

**Е. П. Дятлова
И. В. Бондаренкова**

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
И АВТОМАТИЗАЦИИ ХИМИКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2025**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»**
Высшая школа технологии и энергетики

Е. П. Дятлова
И. В. Бондаренкова

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
И АВТОМАТИЗАЦИИ ХИМИКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург
2025

УДК 62-5(075)
ББК 32.965я7
Д 998

Рецензенты:

кандидат технических наук, заведующий кафедрой информационно-измерительных технологий и систем управления Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

В. И. Сидельников;

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации процессов химической промышленности Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета)

Л. А. Русинов

Дятлова, Е. П.

Д 998 Системы управления и автоматизации химико-технологических процессов: учеб. пособие / Е. П. Дятлова, И. В. Бондаренкова. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2025. — 65 с.

ISBN 978-5-91646-448-1

Учебное пособие соответствует программам и учебным планам дисциплины «Системы управления и автоматизации химико-технологических процессов» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» всех форм обучения.

Пособие содержит информацию об основных понятиях в области автоматизации технологических процессов, принципах построения АСУ ТП. Приведенные в пособии сведения базируются на теоретических основах построения АСУ ТП, заложенных в 70-80-е годы XX века с учетом современного уровня развития автоматизации.

Пособие может быть полезно студентам всех направлений подготовки для изучения разделов дисциплин, связанных с автоматизацией технологических процессов.

УДК 62-5(075)
ББК 32.965я7

ISBN 978-5-91646-448-1

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2025

© Дятлова Е. П., Бондаренкова И. В., 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
Контрольные вопросы.....	9
2. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	10
Контрольные вопросы.....	17
3. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	18
Контрольные вопросы.....	23
4. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ.....	24
Контрольные вопросы.....	34
5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУ ТП).....	35
Контрольные вопросы.....	42
6. КОМПОНЕНТЫ АСУ ТП.....	43
Контрольные вопросы.....	47
7. СТАДИИ И ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ АСУ ТП.....	48
Контрольные вопросы.....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Таблица условных обозначений измеряемых величин и функциональных признаков приборов.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Примеры построения функциональных схем автоматизации различных технологических процессов.....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Пример заполнения заказной спецификации на приборы и средства автоматизации.....	65

ВВЕДЕНИЕ

Вопросам управления химико-технологическими процессами (ХТП) уделяется особое внимание. Это, в первую очередь, связано с рядом особенностей протекания ХТП: сложность и высокая скорость протекания процесса; агрессивность и токсичность перерабатываемых веществ; высокие (или низкие) температуры; высокая чувствительность ряда процессов к нарушениям технологического режима и т. д.

Необходимо учитывать и такое важное обстоятельство для управления: не все технологические параметры (показатели), которыми необходимо управлять в процессе, доступны непосредственному и непрерывному измерению (например, трудно поддаются измерению показатели состава и качества перерабатываемого сырья, а также показатели состава и качества получаемого продукта).

Невозможность прямых и непрерывных измерений параметров (показателей) процесса, отсутствие мгновенной реакции параметров (показателей) процесса на возмущающие воздействия усложняют систему управления ХТП.

Традиционным направлением автоматизации производственных, технологических и химико-технологических процессов является использование автоматического управления, в основе которого лежит управление отдельными объектами на базе заданных законов регулирования. Однако локальная автоматика не позволяет исключать человека из управления совокупностью технических средств, образующих законченную технологическую цепочку по производству продукции, прежде всего из-за необходимости интеграции всех локальных систем управления в единую систему.

В настоящее время тенденции развития общественного производства все больше усложняют функции человека-оператора. Эти причины, а также широкое применение микропроцессорных технических средств, способствуют широкому развитию и распространению автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Такие системы управления занимают промежуточное положение между традиционной автоматикой и автоматизированными системами управления производством (АСУ П).

Целью учебного пособия является предоставление студентам сведений об основных понятиях в области автоматизации и управления технологическими процессами, современных подходах к разработке АСУ ТП, технических средствах автоматизации.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Технологический процесс (ТП) – это совокупность методов переработки ресурсов в процессе производства полуфабриката или конечного продукта. Для осуществления процесса в аппараты, в которых осуществляется процесс переработки, подается или отводится энергия.

Параметры технологического процесса – физические величины, определяющие ход технологического процесса.

Технологический процесс является частью производственного процесса.

Производственный процесс – совокупность технологических процессов, связанных между собой материальными, энергетическими и информационными потоками и предназначенных для производства конечного продукта из исходного сырья.

Эффективность технологического процесса – это соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Достигнутый результат определяется уровнем качества готовой продукции, а использованные ресурсы – затратами, которые зависят непосредственно от особенностей технологического процесса.

Эффективность любого ТП можно оценить следующими показателями:

- **показатели качества готовой продукции** – характеризуют соответствие продукции нормативной и технической документации и уровень значений этих показателей по сравнению с аналогами (например, соответствие показателей механической прочности бумаги ГОСТу или регламенту);
- **показатели, характеризующие сам технологический процесс** – количественные показатели проведения ТП (например, соответствие выпуска продукции плану, соответствие значений технологических параметров регламенту и т. п.);
- **показатели затрат на изготовление продукции** – экономические показатели, определяемые с учетом энергозатрат; цена продукции, учитывая затраты на эксплуатацию, ремонт и обслуживание продукции (например, соответствие удельного расхода ресурсов нормативному показателю).

Все без исключения ТП подвержены различным нарушениям: полным или частичным отказам оборудования, изменениям количества и качества ресурсов и др. Эти нарушения называют **возмущениями**. Возмущения носят случайный и неконтролируемый характер, что снижает эффективность технологических процессов.

Чтобы компенсировать влияние возмущающих воздействий, технологическим процессом необходимо **управлять**.

Управление – это целенаправленное воздействие на процесс с целью обеспечения оптимальных условий его функционирования.

Регулирование – это частный вид управления, когда задачей управления является обеспечение изменения какого-либо параметра системы по определенному закону.

Технологический процесс или любая его часть, для которой определяют управляющее воздействие, принято называть **объектом управления**.

Технологическое оборудование (аппараты) и реализуемый с его использованием технологический процесс называют **технологическим объектом управления** (ТОУ) [1, 2].

Изменяя подачу сырья или энергии в ТОУ, можно обеспечить оптимальные условия его функционирования. Для оценки состояния ТОУ необходима информация о технологических параметрах и параметрах состояния оборудования.

В процесс управления выделяют следующие этапы:

- получение информации о состоянии ТОУ;
- обработка и анализ полученной информации, на основании чего формируется управляющее воздействие;
- реализация управляющего воздействия на ТОУ.

В зависимости от того, выполняются эти этапы с помощью человека или с помощью специализированных технических средств, различают следующие виды управления.

Если процесс управления на всех этапах выполняется вручную, то это **ручное управление**.

Если процесс управления осуществляется с помощью специализированных технических средств без участия человека, то говорят об **автоматическом управлении**.

В случаях управления сложным ТОУ в процессе принятия управляющих решений необходимо участие человека, функции управления при этом распределяются между человеком – оператором и техническими средствами. Такое управление называют **автоматизированным**.

Для осуществления управления в автоматическом или автоматизированном режиме необходима система управления.

Система управления – управляющее устройство или набор устройств, предназначенных для обеспечения требуемого поведения объекта управления при обработке получаемой информации и учете состояния этого объекта.

На рисунке 1 показана схема системы управления технологическим процессом.

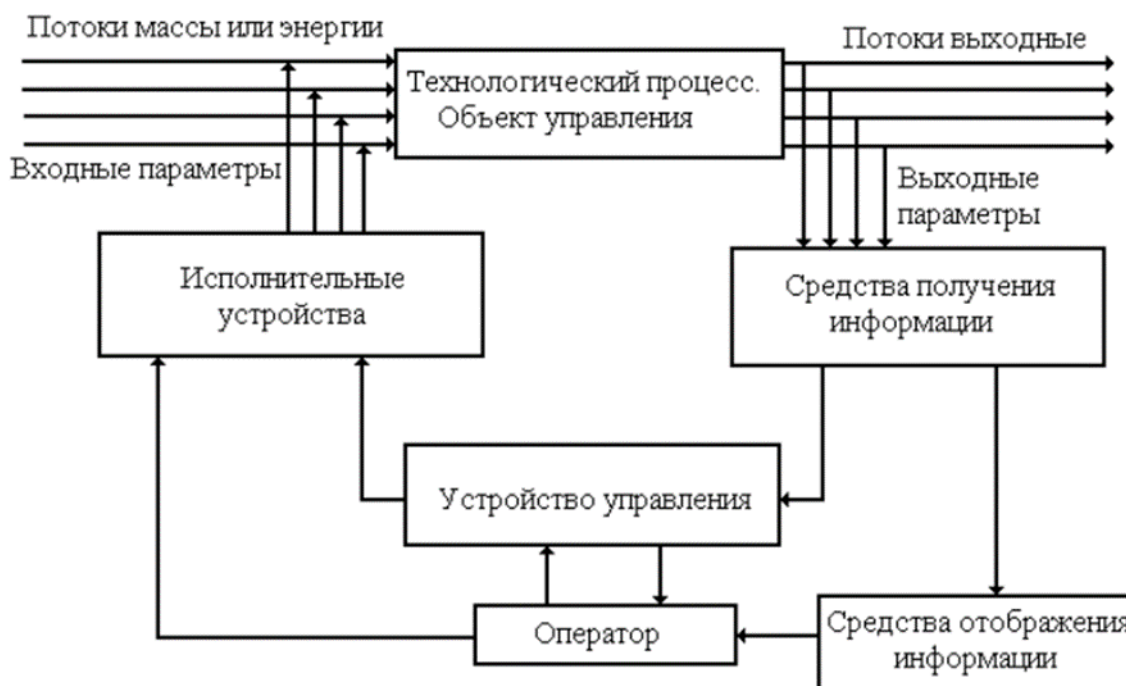


Рисунок 1 – Схема системы управления технологическим процессом

Средства получения информации в удобной для передачи форме передают её на средства отображения информации и в устройство управления.

Устройство управления обрабатывает полученную информацию и с помощью исполнительных устройств изменяет подачу энергии или массы в объект.

Таким образом, можно сказать, что любая система управления включает в себя ТОУ, комплекс технических средств и персонал, участвующий в процессе управления (управляющая часть).

Формирование управляющих воздействий осуществляется в устройстве управления, куда входят технические средства, выполняющие функцию управления [3].

На рисунке 2 изображена структура САУ одномерного объекта управления.

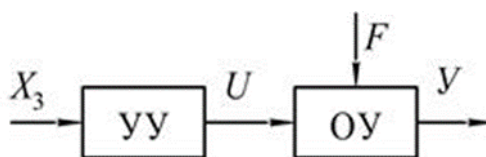


Рисунок 2 – Структура САУ одномерного объекта управления

На рисунке использованы следующие обозначения:

УУ – управляющее устройство;

ОУ – объект управления;

X_3 – задающее воздействие;

U – управляющее воздействие;

F – возмущающее воздействие;

Y – выходная величина.

Возмущающим называется внешнее воздействие, нарушающее заданный закон изменения управляемой величины, например, изменение нагрузки ОУ или изменение внешних условий (температуры, давления, влажности и др.). Характер и состав возмущающих воздействий зависят от вида конкретного ОУ и условий его эксплуатации.

Управляющим называется воздействие, поступающее от УУ к ОУ и обеспечивающее изменение управляемой величины в соответствии с заданием X_3 . Зависимость $U = f(X_3)$, формируемая управляющим устройством, обусловлена свойствами ОУ и требованиями технологического процесса.

Задающим называется внешнее воздействие, определяющее необходимый закон изменения выходной величины Y объекта управления.

Как правило, изменение входных параметров (рисунок 1) вызывает изменение выходных параметров [3].

В целлюлозно-бумажной промышленности все объекты являются объектами однонаправленного действия, в которых вход влияет на выход, но не наоборот.

На рисунке 1 средствами получения информации являются датчики. **Датчики** осуществляют однозначное функциональное преобразование измеряемой величины в сигнал, удобный для регулирования (чаще всего, в электрический сигнал), который удобно передавать, обрабатывать, выводить на дисплей и т. п.

Исполнительные устройства включают в себя исполнительный механизм и регулирующий орган. Они являются конечными звеньями систем автоматического управления, устанавливаются на технологических трубопроводах и предназначены для управления или поддержания в заданных пределах физических параметров сред (температуры, давления, уровня и т. д.) в различных технологических процессах.

Исполнительные механизмы предназначены для воздействия на регулирующий орган объекта автоматизации. В широком смысле, все устройства, включение, перемещение, движение, выключение которых вызывает изменение в технологическом процессе, называются исполнительными механизмами. Исходя из этого определения, исполнительными механизмами можно назвать и двигатели технологического оборудования (насосов, вентиляторов и т. д.). По виду используемой энергии бывают электрические, пневматические и гидравлические исполнительные механизмы.

Исполнительный механизм управляет положением регулирующего органа по сигналу от регулятора.

Регулирующий орган – устройство для управления расходом материальной среды (воздуха, газа, пара, жидкости, суспензии и др.) в агрегатах и трубопроводах изменением площади проходного сечения. В системах автоматизации регулирующую арматуру устанавливают на технологических трубопроводах и воздуховодах.

Регулирующий орган (клапан) состоит из корпуса, запирающего элемента, штока и других деталей, соответствующих данной модели. Устройство регулирующего клапана включает в себя регулирующий орган и, воздействующий на него исполнительный механизм, которые различаются в зависимости от типа изделия.

На рисунке 3 показаны различные положения запирающего элемента (затвора) клапана.



Рисунок 3 – Положения затвора клапана

Изменением количества потока (среды, энергии, подводимой к объекту или отводимой от него) поддерживается заданное значение регулируемой величины.

