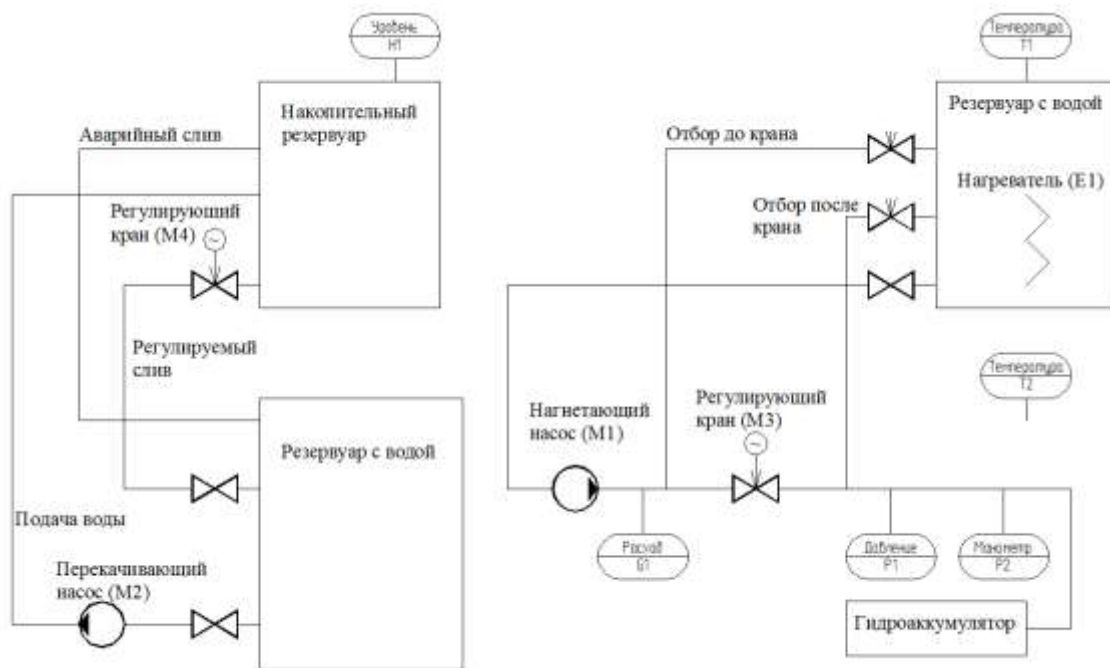


Рис.3.2. Функциональная схема стенда.

Относительно простая и обозримая технологическая схема позволяет сформулировать достаточно большой набор задач по реализации алгоритмов управления оборудованием. Например, по первой цепочке: двухпозиционное регулирование уровня в помощью насоса; поддержание заданного уровня с помощью регулирующего крана; оптимизация количества включений и времени работы электродвигателя при поддержании уровня в заданных пределах. По второй цепочке – регулирование температуры, давления, расхода. Возможны различные комбинации, например, поддержание определённого давления в зависимости от уровня. При этом качество реализации алгоритмов можно оценить, наблюдая за работой реального оборудования.

Другой важный методический аспект, возможность изучения технологии в связи с реализацией принципиальных электрических схем управления исполнительными устройствами. На стенде реализованы типовые схемы, используемые в промышленности. Все пускатели оснащены светодиодными индикаторами, и по ним можно судить о прохождении команд на включение-отключение механизмов собственных нужд, открытие-закрытие запорно-регулирующей арматуры.

Средний уровень АСУ ТП реализован на универсальном коммуникационном ПЛК WAGO серии PFC200. Такие ПЛК широко используются для систем автоматизации в промышленности, в частности, в энергетике. Его основные особенности: большая вычислительная мощность для реализации алгоритмов управления, мониторинга, обработки и хранения информации; поддержка всех основных протоколов цифрового обмена, используемых в системах автоматизации электростанций; встроенные два порта Ethernet, порт RS-485/RS-232 для организации цифрового обмена; возможность прямого подключения модулей УСО; наличие встроенной съёмной SD-карты, позволяющей организовать систему архивирования.