Контрольные вопросы

1. Что называется технологическим процессом?
2. Какие показатели оценивают эффективность технологического процесса?
3. В чем разница между управлением и регулированием?
4. Перечислите этапы управления.
5. Какие виды управления вы знаете?
6. Что такое система управления?
7. Что называют возмущающим, управляющим, задающим воздействиями?
8. Что входит в состав исполнительного устройства?
9. Чем управляет исполнительный механизм?
10. Что входит в состав регулирующего органа?

2. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Существующие системы автоматического управления можно классифицировать по различным признакам. В данном учебном пособии рассматриваются некоторые из них [4, 5].

1. По алгоритму функционирования системы автоматического управления (регулирования) делятся на:

- *системы стабилизации;*
- *системы программного управления;*
- *следящие системы.*

Системы стабилизации – обеспечивают поддержание регулируемой величины на постоянном заданном значении.

В такого рода системе задающее воздействие не меняется со временем, т. е. $X_3 = \text{const}$, и цель управления – поддерживать постоянное значение управляемой величины Y .

Стабилизирующие системы – самые распространенные в промышленной автоматике. Их применяют для стабилизации различных физических величин, характеризующих состояние технологических объектов.

Пример автоматической системы стабилизации расхода целлюлозы в массный бассейн показан на рисунке 4.

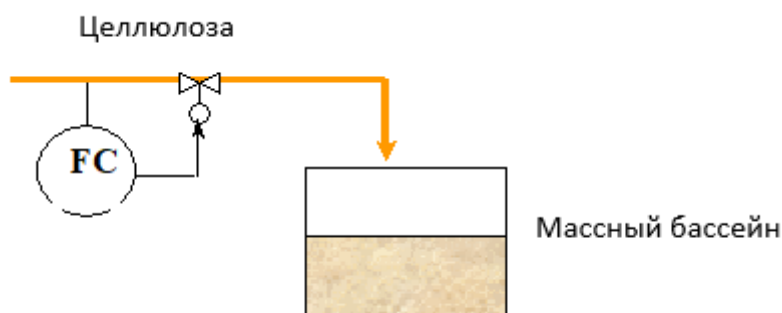


Рисунок 4 – Автоматическая система стабилизации расхода целлюлозы

Расход целлюлозы регулируется изменением степени открытия клапана на трубопроводе подачи целлюлозы в массный бассейн. В данном случае измеритель расхода устанавливается до регулирующего клапана.

Системы программного управления – обеспечивают изменение регулируемой величины во времени по заранее заданной программе.

В системе программного управления задающее воздействие X_3 – заранее известная (заданная) функция времени (программа), цель управления – изменять управляемую переменную Y по заранее заданной программе.

Следящие системы – обеспечивают изменение регулируемой величины в заданном соотношении с управляющим воздействием, которое изменяется произвольным образом, не зависящим от данной системы.

В следящей системе управления управляемый параметр меняют в зависимости от другого параметра, характер изменения которого заранее неизвестен. На рисунке 5 показана схема регулирования температуры варочного щелока, подаваемого в варочный котел.

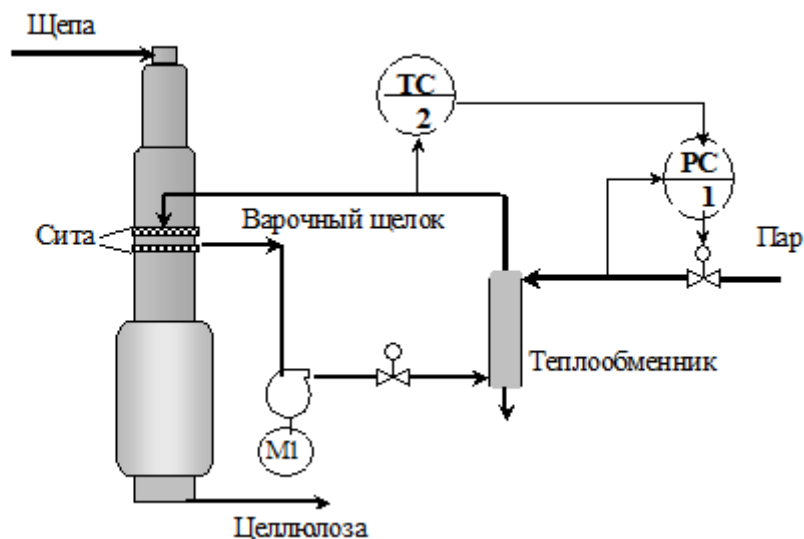


Рисунок 5 – Система регулирования температуры варочного щелока

Задание системе регулирования температуры постоянно, а задание системе регулирования давления меняется и поступает с системы регулирования температуры.

Давление пара меняют с помощью изменения положения регулирующего клапана на трубопроводе подачи пара в теплообменник в зависимости от температуры варочного щелока.

2. По характеристикам элементов, входящих в систему, системы автоматического управления (регулирования) делятся на:

- *линейные системы;*
- *нелинейные системы.*

Линейные системы – это системы, все элементы которых обладают линейными характеристиками. Т. е. динамика всех звеньев описывается линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными или разностными). Для этого необходимо, чтобы статические характеристики всех звеньев системы были линейными, то есть имели вид прямой линии.

В реальности линейные системы встречаются редко, т. к. объекты управления и исполнительные механизмы, как правило, обладают нелинейными характеристиками.

Нелинейные системы – это системы, в составе которых имеется хотя бы один элемент, описываемый нелинейным уравнением.

Однако во многих случаях допустимо линеаризовать нелинейные характеристики и рассматривать систему как линейную.

Пусть x – входной параметр, Y – выходной параметр. В общем случае характеристика $Y = f(x)$ нелинейная. Для линеаризации используют метод касательной, представленный на рисунке 6.

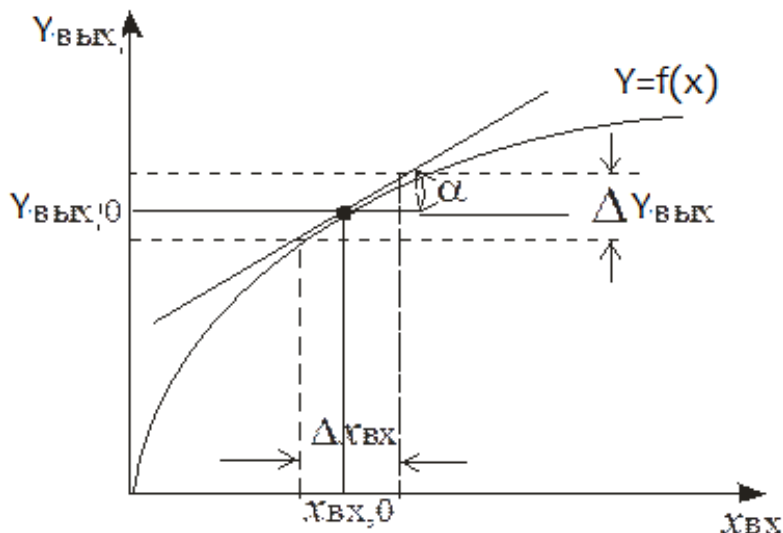


Рисунок 6 – Метод касательной

Метод касательной состоит в том, что в узком диапазоне кривую нелинейной характеристики $Y = f(x)$ заменяют прямой, касательной в окрестности точки $(Y_{\text{вых}}, 0; x_{\text{вх}}, 0)$.

3. По виду преобразования сигналов системы автоматического управления (регулирования) делятся на:

- аналоговые (непрерывные) системы;
- дискретные (цифровые) системы.

Аналоговая система – система, состоящая только из элементов непрерывного действия, т. е. элементов, выходной сигнал которых изменяется плавно (непрерывно) по амплитуде и во времени при плавном изменении входного сигнала.

Дискретная система – это система, содержащая хотя бы один элемент дискретного действия. Элементом дискретного действия называется такой элемент, выходной сигнал которого изменяется дискретно, т. е. имеет вид отдельных импульсов даже при плавном изменении входного сигнала.

На рисунке 7 показаны сигналы аналоговой и дискретной систем управления.

На практике все САУ являются дискретными (цифровыми) системами, т. к. реализуются с помощью средств вычислительной техники.

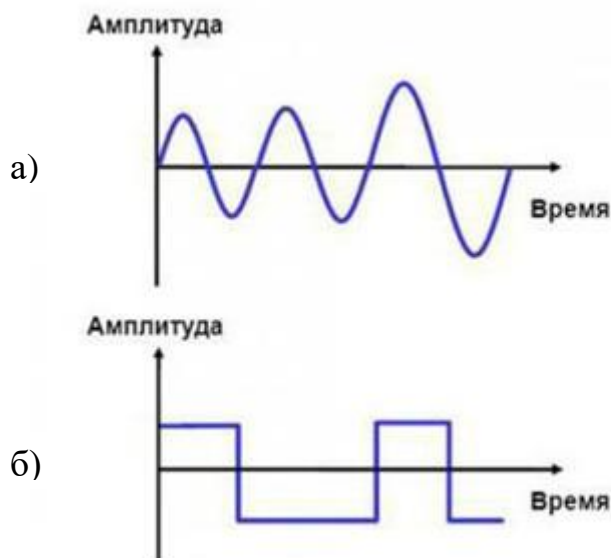


Рисунок 7 – Сигналы аналоговой (а) и дискретной (б) систем управления

В дискретных системах имеет место квантование сигналов.

Квантование – это разбиение диапазона значений непрерывной величины на конечное число интервалов по времени и по уровню.

Во время прохождения аналогового сигнала через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) происходит два процесса: дискретизация во времени и квантование по уровню (квантование значений амплитуды). Дискретизация сигнала во времени заключается в измерении значений амплитуды аналогового сигнала через определённые промежутки времени, называемые шагом дискретизации. Чем выбранный шаг меньше, тем соответственно, чаще измеряются значения амплитуды. Преобразование тем точнее, чем чаще производится измерение, короче временные интервалы.

На рисунках 8 и 9 представлены виды квантования сигнала.

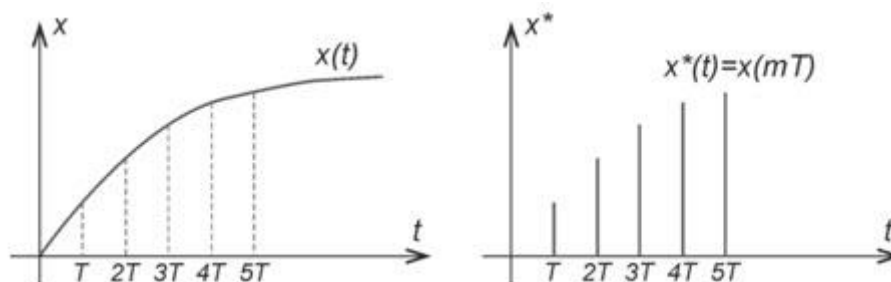


Рисунок 8 – Квантование сигнала по времени

Квантованный сигнал содержит отдельные значения (дискреты) квантуемого сигнала, которые выделяются в фиксированные моменты времени.

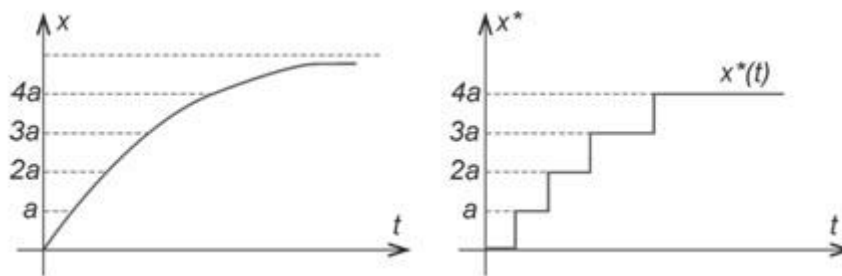


Рисунок 9 – Квантование сигнала по уровню

В моменты достижения квантуемым сигналом некоторых фиксированных уровней, квантованному сигналу присваивается значение достигнутого уровня, и это значение квантованного сигнала сохраняется до момента достижения квантуемым сигналом следующего уровня.

4. По принципу управления системы автоматического управления (регулирования) делятся на:

- САУ по возмущению или САУ с разомкнутым контуром управления;
- САУ по отклонению или САУ с замкнутым контуром управления (системы управления с отрицательной обратной связью);
- комбинированные САУ.

САУ по возмущению. Управление по возмущению – это принцип автоматического управления, основанный на компенсации возмущений. При этом управляющее воздействие на объект формируется в зависимости от величины задающего воздействия $x_z(t)$ и одного или нескольких внешних воздействий $f(t)$ на объект управления.

В разомкнутой САУ не осуществляется контроль управляемой величины, т. е. входными воздействиями ее управляющего устройства являются только внешние (задающее и возмущающее) воздействия.

САУ по отклонению. Управление по отклонению – это принцип построения системы автоматического управления, при котором регулятор вырабатывает управляющее воздействие на устранение возникших ошибок.

В замкнутых системах появляется возможность оценить текущее состояние объекта управления и его отклонение от желаемого состояния (их еще называют системами с отрицательной обратной связью).

Обратная связь – это такая связь, при которой информация о состоянии управляемого объекта передается с выхода системы на вход управляющего устройства. Эти системы могут обеспечить принципиально неограниченную точность управления и представляют собой основной тип САУ. В замкнутой системе контролируется непосредственно управляемая величина $x(t)$ и тем самым при выработке управляющего воздействия $u(t)$ учитывается действие всех возмущений, влияющих на управляемую величину. В этом заключается преимущество замкнутых систем.

Комбинированные САУ – это объединение в одну систему замкнутой системы по отклонению и разомкнутой системы по внешнему (задающему или возмущающему) воздействию.

В использующих такой принцип управления САУ принцип управления по отклонению реализуется с помощью обратной связи, а принцип управления по возмущению – с помощью компенсирующих связей т. е. имеются две цепи воздействий: по заданию и по возмущению.

На рисунке 10 показаны структурные схемы систем автоматического управления по возмущению (а и б), отклонению (в) и комбинированной (г).

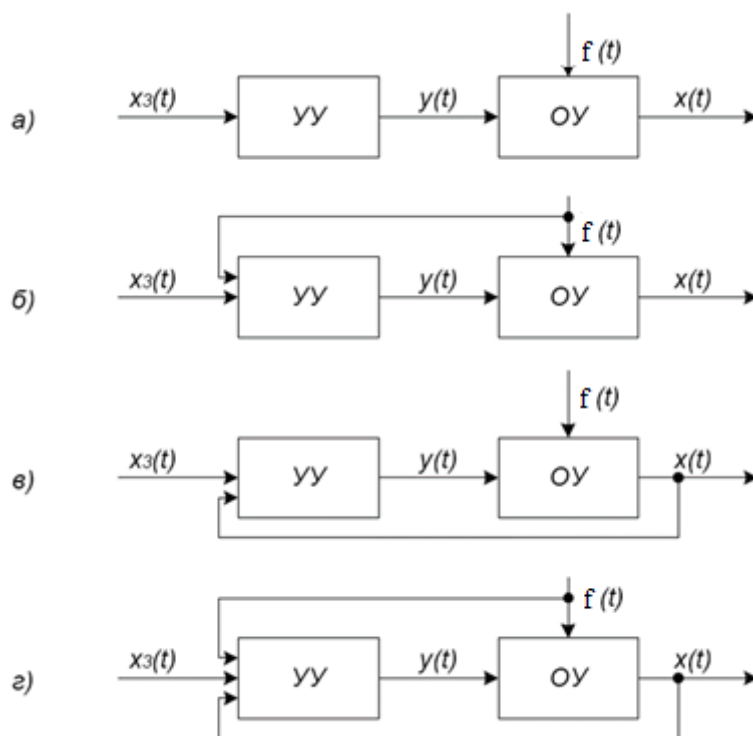


Рисунок 10 – Структурные схемы САУ с разомкнутой (а, б), замкнутой (в) и комбинированной (г) цепями воздействий

5. По принципу действия системы автоматического управления (регулирования) делятся на:

- разомкнутые системы;
- замкнутые системы.

Разомкнутая система управления (система с разомкнутым контуром управления) – система автоматического управления, в которой либо управляющие воздействия вырабатываются по жёсткой программе, без использования какой-либо информации о текущем состоянии объекта управления, т. е. без контрольных воздействий, либо измеряются и компенсируются главные из возмущающих воздействий (рисунок 11).

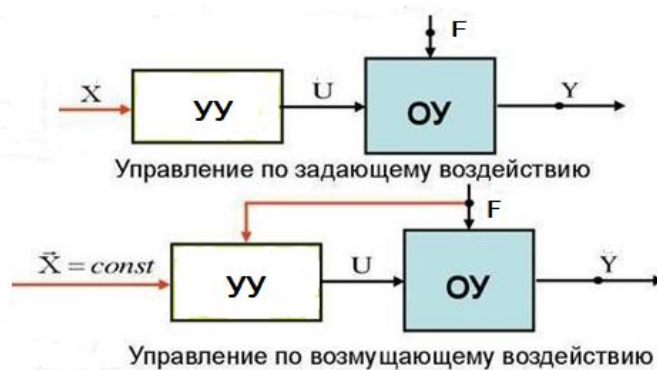


Рисунок 11 – Примеры разомкнутых систем автоматического управления

В разомкнутых системах автоматического управления выходная величина объекта Y не измеряется, т. е. отсутствует обратная связь.

Замкнутая система управления – система управления с замкнутым (посредством обратной связи) контуром передачи воздействий (рисунок 12). Является одним из основных типов систем автоматического управления. Управляющие воздействия в замкнутых системах управления вырабатываются в функции отклонения значения управляемой величины от требуемого закона ее изменения.

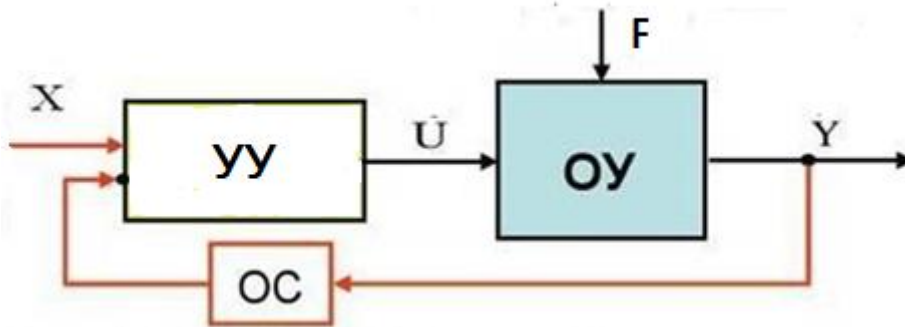


Рисунок 12 – Пример замкнутой системы автоматического управления

На рисунке 12 на вход управляющего устройства подается задающее воздействие X и выходная величина объекта Y . В таких САУ управляющее устройство стремится ликвидировать все отклонения Y от его значения, определяемого заданием F , независимо от причин, вызвавших эти отклонения, включая любые возмущения, внешние и внутренние помехи, а также изменения параметров системы.

Контрольные вопросы

1. Какие признаки классификации САУ вы знаете?
2. Что такое система стабилизации? Приведите пример.
3. Что такое система программного управления? Приведите пример.
4. Что такое следящая система? Приведите пример.
5. Дайте классификацию САУ по характеристикам элементов, входящих в систему.
6. Дайте классификацию систем по виду преобразования сигналов.
7. Что такое квантование сигнала?
8. Классификация САУ по принципу управления.
9. Что такое обратная связь?
10. Классификация систем по принципу действия. Приведите примеры разомкнутой и замкнутой систем.

3. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Структура системы – это способ организации элементов в систему с помощью установления между ними взаимосвязей. Структура систем автоматического управления характеризует внутреннее строение системы и описывает устойчивые связи между её элементами.

Существуют следующие виды структур систем автоматического управления [5, 6]:

Функциональная. Элементы – функции, задачи, операции; связи – информационные потоки.

Техническая. Элементы – технические устройства; связи – линии связи устройств.

Алгоритмическая. Элементы – алгоритмы функционирования; связи – информационные потоки.

Программная. Элементы – программные модули; связи – информационные потоки и управляющие воздействия.

Информационная. Элементы – формы существования и представления информации в системе; связи – операции преобразования информации в системе.

В практических целях чаще всего используют техническую, функциональную и алгоритмическую структуры САУ.

Технической структурой называется структура, элементами которой являются технические средства, реализующие функции управления, а связи между ними определяют прохождение сигнала в системе управления. На рисунке 13 представлена техническая структура системы автоматического управления.

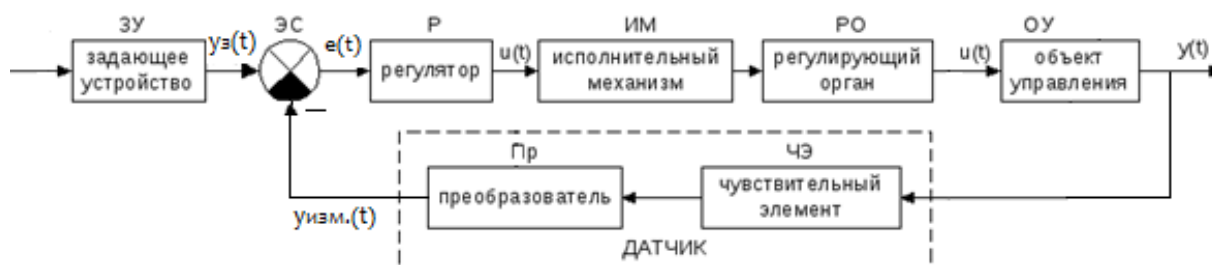


Рисунок 13 – Техническая структура САУ

На рисунке 13 использованы следующие обозначения:

$Y_3(t)$ – задающее значение регулируемой величины $Y(t)$;

$e(t)$ – ошибка регулирования, равная разнице: $e(t) = Y_3(t) - Y_{изм.}(t)$;

$U(t)$ – управляющее воздействие;

$Y(t)$ – выходная величина;

$Y_{изм.}(t)$ – измеренное значение выходной величины (параметра).

ЗУ – задающее устройство, которое устанавливает заданное значение $Y_3(t)$ регулируемой величины $Y(t)$, которое регулятор должен поддерживать.

ЭС – элемент сравнения. Устройство в котором сравнивается заданное значение регулируемой величины $Y_3(t)$ с измеренным значением регулируемой

величины $Y_{изм.}(t)$. В нем выявляется разность этих сигналов, представляющая ошибку управления $e(t)$.

Р – регулятор или управляющее устройство, которое следит за работой объекта управления и по определенному закону вырабатывает для него управляющие (регулирующие) сигналы $U(t)$, используя ошибку управления $e(t)$. Очевидно, что выходной сигнал $U(t)$ является функцией как задающего сигнала $Y_з(t)$, так и своего собственного значения $Y_{изм.}(t)$.

ИМ – исполнительный механизм. Устройство в системе автоматического управления (регулирования), осуществляющее механическое перемещение регулирующего органа.

РО – регулирующий орган. Устройство, которое осуществляет непосредственное воздействие на объект управления путём изменения количества вещества или энергии.

ОУ – объект управления. Устройство, физический процесс либо совокупность процессов, которыми необходимо управлять для получения требуемого результата.

Датчик состоит из чувствительного элемента (**ЧЭ**), который взаимодействует непосредственно с исследуемым объектом и преобразователя (**Пр**), в котором измеряемый сигнал преобразуется в сигнал другой формы, удобной для дальнейшей передачи, преобразования, обработки и хранения, а также передачи в показывающее устройство. В российских рамках стандартизации датчик является средством измерений. В дальнейших схемах будет использовано понятие датчик.

Первая составляющая выходного сигнала формируется по прямому каналу управления, а вторая – по каналу с обратным направлением передачи информации, называемым каналом обратной связи или просто обратной связью. Так как такая связь обеспечивается элементом сравнения, вычисляющим разность сигналов задания и обратной связи, то такой вид обратной связи называется отрицательной.

Отрицательная обратная связь – тип связи, при которой выходной сигнал системы передается обратно на вход для погашения части входного сигнала.

Функциональной называют структуру, элементами которой являются функции, выполняемые системой, а связи между элементами определяют порядок (последовательность) выполнения функций. На рисунке 14 изображена функциональная структура САУ.



Рисунок 14 – Функциональная структура САУ

Алгоритмической называют структуру, элементами которой являются алгоритмы, реализующие функции управления, а связи между элементами определяют последовательность выполнения алгоритмов. На рисунке 15 изображена алгоритмическая структура САУ.

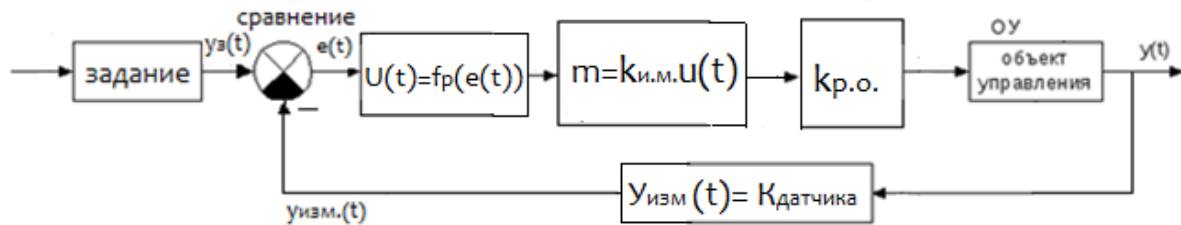


Рисунок 15 – Алгоритмическая структура САУ

Современные системы автоматического управления строятся с использованием вычислительной техники (контроллеров). Вид такой системы автоматического управления показан на рисунке 16.

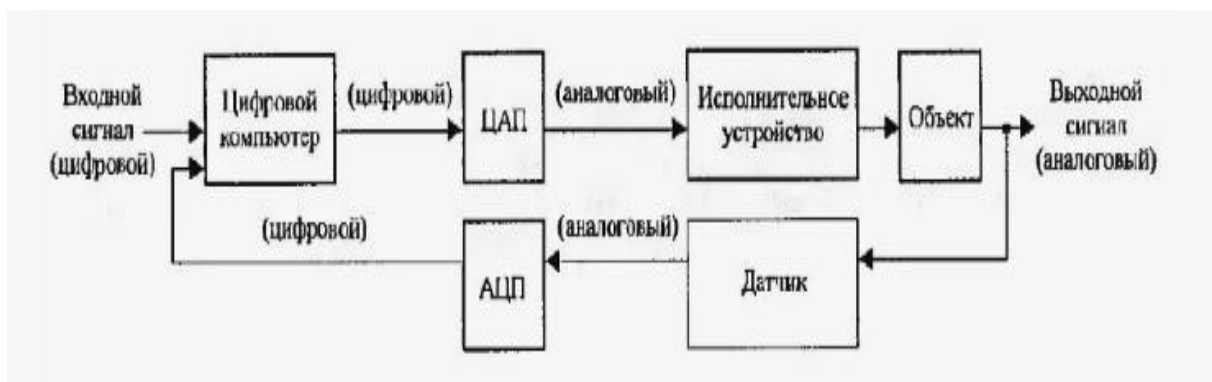


Рисунок 16 – Схема цифровой САУ

Регулирующее воздействие в системе формируется по выбранному закону регулированию. Закон регулирования является основной характеристикой регулятора, определяющей способ формирования регулирующего воздействия. Выбор закона регулирования производится в зависимости от свойств объекта, условий его работы и требуемых показателей качества. Закон регулирования регулятора (контроллера) определяет характер перемещения затвора регулирующего органа в новое положение [6].