Как при реализации технологической схемы были использованы все основные типы датчиков (температура, расход, давление, уровень), так и состав модулей УСО включает все основные виды каналов. Среди них дискретные входы для индикации состояния, дискретные выходы для реализации команд, унифицированные аналоговые сигналы 4-20 мА (давление и уровень) и 0-10 В (токи электродвигателей), аналоговые сигналы от термопар и термосопротивлений. Это позволяет изучить как используемую номенклатуру модулей, так и схемы подключения сигналов.

3.2. Программное обеспечение.

Программное обеспечение.

Разработку прикладного программного обеспечения АСУ ТП можно условно разделить на три части:

- программирование операторского интерфейса АРМ;
- программирование ПЛК;
- конфигурирование цифрового обмена, формирование базы данных переменных.

Для программирования операторских станций и отображения на них информации при эксплуатации используются SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition).

Программирование контроллера ведётся в среде CoDeSys на технологических языках стандарта МЭК 61131-3. CoDeSys – это универсальная среда программирования, которая широко применяется для различных ПТК российского и зарубежного производства (FASTWEL, ОВЕН, WAGO др.).

Важной особенностью CoDeSys является наличие в ней встроенной среды визуализации, в которой реализуются все основные функции, характерные для SCADA: отображение состояния оборудования, элементы управления, сигнализация, журналы событий. Конечно это не универсальная SCADA для систем с большим количеством контроллеров, но для небольших учебных задач появляется воз-

возможность разработки в единой среде прикладного программного обеспечения, как для контроллера, так и для верхнего уровня системы автоматизации.

Для изучения задач программирования АРМ на компьютер верхнего уровня могут быть установлены различные SCADA системы, OPC-сервера, системы моделирования, которые будут взаимодействовать с контроллером станда. Поддержка ПЛК WAGO PFC200 различных протоколов цифрового обмена (MODBUS, МЭК 60870-101/104, МЭК 61850) открывает широкие возможности по их изучению и формированию разнообразных вариантов реализации АСУ ТП. Причём могут быть реализованы варианты обмена как по сети Ethernet, так и по RS-485. В частности, на стенде по RS-485 подключен выносной модуль измерения температуры.

4. Ссылки на обучающие видео

АСУ ТП тепломеханическим оборудованием. Общие сведения.

<https://youtu.be/GTNu0Dvvj8I>

АСУ ТП ТМО 2.1. Датчики и модули УСО

https://youtu.be/RkyGAVn_q34 (начало)

<https://youtu.be/Te7Vgzx2NOc> продолжение)

АСУ ТП ТМО 3. Управление исполнительными устройствами.

<https://youtu.be/EahvQ3RRZKY>

АСУ ТП ТМО 4. Учебный стенд.

<https://youtu.be/cxZVa-jifhA>

Программное обеспечение - первый проект в CoDeSys

https://youtu.be/48Znru6z_tA (начало)

<https://youtu.be/3nPbRJVu1JE> (окончание)

Автоматическое включение оборудования

<https://youtu.be/ZZYe9x8x5Ks> (начало)

<https://youtu.be/UnTrTr3Uxwk> (окончание)

Дополнительно

Учебные видеоролики по работе в САПР ТАИ.

Начало проекта, перечень параметров, спецификация

<https://youtu.be/oB4HTjXtZxw>

Схемы кабельных и трубных соединений

https://youtu.be/VgXmOysEG_E

Исполнительные устройства

<https://youtu.be/nhkImXUVP7w> (начало)

<https://youtu.be/fSOKV1eN43w> (продолжение)

Схемы автоматизации

<https://youtu.be/yu8WpDhzfmY>

Конфигурирование ПТК

<https://youtu.be/uRVUNuItI6o>