В системах автоматического регулирования могут использоваться различные законы регулирования. Типовые линейные законы регулирования представлены на рисунке 17.

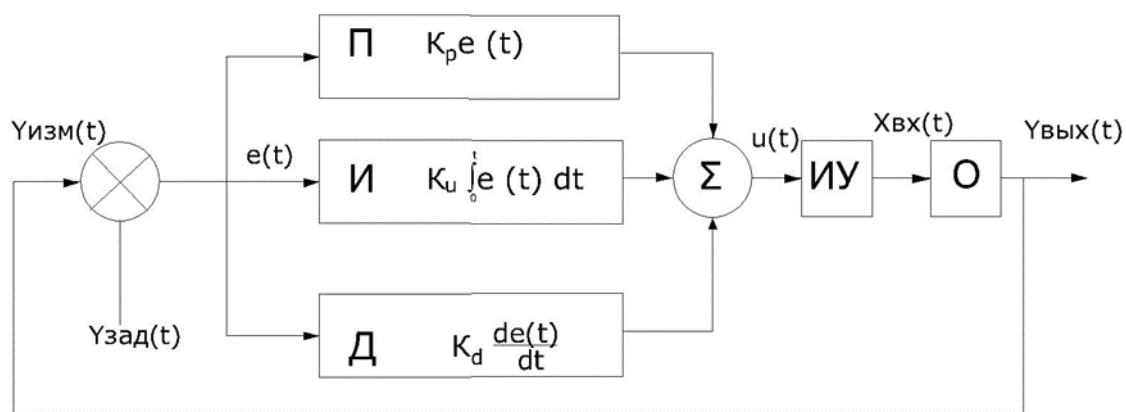


Рисунок 17 – Типовые линейные законы регулирования

П-регулятор (Пропорциональный регулятор). Это регулятор, у которого управляющее воздействие пропорционально ошибке, т. е. где K_p – коэффициент передачи (коэффициент усиления).

Регуляторы, действующие по П-закону, просты по устройству и при эксплуатации надежны. Однако их характеризуют малое перестановочное усилие на регулирующем органе, низкая точность поддержания заданного параметра. Параметром настройки регулятора является коэффициент передачи K_p .

Достоинство такого регулирования – регулирующий орган быстро перемещается на новое положение, т. е. высокая скорость регулирования.

Поэтому П-регуляторы применяются там, где нет строгого требования к точности регулирования.

И-регулятор (Интегральный регулятор). Управляющее воздействие, формируемое интегральным регулятором, пропорционально интегралу по времени от ошибки регулирования. Как бы ни было мало отклонение регулируемой величины от заданного значения, интегральный регулятор будет продолжать перемещать регулирующий орган вплоть до необходимого положения. Достоинство: отсутствие остаточного отклонения регулируемого параметра от заданного значения. Недостаток: низкая скорость регулирования, т. е. затвор в новое положение перемещается медленно.

ПИ-регулятор (Пропорционально-Интегральный регулятор). Это параллельное соединение П- и И-регуляторов. ПИ-регулятор сочетает положительные моменты П- и И-регуляторов. У ПИ-регулятора регулирующее воздействие перемещает затвор пропорционально отклонению параметра и интегралу отклонения.

ПИ-закон регулирования *самый распространенный тип регулятора*, обеспечивающий высокую точность регулирования. Переходный процесс в теории систем представляет выходной процесс на выходе звена на приложенное на вход звена скачкообразного возмущающего воздействия. Переходной процесс в САУ с ПИ-регулятором при изменении задающего воздействия может иметь, в зависимости от настроек регулятора следующий вид (рисунок 18).

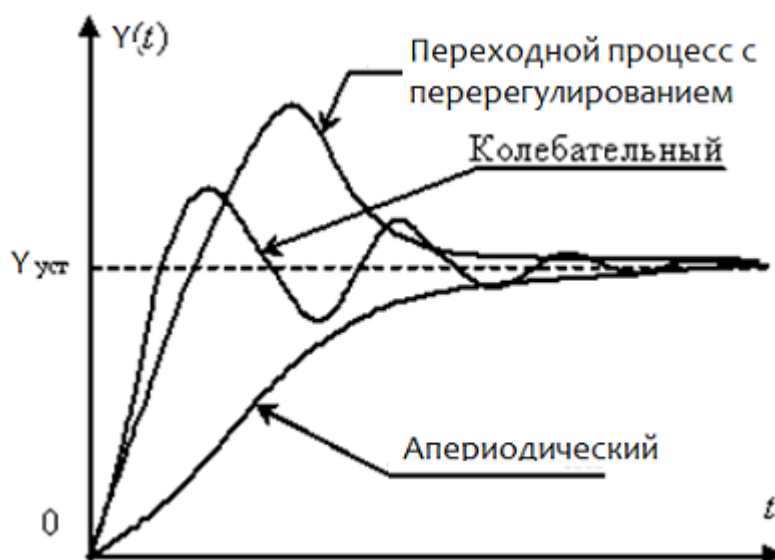


Рисунок 18 – Виды переходных процессов в САУ

Д-регулятор (Дифференциальный регулятор). Дифференциальный закон регулирования – это процесс регулирования, при котором регулирующее воздействие (выходной сигнал регулятора) пропорционально скорости изменения отклонения регулируемой переменной от заданного значения. При этом, выходной сигнал регулятора мгновенно заставляет регулирующий орган изменить свое положение на большую величину, чем это было бы только с пропорциональным регулированием.

Как и в случае интегрального регулирования, дифференциальное регулирование не существует непосредственно само по себе: оно всегда объединяется с пропорциональным регулированием.

ПИД-регулятор (Пропорционально-Интегрально-Дифференциальный регулятор). ПИД-алгоритм регулирует некоторую изменяющуюся во времени величину процесса путем вычисления управляющего сигнала, который представляет собой сумму трех составляющих: пропорциональной, интегральной и дифференциальной.

ПИД-регулятор сочетает в себе достоинства всех простейших законов автоматического регулирования:

- высокое быстродействие благодаря наличию пропорциональной составляющей;
- высокую точность благодаря интегральной составляющей;
- малое время переходного процесса благодаря дифференциальной составляющей.

Контрольные вопросы

1. Что называют структурой системы?
2. Какие виды структур вам известны?
3. Как выглядит техническая структура системы автоматического управления?
4. Как выглядит функциональная структура системы автоматического управления?
5. Как выглядит алгоритмическая структура системы автоматического управления?
6. Что такое закон регулирования?
7. Перечислите виды законов регулирования? Приведите примеры.
8. П-, И-, Д-, ПИ-законы регулирования. Достоинства, недостатки.
9. ПИД-закон регулирования. Достоинства, недостатки.
10. Виды переходных процессов в системе автоматического управления.

4. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ

Функциональная схема автоматизации (ФСА) является одним из основных проектных документов, определяющих функциональную структуру и объем автоматизации технологических установок и промышленных процессов.

При проектировании системы управления все технические решения по автоматизации агрегатов или отдельных участков технологического процесса отображаются на функциональной схеме автоматизации [7].

ФСА представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены: технологическое оборудование, коммуникации, средства управления и средства автоматизации с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики.

Функциональные схемы автоматизации могут разрабатываться в большей или меньшей степени детализации, но объем информации должен быть достаточен для полного представления о принятых решениях по автоматизации и составления заявочных ведомостей (спецификаций) основных средств автоматизации.

Вопрос, какие параметры технологического процесса требуется стабилизировать, возникает нечасто.

Требования к параметрам процесса содержатся в технологических регламентах, имеются многочисленные литературные данные о существующих системах управления.

При разработки ФСА выбор канала управления осуществляется из технологических соображений. Основное требование к управляющему воздействию: его изменения должны приводить к изменению управляемого параметра.

Если выбор канала управления не однозначен, имеется несколько возможных вариантов, то руководствуются следующими соображениями:

- 1) канал управления должен вносить минимальные возмущения на предшествующую и последующую стадии технологического процесса.
- 2) канал управления должен обладать достаточной мощностью, чтобы в стабильном режиме работы компенсировать все возмущения;
- 3) канал управления должен обладать наименьшей инерционностью, чтобы компенсировать динамические возмущения;
- 4) возможно одновременное использование нескольких каналов управления.

Пример использования нескольких каналов регулирования показан на рисунке 19.

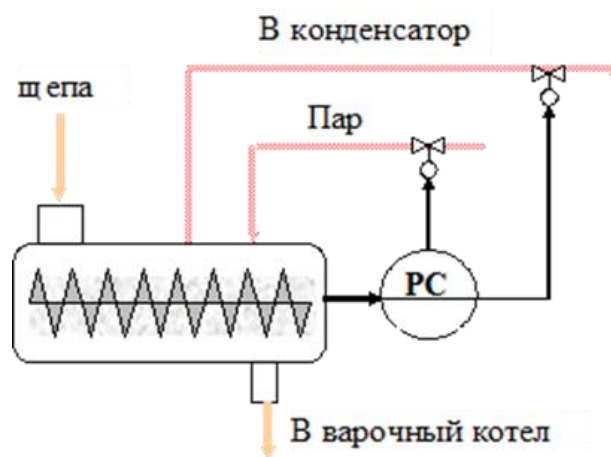


Рисунок 19 – Система регулирования давления пара в пропарочной камере щепы

Давление в пропарочной камере целесообразно регулировать изменением расхода подаваемого пара. Но при уменьшении расхода пара инерционность канала существенно выше, чем при его увеличении. Поэтому с целью повышения качества системы регулирования используют дополнительно второй канал: изменяют расход удаляемой пароконденсатной смеси.

На схемах показывают места установки отборных устройств, первичных приборов, регулирующие органы, исполнительные механизмы и условные графические изображения, в верхней части которых располагаются буквенные обозначения функций контроля и регулирования параметра, а в нижней части – номер системы контроля или регулирования. На этих схемах не показывают щиты контроля, операторские пункты и компьютеры.

На технологических трубопроводах обычно показывают ту регулировочную и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле управления процессом, а также запорные и регулирующие органы, необходимые для определения относительного расположения мест отбора импульсов или поясняющие необходимость измерений.

Для повышения надежности системы управления предусматривается возможность как автоматического ведения технологического процесса, так и ручного, дистанционного управления и переключения режимов управления.

Сигнализации подлежат все параметры, изменение которых может привести к аварии или серьезному нарушению технологического режима, наиболее ответственные режимные параметры. Сигнализация подразделяется на предупредительную и аварийную, световую и звуковую.

Схему необходимо проработать с такой степенью детализации, которая дает не только полное представление о принятых решениях по автоматизации, но и обеспечивает составление заказных спецификаций на все необходимые приборы и средства автоматизации.

В мировой практике проектирования наиболее распространен упрощенный способ выполнения ФСА, когда в одном условном графическом обозначении (обычно окружность диаметром 10 миллиметров) в верхней части

отображают все функции контроля и управления относительно измеряемого параметра.

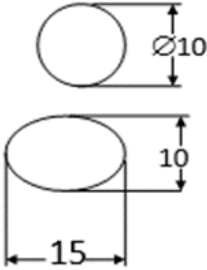
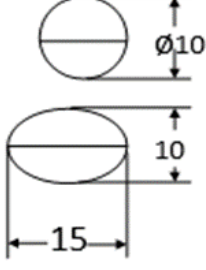
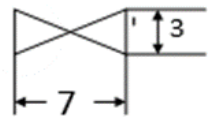
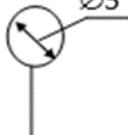
Функции контроля и управления на функциональных схемах автоматизации изображают в соответствии с национальными стандартами той фирмы, для которой разрабатывается функциональная схема.

Все национальные стандарты базируются на международных стандартах международной организации по стандартизации ИСО (ISO – International Organization for Standardization).

Отечественный стандарт ГОСТ 21.208-2013 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» [8] используется для оформления проектной документации. В нем содержатся правила построения и изображения функций контроля и управления на ФСА.

Условные графические изображения технических средств автоматизации (ТСА) на схеме по ГОСТ 21.208-2013 [8] показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Условные графические обозначения ТСА

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь, прибор, устанавливаемый по месту		Средства автоматизации, устанавливаемые дистанционно	
Регулирующий орган		Исполнительный механизм. Общее обозначение	

В Приложении 1 приведены условные обозначения функций контроля и управления, которые в определенном порядке размещаются в графических обозначениях.

Порядок нанесения обозначений функций контроля и управления на схемах показан на рисунке 20.



Рисунок 20 – Порядок нанесения обозначений функций контроля и управления

В случае необходимости в условном обозначении прибора передать объем информации больший, чем закодирован в буквенном обозначении, вписанном в графическое обозначение, ее записывают справа от условного графического обозначения (окружности). Например, рН (прибор для измерения рН), O₂ (газоанализатор на кислород) и т. д. (рисунок 21).

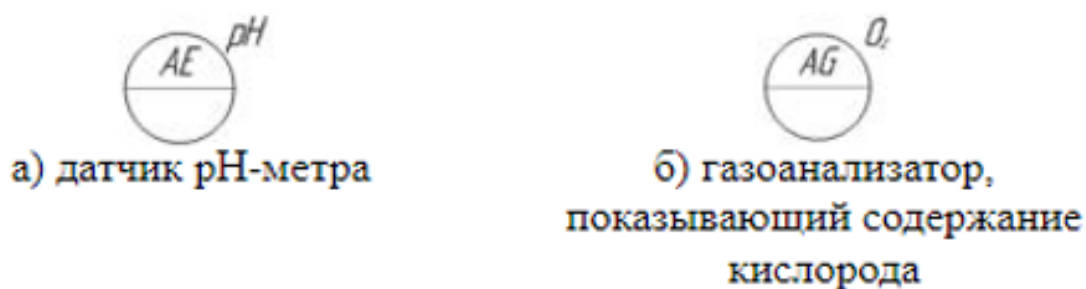


Рисунок 21 – Обозначение устройств для измерения различных величин

Предельные значения измеряемых величин (максимальные и/или минимальные), по которым осуществляется, например, включение, отключение, блокировка, сигнализация допускается конкретизировать добавлением букв **H** (максимальное) и **L** (минимальное). Эти буквы наносят справа от графического обозначения (рисунок 22).

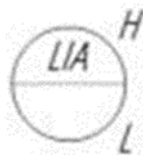


Рисунок 22 – Обозначение предельных значений измерения уровня

Примеры функциональных схем автоматизации для одного параметра разных объектов целлюлозно-бумажного производства показаны ниже. При обозначении функций опущены обозначения: индикация (показание), регистрация и номер системы (позиционное обозначение).

Пример 1. Концентрация регулируется изменением степени открытия клапана на трубопроводе подачи оборотной воды (рисунок 23). Измеритель концентрации устанавливается после смесительного насоса.

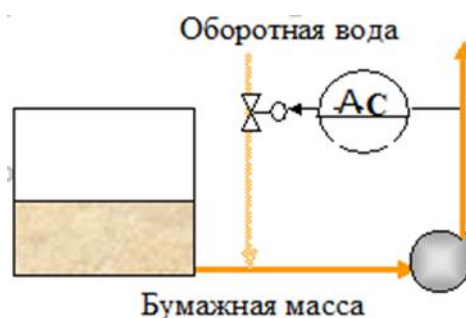


Рисунок 23 – САР концентрации бумажной массы на выходе из массного бассейна

Пример 2. Температура щелока на выходе трубчатого теплообменника регулируется изменением степени открытия клапана на подаче пара в трубчатый теплообменник (рисунок 24).

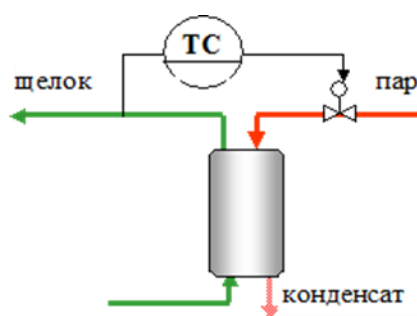


Рисунок 24 – САР температура щелока на выходе трубчатого теплообменника

Пример 3. Давление пара в пропарочной камере щепы целесообразно регулировать изменением расхода подаваемого пара. Но при уменьшении расхода пара инерционность канала существенно выше, чем при его увеличении. Поэтому с целью повышения качества системы регулирования давления пара

используют дополнительно второй канал: изменяют расход удаляемой пароконденсатной смеси в конденсатор (рисунок 25).

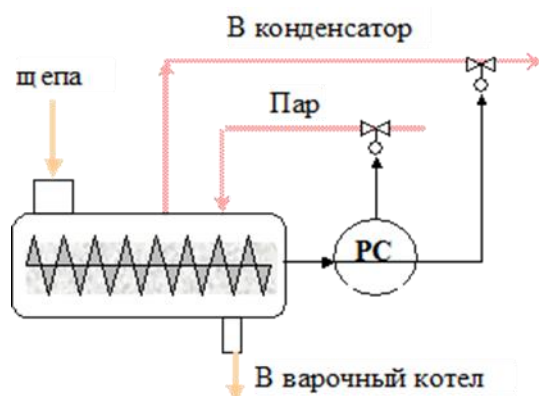


Рисунок 25 – САР давления пара в пропарочной камере щепы

Пример 4. Если регулировать уровень массы в ванне вакуум-фильтра с помощью изменения расхода целлюлозы на входе в вакуум-фильтра (поз. LC-2 на рисунке 26), то будет изменяться концентрация массы в фильтре и соответственно условия формирования папки на барабане фильтра. Поэтому уровень следует регулировать изменением скорости вращения барабана (поз. LC-1).

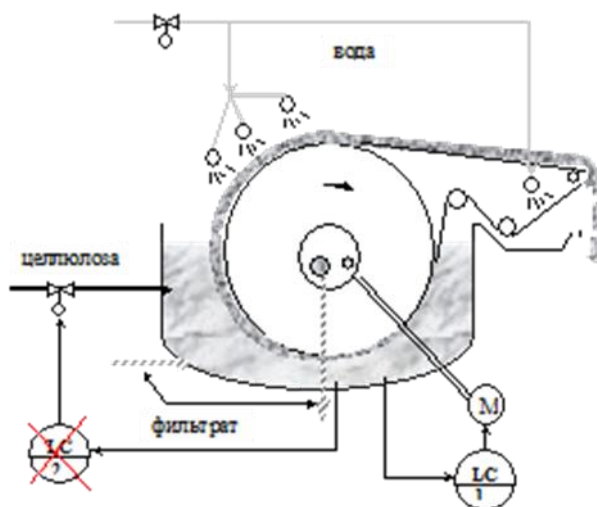


Рисунок 26 – САР уровня массы в вакуум-фильтре

Пример 5. Уровень щепы в варочном котле типа Камюр можно регулировать изменением расхода уходящей целлюлозы (поз. LC-1) или изменением скорости дозатора щепы (поз. LC-2), подающего щепу в пропарочную камеру (рисунок 27). Чтобы не нарушать режим пропарки щепы, уровень в варочном котле регулируют изменением расхода целлюлозы, уходящей в буферный бассейн.

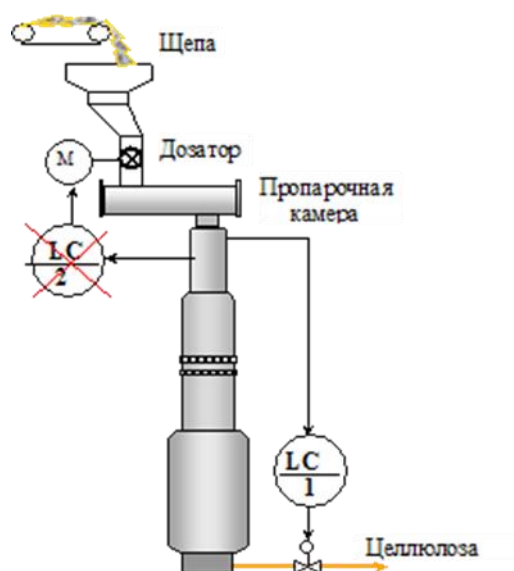


Рисунок 27 – САР уровня щепы в варочном котле типа Камюр

Пример 6. Система регулирования температуры варочного щелока, подаваемого в варочный котел, строится как двухконтурная система (рисунок 28). Внутренний контур содержит регулятор давления пара (поз. РС-1), подаваемого в теплообменник. Внешний контур – регулятор температуры варочного щелока, поступающего в варочный котел (поз. ТС-2), изменяющий задание регулятору давления пара.

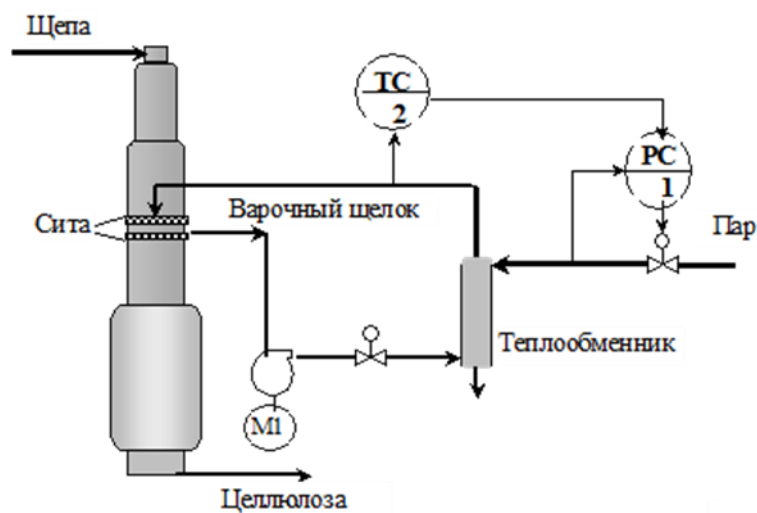


Рисунок 28 – АСР температуры варочного щелока после теплообменника

Пример 7. Если рассмотреть главный паропровод подачи пара на бумагоделательную машину, то функциональная схема автоматизации для системы регулирования давления пара будет выглядеть, как показано на рисунке 29.

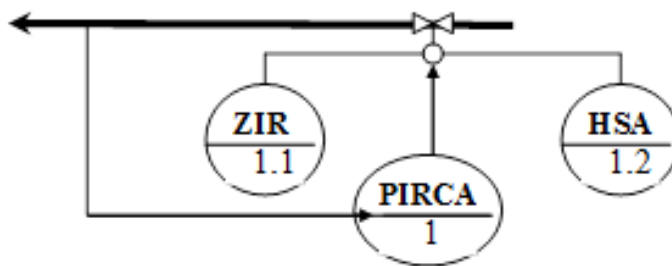


Рисунок 29 – САР давления пара, подаваемого на БДМ

В системе реализуются следующие функции:

- поз. 1 PIRCA – индикация, регистрация, автоматическое регулирование давления пара и сигнализация выхода его за границы технологического регламента;
- поз. 1.1 ZIR – индикация, регистрация на операторской станции положения регулирующего клапана;
- поз. 1.2 HSA – дистанционное управление оператором положения регулирующего клапана и сигнализация режима управления.

Более сложные функциональные схемы автоматизации для самостоятельного изучения студентами приведены в Приложении 2.

На рисунке 30 показана функциональная схема автоматизации процесса приготовления бумажной массы, выполненная по ГОСТ 21.208-2013 [8].

Приготовление композиции бумажной массы осуществляется в композиционном бассейне, где смешиваются два полуфабриката – сульфатная целлюлоза (САЦ) и сульфитная целлюлоза (СИЦ). Потоки полуфабрикатов подаются из накопительных бассейнов лиственной и хвойной целлюлозы.

На схеме показаны контроль и сигнализация уровней в накопительных бассейнах (поз. LIA-1, поз. LIA-6), регулирование концентрации массы после насосов (поз. AIRC-2, поз. AIRC-7).

Контур (поз. LICA-11) стабилизирует уровень массы в композиционном бассейне путем изменения расходов массы, поступающих в бассейн полуфабрикатов.

Регулирование расходов полуфабрикатов (поз. FIRC-3, поз. FIRC-6) осуществляется таким образом, чтобы обеспечить их заданное массовое соотношение в композиции бумажной массы.

Для повышения точности поддержания композиции задание контурам регулирования расходов полуфабрикатов рассчитывается системой (поз. AIRC-12) регулирования.

Кроме функций контроля и регулирования технологических параметров, на схемах показаны функции управления оборудованием: двигателями мешалок в бассейнах (поз. HS-5, HS-10, HS-13) и массовыми насосами (поз. HS-4, HS-9).

Предусмотрена возможность управления оборудованием по месту и дистанционно (поз. HSA-4-1, поз. HS-4-2, поз. HSA-5-1, поз. HS-5, поз. HSA-9-1, поз. HS-9-2, поз. HSA-10-1, поз. HS-10-2 и другие аналогичные позиции).

Для безаварийной работы насосов предусмотрена блокировка (поз. USA- 4, поз. USA-9) по нескольким параметрам – уровню в бассейне *L*, давлению масла в подшипниках насосов *P*, току *I* и температуре обмотки двигателей насосов *T*.

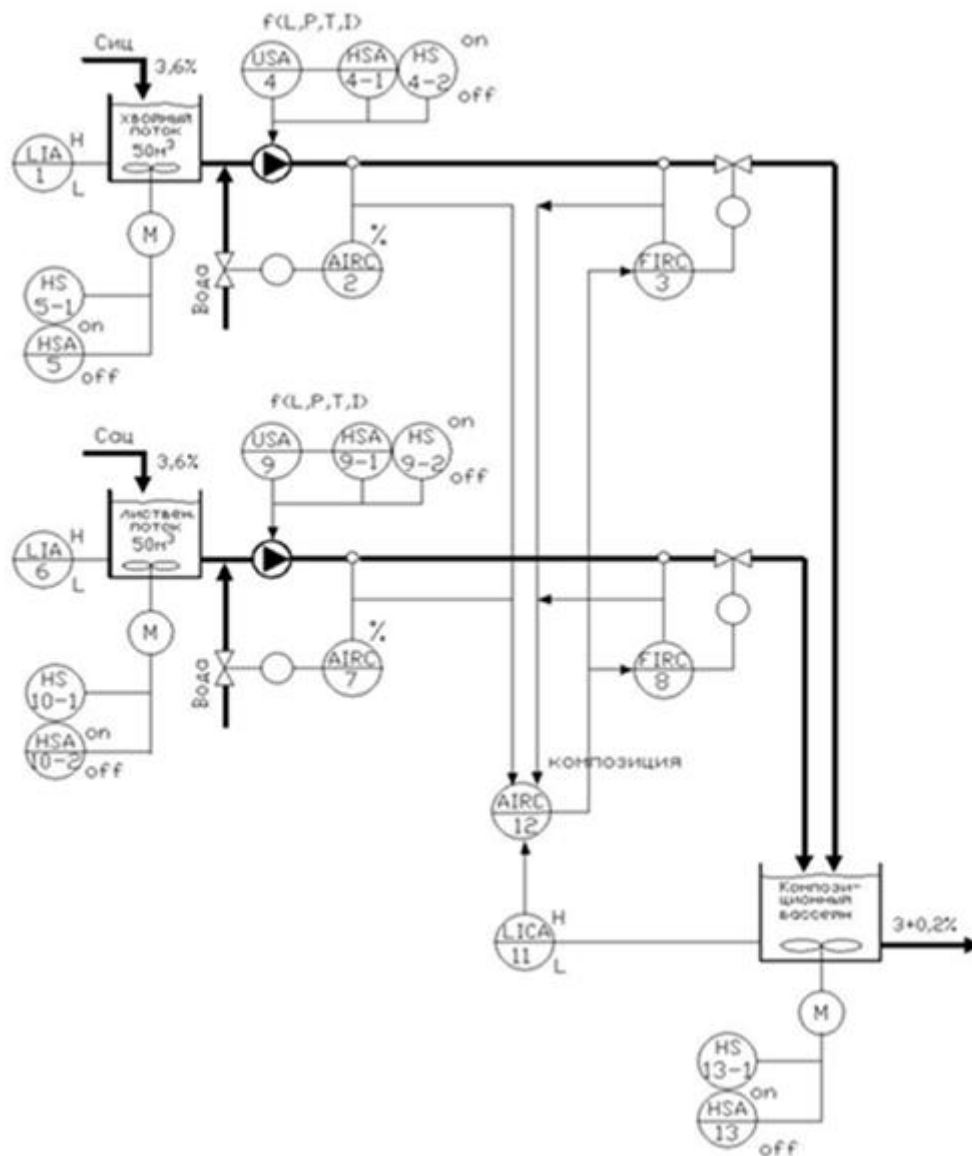


Рисунок 30 – Функциональная схема автоматизации процесса приготовления бумажной массы

Функциональная схема автоматизации сопровождается спецификацией на технические средства контроля и управления. Позиции на ФСА должны соответствовать позициям в спецификации.

Заказная спецификация предназначена для закупки приборов и средств автоматизации, необходимых для реализации решений, принятых при разработке технического проекта и отраженных на функциональной схеме

автоматизации. Спецификация заполняется в соответствии с ГОСТ 21.110-2013 [9]. Вид и размеры спецификации приведены на рисунке 31.

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа	Код оборудования, изделия, материала	Завод-изготовитель	Единица измерения	Количество	Масса, кг	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Дополнительные графы по ГОСТ 21.101

Основная надпись по ГОСТ 21.101

Рисунок 31 – Вид и размеры заказной спецификации

Заказная спецификация состоит из девяти граф.

В первой графе спецификации указывается полное буквенно-цифровое позиционное обозначение функций контроля или регулирования измеряемого параметра согласно функциональной схеме. Затем в этой же графе под данной цифровой позицией перечисляются все элементы в последовательности прохождения сигнала от датчика до исполнительного устройства.

Аппаратура и устройства, поставляемые комплектно с приборами, состав которых определяется условиями технологических процессов, включаются в спецификацию за соответствующими позициями приборов после слов «Комплектно поставляются».

Элементы одного типа с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в одну строку.

Во второй графе приводится наименование технических средств и их характеристики.

Для датчиков указывают наименование и предельное значение параметров измеряемой среды, величину выходного сигнала, погрешность измерения, исполнение по взрывозащите, величину подаваемого питания.

В третьей графе записывают тип и марку используемых технических средств, выбранных по каталогу.

В четвертой графе указывается код оборудования, изделия, материала по Общероссийскому классификатору продукции (ОКП). Если в стандартах, технических условиях, каталогах и др. документах на продукцию (оборудование, изделия, материалы) отсутствует информация по кодам ОКП, то эту графу не заполняют. Как правило, в курсовых проектах не требуется заполнять эту графу.

В пятой и седьмой графах приводятся сведения о заводе-изготовителе и количестве заказываемого оборудования.

В шестой графе указывается наименование единицы измерения.

В восьмую графу заносится масса единицы оборудования в килограммах. Для оборудования и изделий (массой до 25 кг), не требующих при монтаже применения подъемно-транспортных средств, графу допускается не заполнять.

Девятая графа используется для примечаний, если это требуется.

Пример заполнения спецификации приведен в Приложении 3.

Контрольные вопросы

1. Что называют функциональной схемой автоматизации (ФСА)?
2. Как изображают функции контроля и управления на ФСА?
3. В каком отечественном стандарте содержатся правила построения и изображения функций контроля и управления на ФСА?
4. На чем базируются национальные стандарты?
5. Какие условные графические изображения приборов и средств автоматизации используются на ФСА?
6. Каков порядок нанесения обозначений функций контроля и управления в условных графических обозначениях (УГО)?
7. Что обозначает цифра в нижней части УГО?
8. Что обозначает буква, стоящая на первом месте в обозначении функций контроля и управления?
9. Какие буквы обозначают функциональные признаки прибора?
10. Каким образом можно показать на УГО измерение предельных физических величин?

5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУ ТП)

АСУ ТП представляют собой системы управления, качественно отличающиеся от систем автоматического управления (регулирования) (САУ, САР), предназначенных для стабилизации режимов процессов и агрегатов.

Основная цель АСУ ТП – оптимизация работы технологического объекта управления в соответствии с принятым критерием управления путём соответствующего выбора управляющих воздействий [10].

Основная цель САР – отработка задания, обеспечивающего стабилизацию требуемой физической величины или технологического параметра. При этом значение задания считается известным и может быть как постоянным, так и изменяющимся по заранее известному закону.

Главной особенностью АСУ ТП является обязательное периодическое или регулярное участие человека-оператора в принятии решений по управлению объектом.

АСУ ТП – это человеко-машинные системы, в которых функции контроля и управления выполняются средствами вычислительной техники с участием человека – оператора технологического процесса.

Можно выделить следующие *основные функции АСУ ТП* [10]:

- *стабилизация заданных режимов технологического процесса* путём измерения и обработки значений технологических параметров, их визуального представления и выдачи управляющих воздействий в режиме реального времени на исполнительные механизмы;
- *анализ состояния технологического процесса*, выявление предаварийных ситуаций и предотвращение аварий путём переключения технологических узлов в безопасное состояние;
- *обеспечение инженерно-технического персонала предприятия необходимой информацией* с технологического процесса для решения задач контроля, учёта, анализа, планирования и управления производственной деятельностью.

Анализ современных АСУ ТП позволяет выделить *основные особенности* этих систем.

Интегрированность АСУ ТП. Интегрированной называется система, имеющая, как правило, иерархическую структуру, в состав которой входят подсистемы различного функционального назначения.

Эти подсистемы выполняют возложенные на них функции путем взаимного согласования целей и задач и разделения общих ресурсов (информации, машинной памяти, машинного времени, периферийного оборудования). Компьютеризированное интегрированное производство предполагает интеграцию (или объединение) всех структур системы управления, а именно:

- управление снабжением, проектированием и подготовкой производства;
- планирование и изготовление;
- управление производственными участками и цехами;
- управление транспортно-складскими системами;
- управление обеспечением оборудованием, инструментом и оснасткой;
- финансовые подсистемы.

Иерархическая структура АСУ ТП. Иерархическая система строится с выделением нескольких уровней иерархии, при этом к нижним уровням относятся более простые объекты, т. е. элементы технологического процесса, для которых решаются более простые задачи, чем для объектов вышестоящих уровней.

Любую автоматизированную систему управления технологическим процессом можно, в конечном итоге, разделить на три основных уровня иерархии (рисунок 32).

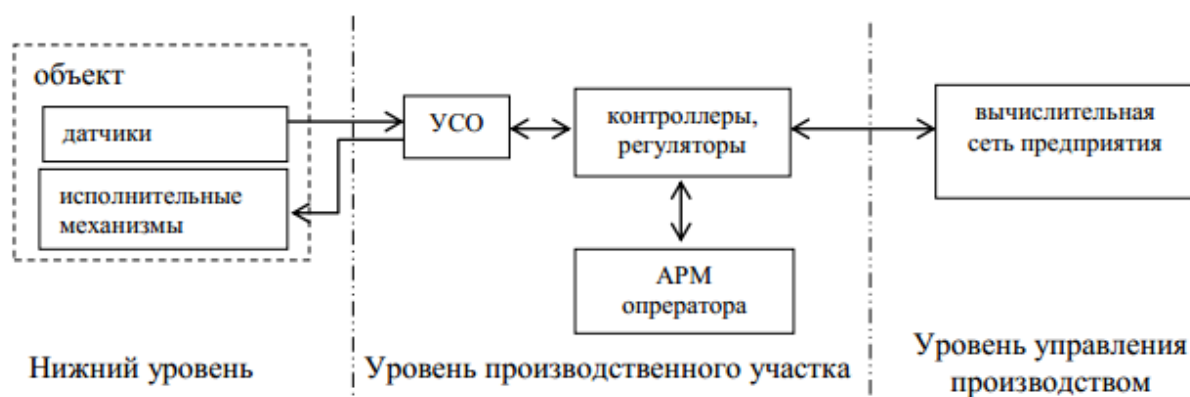


Рисунок 32 – Уровни иерархии АСУ ТП

Самым нижним уровнем является уровень датчиков и исполнительных механизмов, которые устанавливаются непосредственно на технологических объектах. Они необходимы для получения данных о параметрах процесса, преобразовании их в соответствующий вид для дальнейшей передачи на более высокий уровень, а также в приеме управляющих сигналов и в выполнении соответствующих действий (функции исполнительных устройств).

Средний уровень – уровень производственного участка. Его функции: сбор информации, поступающей с нижнего уровня, ее обработка и хранение; выработка управляющих сигналов на основе анализа информации; передача информации о производственном участке на более высокий уровень.

Верхний уровень в системе автоматизации занимает уровень управления. На этом уровне осуществляется контроль за производством продукции. Этот процесс включает в себя сбор поступающих с производственных участков данных, их накопление, обработку и выдачу руководящих директив нижним ступеням.

На верхнем уровне АСУ ТП размещены мощные компьютеры, выполняющие функции серверов баз данных и рабочих станций и обеспечивающие анализ и хранение всей поступившей информации за любой

заданный интервал времени, визуализацию информации и взаимодействие с оператором. Основой программного обеспечения верхнего уровня являются пакеты SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – системы управления и доступа к данным).

Распределенная архитектура АСУ ТП. Распределенными называются системы, построенные на базе локальных вычислительных сетей, в состав которых входят вычислительные комплексы (их называют станции или узлы), выполняющие распределенные между ними функции контроля и управления, а также общие системные функции.

С увеличением территории, на которой расположен управляемый объект (а, следовательно, и АСУ ТП), с ростом числа датчиков получения информации об объекте и усложнением алгоритмов управления становится более эффективным применение распределенных систем.

На рисунке 33 представлена структура многоуровневой распределенной системы управления. Она является иерархической, то есть нижние уровни подчиняются вышестоящим. Она является распределенной, так как состоит из многих компьютеров и программируемых логических контроллеров (ПЛК), между которыми распределены функции сбора, обработки данных и управления.

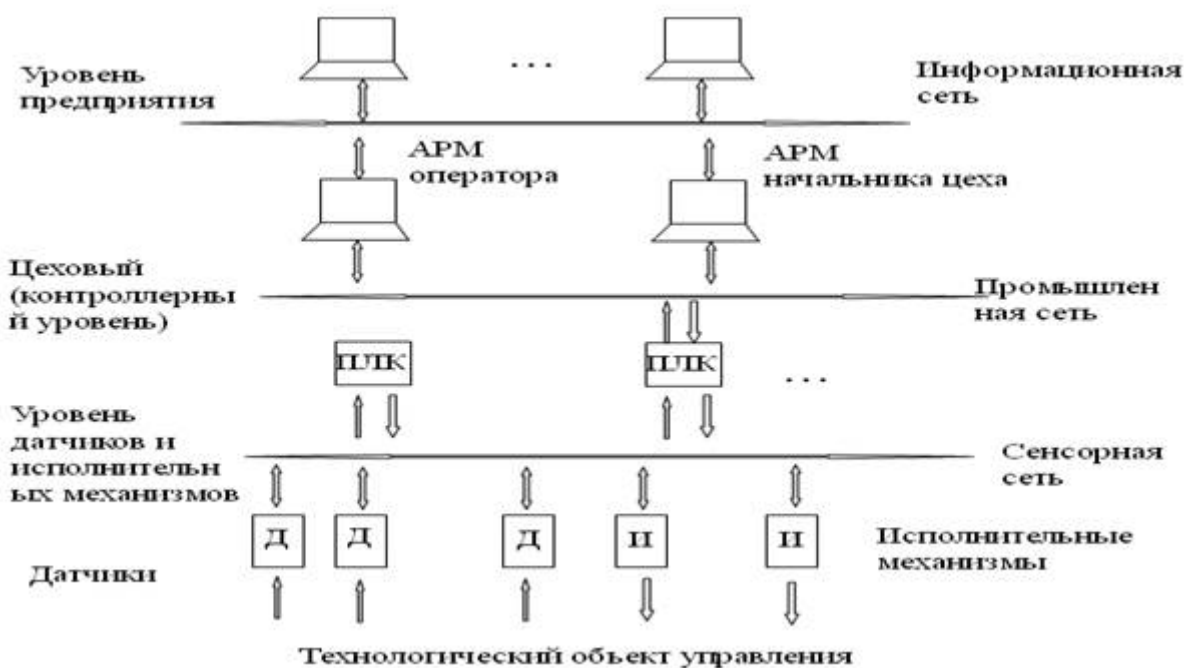


Рисунок 33 – Структура многоуровневой распределенной системы управления технологическим процессом

Модульность АСУ ТП. Это способность аппаратного или программного обеспечения к модификации путём добавления, удаления или замены отдельных модулей (компонентов системы) без воздействия на оставшуюся её часть.

Модули – это либо отдельные устройства, либо отдельные программы, предназначенные для выполнения определенного набора стандартных функций. Модули могут легко соединяться, образуя сложные системы, разъединяться и заменяться с целью получения систем с другими компонентами и

характеристиками. Модульность обеспечивается при проектировании системы на архитектурном уровне.

Модульный принцип обеспечивает высокую ремонтпригодность машин, быструю переналадку, удобство в обслуживании и эксплуатации, возможность свободной замены одного агрегата или узла без необходимости демонтажа других узлов. Применение модульного принципа является общей закономерностью построения сложной системы.

Открытость АСУ ТП. Свойство открытости подразумевает способность АСУ ТП к изменению структуры и выполнению функций при изменении объекта управления или условий окружающей среды. Основой создания открытых систем являются стандартизация и унификация в области информационных технологий.

Простота разработки и конфигурирования АСУ ТП. Для конфигурации АСУ ТП пользователь может не обладать знанием программирования с использованием системного программного обеспечения. Пользователю достаточно знания методов и алгоритмов решения задач управления, и он самостоятельно может конфигурировать АСУ ТП применительно к конкретным решаемым задачам.

Отказоустойчивость АСУ ТП. Высокая отказоустойчивость достигается путем резервирования (как правило, дублирования) аппаратных и программных компонентов системы, использования компонентов повышенной надежности, внедрения развитых средств диагностики, а также за счет технического обслуживания и непрерывного контроля со стороны человека.

Функциональная структура АСУ ТП. Сложность ТОУ в АСУ ТП (технологический процесс, проводимый в отдельном агрегате или в совокупности взаимосвязанных агрегатов; цех или производство в целом и т. п.) определяет большой объем и сложность выполняемых в системе управления функций. Поэтому *функциональную структуру АСУ ТП* принято строить с выделением нескольких уровней иерархий. Чем выше уровень иерархии, тем более сложные задачи решаются на этом уровне.

Как правило, фирмы-разработчики АСУ ТП выделяют от 3 до 5 уровней иерархии в функциональной структуре системы. Чем выше уровень управления, тем более обобщенный характер носит информация, поступающая на этот уровень, и тем больше временной интервал принятия решения [11].

На рисунке 34 приведена типовая трехуровневая функциональная структура АСУ ТП.

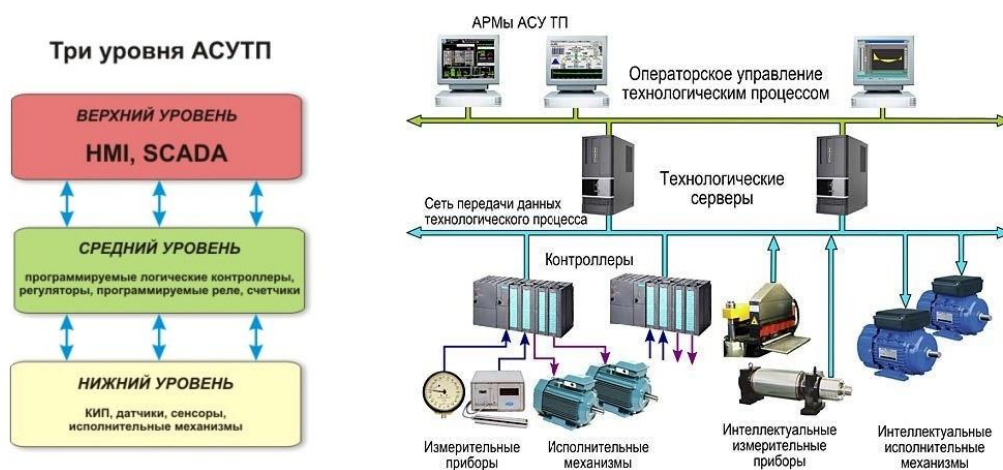


Рисунок 34 – Типовая структура АСУ ТП

На *нижнем уровне АСУ ТП* (первый уровень) располагаются различные датчики, исполнительные механизмы, приводы и другие устройства, предназначенные для сбора первичной информации и реализации управляющих воздействий.

Датчики считывают необходимые параметры для изменения или контроля технологического процесса, и эти данные поступают прямо на интерфейс станции, где оператор, опираясь на них, принимает то или иное решение.

Этот уровень называется уровнем ввода/вывода (Input/Output Level) или полевым уровнем.

Следующий, *средний уровень АСУ ТП* (второй уровень) предназначен для непосредственного управления производственным процессом с помощью различных устройств связи с объектом. На этом уровне расположены программируемые логические контроллеры. Контроллеры выполняют функции управления и обмена данными между подсистемой ввода/вывода и сетью управления. Подсистема ввода/вывода контроллера обеспечивает обработку информации от датчиков и выдачу управляющих воздействий на исполнительные устройства.

Это уровень локального управления (Control Level – простое управление), на котором замыкаются самые «короткие» контуры управления технологическим процессом.

Верхний уровень АСУ ТП (третий уровень) представляет собой серверы и операторские станции, которые в терминологии автоматизации называются автоматизированным рабочим местом (АРМ). Пользователи такого рабочего места называются операторами. Оператор при необходимости может изменять параметры технологического процесса. Именно на этот уровень выводится состояние исследуемого технологического процесса. Выделенный сервер поддерживает коммуникацию с подключенными к нему контроллерами, хранит в сети конфигурационную базу данных и архив технологических параметров.

Операторские станции представляют собой персональные компьютеры и служат для эффективного управления процессом и отображения технологической информации в виде графических мнемосхем. На мнемосхемах

показывается исчерпывающая информация: параметры ввода/вывода, значения переменных технологического процесса, предупреждающие сообщения, данные диагностики системы, отчеты и т.п.

На верхнем уровне используются SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition), которые осуществляют диспетчеризацию систем сбора данных и оперативное управление технологическим процессом. На этом уровне принимаются тактические решения, направленные на достижение стабильности процесса.

Главное требование к SCADA-системам – корректная работа в режиме реального времени. При этом главным приоритетом при передаче и обработке обладают сигналы, поступающие от технологического процесса или на него и влияющие на его протекание.

Третий уровень называется SCADA-уровнем (SCADA Level) или уровнем диспетчерского управления.

Компьютеры третьего уровня АСУ ТП объединяются в локальную сеть с выходом на следующий уровень управления. Первичная информация с верхнего уровня АСУ ТП поступает на уровень принятия стратегических решений, который является первым уровнем управления АСУП [12].

Необходимым связующим звеном выступает новый класс систем управления производством – MES (Manufacturing Execution Systems – или системы исполнения производственных заданий). Этот уровень выполняет обработку информации о ходе производства продукции в различных цехах, обеспечивает управление качеством, а также является источником необходимой информации для самого верхнего уровня управления АСУП. Данный уровень характеризуется необходимостью решения задач оперативной упорядоченности первичной информации из цеха (группы цехов) и передачи этой информации на верхний уровень АСУП – планирование ресурсов всего предприятия, которое осуществляется с помощью ERP-систем (Enterprise Resource Planning).

Функциональную структуру и связь между АСУ ТП и АСУП принято изображать графически в виде пирамиды, основанием которой является ТОУ (рисунок 35).

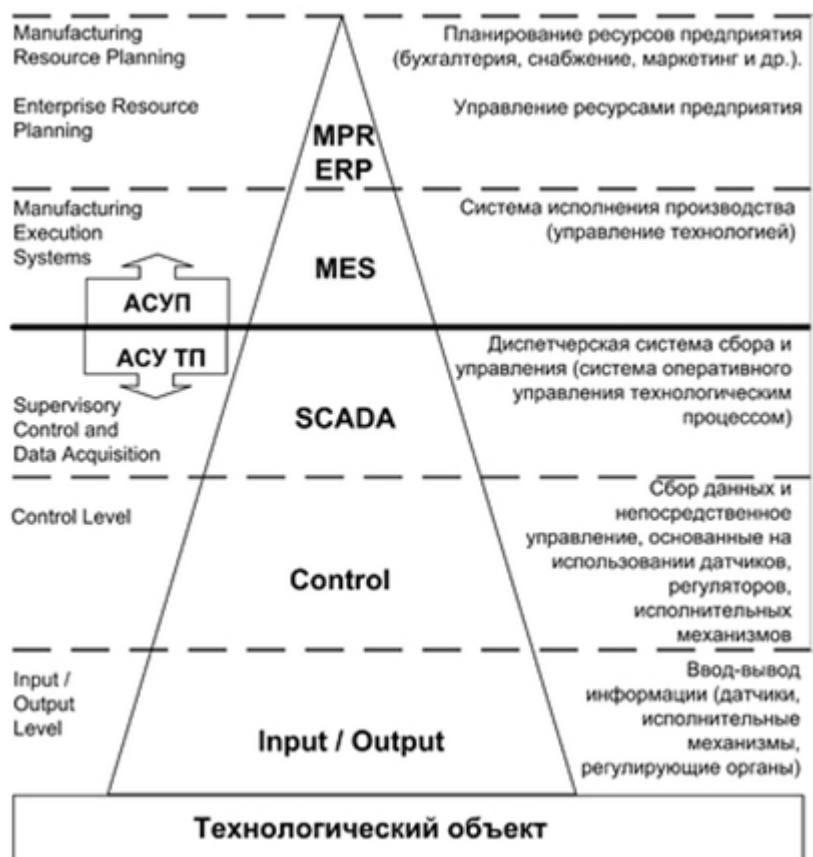


Рисунок 35 – Иерархия уровней АСУ ТП и АСУП

Принято выделять три основные функции АСУ ТП: информационные, управляющие, вспомогательные.

Информационные функции АСУ ТП – это сбор, обработка и представление информации для последующей обработки. К информационным функциям АСУ ТП относят централизованный контроль и измерение технологических параметров, вычисление параметров процесса, формирование и выдачу текущих и обобщающих технологических и экономических показателей оперативному персоналу АСУ ТП, подготовку и передачу информации в смежные системы управления.

Управляющие функции АСУ ТП включают в себя действия по выработке и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления. К управляющим функциям АСУ ТП относят регулирование (стабилизацию) отдельных технологических переменных, логическое управление оборудованием, оптимальное управление стадиями процесса, и др.

Вспомогательные функции АСУ ТП состоят в обеспечении контроля за состоянием функционирования технических и программных средств системы.

Контрольные вопросы

1. Назначение АСУ ТП.
2. Функции АСУ ТП.
3. Перечислите характерные черты современных АСУ ТП.
4. Перечислите уровни иерархии АСУ.
5. В чем заключается назначение нижнего уровня АСУ ТП?
6. В чем заключаются функции среднего уровня АСУ ТП?
7. В чем заключаются задачи верхнего уровня АСУ ТП?
8. Что называют распределенной АСУ ТП?
9. Функциональная структура АСУ.
10. Функции АСУ ТП и их назначение.

6. КОМПОНЕНТЫ АСУ ТП

Выполнение возложенных на АСУ ТП функций обеспечивается взаимодействием её основных частей или компонентов системы [12], к которым относятся:

- организационное обеспечение,
- методическое обеспечение,
- техническое обеспечение,
- математическое обеспечение,
- программное обеспечение,
- информационное обеспечение,
- лингвистическое обеспечение,
- метрологическое обеспечение;
- правовое обеспечение,
- эргономическое обеспечение;
- кадровое обеспечение;
- оперативный персонал.

Организационное обеспечение – это совокупность методов и средств, регламентирующих взаимодействие работников с техническими средствами и между собой в процессе разработки и эксплуатации АСУ ТП.

Организационное обеспечение определяет организационную структуру АСУ ТП, а именно иерархию пунктов управления системы, и включает инструкции, правила и предписания об обязанностях, взаимной подчиненности и ответственности оперативного персонала, работающего с системой. В частности, к организационному обеспечению АСУ ТП относятся:

- технологический регламент производства в условиях функционирования АСУ ТП;
- описание функциональной, организационной и технической структур автоматизированного технологического комплекса;
- штатное расписание, должностные инструкции технологического и оперативного персонала в условиях функционирования АСУ ТП;
- инструкция по пуску и останову технологических агрегатов в условиях АСУ ТП;
- обучение персонала работе с АСУ ТП;
- правила техники безопасности в условиях АСУ ТП.

Методическое обеспечение – это совокупность документов, описывающих технологию функционирования АСУ ТП, методы выбора и применения пользователями технологических приемов для получения конкретных результатов при функционировании системы.

Техническое обеспечение – это комплекс технических средств АСУ ТП, предназначенный для решения задач АСУ и обеспечивающий взаимодействие

персонала с техническими средствами системы и с самим технологическим процессом [13].

В комплекс технических средств входят датчики технологических параметров и параметров состояния оборудования, исполнительные устройства, программируемые логические контроллеры, устройства передачи сигналов, инженерные станции, серверы и т. д.

Современные системы реализуются на базе локальных вычислительных сетей (ЛВС). ЛВС – это совокупность техники, подключенной к общей шине (магистральной) передачи данных и разделяющих общесистемные ресурсы. Широко используются следующие виды топологии сетей: «Шина» (bus), «Звезда» (star), «Кольцо» (ring). Физической средой передачи данных в сетях могут быть: кабель «витая пара»; коаксиальный кабель (тонкий или толстый); оптоволоконный кабель; окружающее пространство. Высокой популярностью пользуется «витая пара», но она имеет низкую пропускную способность и помехозащищенность, высокой пропускной способностью и помехозащищенностью обладают оптоволоконный кабель и беспроводная среда передачи данных.

Математическое обеспечение – это совокупность математических моделей, методов и алгоритмов, используемых при разработке и функционировании АСУ ТП, для реализации целей и задач системы, а также для нормального функционирования комплекса технических средств.

К средствам математического обеспечения относятся:

- средства моделирования процессов управления;
- типовые задачи управления;
- методы математического программирования, математической статистики, теории массового обслуживания и др.

Математическое обеспечение является составной частью программного обеспечения АСУ ТП. Прикладные и обеспечивающие программы формируются, прежде всего, на базе математических методов.

Программное обеспечение – совокупность программ, необходимых для реализации функций АСУ ТП и обеспечения заданного функционирования комплекса технических средств.

Программное обеспечение (ПО) делят на два вида:

1. *Общее (базовое) ПО* – совокупность программ, необходимых для функционирования собственно вычислительного комплекса, независимо от структуры АСУ ТП, средства программирования контроллеров, SCADA-системы, редакторы. Общее программное обеспечение закупается и поставляется так же, как и технические средства.

SCADA-системы (диспетчерское управление и получение данных) – это программные продукты, которые берут на себя функции сбора, анализа и обработки информации, необходимой для управления производством.

Применение SCADA-систем позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, хранения и отображения информации.

2. *Специальное (прикладное) ПО* – совокупность программ, разработанных для конкретной системы, обеспечивающих выполнение информационных и управляющих функций.

Информационное обеспечение представляет собой систему классификации и кодирования информации, поступающей в АСУ ТП и формируемой в системе управления в результате решения системных и прикладных задач, принятые формы входных и выходных документов, выходные данные, передаваемые для реализации на исполнительные устройства, отображаемые визуально на панелях операторов, табло и мониторах рабочих станций.

Состав информационного обеспечения можно представить в виде совокупности внешнего и внутреннего информационного обеспечения (рисунок 36).



Рисунок 36 – Состав информационного обеспечения АСУ ТП

Лингвистическое обеспечение – это совокупность языковых средств для формализации естественного языка, построения и сочетания информационных единиц в ходе общения персонала со средствами вычислительной техники. Состав лингвистического обеспечения АСУ ТП представлен на рисунке 37.



Рисунок 37 – Состав лингвистического обеспечения АСУ ТП

С помощью лингвистического обеспечения осуществляется общение человека с машиной.

Метрологическое обеспечение – это совокупность методов проверки технических и программных средств АСУ ТП с целью диагностики нарушений, отказов и достижения единства и требуемой точности измерений. Недостаточная точность измерений приводит к увеличению ошибок и, как следствие, к экономическим потерям. Завышенные требования к точности измерений требуют дополнительных затрат на приобретение более дорогих средств измерений.

Правовое обеспечение – это совокупность правовых норм, определяющих создание, юридический статус и функционирование АСУ ТП, регламентирующих порядок получения, преобразования и использования информации.

В правовое обеспечение включаются определенным образом систематизированные нормативные акты, применяемые в данной системе, картотеки, справочники по законодательству и т. п. Наличие систематизированного законодательства, удобных средств доступа к правовой информации существенно повышает надежность и бесперебойность работы системы.

Эргономическое обеспечение – это нормы эргономики и инженерной психологии, положенные в основу проектирования АСУ ТП.

Прежде всего, это касается организации пультов оператора, мнемосхем, табло, устройств световой и звуковой сигнализации и других элементов так называемого человеко-машинного интерфейса системы.

Эргономика и инженерная психология помогает выбрать рациональное расположение автоматизированных рабочих мест (АРМ) персонала, формы отображения информации на мониторах и табло, вид технологической

клавиатуры и т. п. Разработка АСУ ТП без учета рекомендаций эргономики повышает вероятность ошибок оперативного персонала, увеличивает время реакции на событие, вызывает дополнительные психологические нагрузки.

Кадровое обеспечение – это совокупность методов и средств по организации и проведению обучения персонала приемам работы с АСУ ТП. Целью кадрового обеспечения является поддержание работоспособности системы и возможности дальнейшего ее развития.

Оперативный персонал – это лица, непосредственно участвующие в принятии решений по процессу управления и в выполнении функций системы. В АСУ ТП оперативный персонал включает в себя операторов и операторов-технологов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные компоненты АСУ ТП.
2. Организационное обеспечение АСУ ТП. Состав организационного обеспечения?
3. Методическое обеспечение АСУ ТП. Что входит в его состав?
4. Что входит в комплекс технических средств?
5. Что относится к средствам математического обеспечения АСУ ТП?
6. Программное обеспечение АСУ ТП и его виды.
7. Информационное обеспечение АСУ ТП и его состав.
8. Лингвистическое обеспечение АСУ ТП и его состав.
9. Что входит в состав метрологического, правового, эргономического и кадрового обеспечений АСУ ТП?
10. Какие топологии ЛВС вы знаете?

7. СТАДИИ И ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ АСУ ТП

Согласно стандарту ГОСТ Р 59793-2021 [14], процесс создания автоматизированных систем производится в соответствии со стадиями жизненного цикла АС и включает в себя 8 стадий, которые представлены на рисунке 38.



Рисунок 38 – Стадии создания (жизненного цикла) автоматизированной системы

Первыми в жизненном цикле автоматизированной системы идут предпроектные стадии, которые включают стадию формирования требований к системе и стадию разработки концепции системы.

Затем идет стадия разработки технического задания.

Потом собственно стадии проектирования: разработка эскизного и технического проектов, затем – разработка рабочей документации, ввод системы в действие и стадия сопровождения системы.

Все стадии, вплоть до сопровождения (эксплуатации системы после ее ввода в действие) являются для заказчика системы затратными. Отдача от системы может быть получена только на стадии эксплуатации системы.

Принято учитывать несколько основных принципов создания автоматизированных систем в соответствии с ГОСТ 34.602-2020 [15].

1. Автоматизированные системы создают в соответствии с техническим заданием, являющимся основным исходным документом, на основании которого проводят создание и приемку ее заказчиком.

2. При создании автоматизированной системы необходимо руководствоваться принципами системности, развития (открытости), совместимости, стандартизации (унификации) и эффективности.

2.1. **Принцип системности** заключается в том, что при декомпозиции должны быть установлены такие связи между структурными элементами системы, которые обеспечивают целостность и ее взаимодействие с другими системами.

2.2. **Принцип развития (открытости)** заключается в том, что исходя из перспектив развития объекта автоматизации, автоматизированная система

должна создаваться с учетом возможности пополнения и обновления функций и состава автоматизированной системы без нарушения ее функционирования.

2.3. Принцип совместимости заключается в том, что при создании систем должны быть реализованы информационные интерфейсы, благодаря которым она может взаимодействовать с другими системами в соответствии с установленными правилами.

2.4. Принцип стандартизации (унификации) заключается в том, что при создании систем должны быть рационально применены типовые, унифицированные и стандартизованные элементы, проектные решения, пакеты прикладных программ, комплексы, компоненты.

2.5. Принцип эффективности заключается в достижении рационального соотношения между затратами на создание и результатами, получаемыми в результате автоматизации.

3. При создании (модернизации) объектов автоматизации должно быть предусмотрено проведение работ по созданию (модернизации) автоматизированной системы.

Модернизация автоматизированной системы проводится в силу изменения как внутренних, так и внешних условий. Когда развивается объект автоматизации, должна модернизироваться и автоматизированная система.

Техническое задание – основополагающий для разработки автоматизированной системы документ [11].

Техническое задание на создание автоматизированной системы является основным документом, определяющим порядок создания и требования к автоматизированной системе. Разработку автоматизированной системы и ее приемку при вводе в действие проводят в соответствии с ТЗ.

Это положение является настолько существенным, что выступает и как принцип – основополагающий момент создания АС, так и в качестве основного положения руководства к действию.

Процесс создания автоматизированной системы представляет собой совокупность упорядоченных во времени, взаимосвязанных, объединенных в стадии и этапы работ, выполнение которых необходимо и достаточно для создания автоматизированной системы, соответствующей заданным требованиям.

Стадии и этапы создания АС выделяются как части процесса создания по соображениям рационального планирования организации работ, заканчивающихся заданным результатом.

Свод знаний, содержащиеся в нормативных документах, основаны на результатах исследований, на международных стандартах и на практическом опыте. Применение нормативных документов позволяет снизить риски, связанные с упущениями при проектировании, позволяет выставлять разработчикам требования на понятном языке.

Основополагающие в проектировании автоматизированных систем стандарты, разработанные еще в 1989-1992 годах, не подвергались пересмотру 30 лет и, естественно, утратили свою актуальность. Они уже не учитывали

современных тенденций развития технологий. Не был понятен статус старых стандартов (ведь было принято переиздавать стандарты как минимум раз в 10 лет, но этого не происходило).

Основной стандарт, определяющий последовательность работ по созданию автоматизированных систем, – это ГОСТ Р 59793-2021 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания» [14] (принят взамен ГОСТ 34.601–90).

С первой половины 2022 года вступили в действие новые стандарты (пункты 1–6), согласно таблице 2.

Таблица 2 – Перечень новых стандартов

№	Ранее действовавший стандарт	Новый стандарт
1	ГОСТ 34.601-90 «Автоматизированные системы. Стадии создания»	ГОСТ Р 59793-2021 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания»
2	ГОСТ 34.602-89 «Техническое задание на создание автоматизированной системы». Действие прекращено с 01.01.2022	ГОСТ 34.602-2020 «Техническое задание на создание автоматизированной системы»
3	ГОСТ 34.603-92 «Виды испытаний автоматизированных систем». Действие прекращено с 30.04.2022	ГОСТ Р 59792-2021 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды испытаний автоматизированных систем»
4	ГОСТ 34.201-89 «Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем». Действие прекращено с 01.01.2022	ГОСТ 34.201-2020 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов»
5	РД 50-34.698*90 «Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов». Действие прекращено (приказ Росстандарта от 12.02.2019 № 216)	ГОСТ Р 59795-2021 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов»
6	ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения». Действие прекращено с 01.01.2022	ГОСТ Р 59853-2021 «Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения»

7	ГОСТ 2.102-2013 «Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов»	Действует ранее принятый стандарт
8	ГОСТ Р 2.105-2019 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам»	Действует ранее принятый стандарт
9	ГОСТ Р 2.106-2019 «Единая система конструкторской документации. Текстовые документы»	Действует ранее принятый стандарт
10	ГОСТ 7.32-2017 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления»	Действует ранее принятый стандарт
11	ГОСТ 2.113-75 «Единая система конструкторской документации. Групповые и базовые конструкторские документы»	Действует ранее принятый стандарт
12	ГОСТ 19.101-77 «Единая система программной документации. Виды программ и программных документов» (ЕСПД)	Действует ранее принятый стандарт
13	ГОСТ Р 51583-2014 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения»	Действует ранее принятый стандарт

Контрольные вопросы

1. Перечислите стадии разработки автоматизированной системы.
2. В чем задача предпроектных стадий создания автоматизированной системы?
3. Принципы создания автоматизированных систем по ГОСТ 34?
4. Что является основным исходным документом для создания автоматизированной системы?
5. Перечислите основные принципы создания автоматизированной системы.
6. В чем заключается принцип системности?
7. В чем заключается принцип открытости при создании автоматизированной системы?
8. В чем заключается принцип совместимости при создании автоматизированной системы?
9. Какие стадии создания систем можно отнести к постпроектным?
10. Основные нормативные документы, регламентирующие стадии разработки автоматизированных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены основные вопросы теоретического материала по дисциплине «Системы управления и автоматизации химико-технологических процессов» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» всех форм обучения.

Большой объем информации по данной теме не позволяет изучить весь материал в рамках аудиторных занятий. Поэтому часть материала выносится для самостоятельной работы. И предлагаемое учебное пособие должно помочь студенту не только освоить лекционный материал, но и самостоятельно изучить разделы дисциплины, отвечая на предложенные в конце каждого раздела контрольные вопросы.

Самостоятельная подготовка состоит не только в ответах на контрольные вопросы, но и в изучении предлагаемой в настоящем пособии литературы, а также в использовании дополнительной литературы по дисциплине.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ившин, В. П. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами / В. П. Ившин, М. Ю. Перухин. – М.: Инфра-М, 2023. – 407 с. – Текст: непосредственный.
2. Федоров, А. Ф. Система управления химико-технологическими процессами: учебное пособие для студентов химических специальностей технических вузов / А. Ф. Федоров, Е. А. Кузьменко. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 224 с. – Текст: непосредственный.
3. Ефанов, А. В. Теория автоматического управления: учебник для вузов / А. В. Ефанов, В. А. Ярош. – М.: Лань, 2024. – 160 с. – Текст: непосредственный.
4. Антимиров, В. М. Системы автоматического управления: учебное пособие для вузов / В. М. Антимиров; под научной редакцией В. В. Телицина. – М: Юрайт, 2024. – 92 с. – Текст: непосредственный.
5. Гаврилов, А. Н. Системы управления химико-технологическими процессами. Часть 2: учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. – 200 с. – Текст: непосредственный.
6. Воронов, А. А. Основы теории автоматического управления. Часть 2 / А. А. Воронов. – М.: Энергия, 2014. – 372 с. – Текст: непосредственный.
7. Валиуллина, В. А. Разработка функциональных схем автоматизации технологических процессов: учебное пособие / В. А. Валиуллина, В. А. Садофьев; М-во образования и науки России, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Казанский нац. исследовательский технологический ун-т». – Казань: Изд-во КНИТУ, 2013. – 84 с. – Текст: непосредственный.
8. ГОСТ 21.208-2013 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах». Дата введения в действие: 01.11.2014 г.
9. ГОСТ 21.110-2013 «Система проектной документации для строительства. Спецификация оборудования, изделий и материалов». Дата введения в действие: 01.01.2015 г.
10. Шишов, О. В. Современные средства АСУ ТП / О. В. Шишов. – М.: Инфра-Инженерия, 2021. – 532 с. – Текст: непосредственный.
11. Федорова, Ю. Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка. Том 1. / Ю. Н. Федорова. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 449 с. – Текст: непосредственный.

12. Лебедев, К. Н. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: учебное пособие / К. Н. Лебедев. – Зерноград, ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008. – 117 с. – Текст: непосредственный.
13. Колосов О. С. Технические средства автоматизации и управления: учебник для вузов / О. С. Колосов [и др.]; под общей редакцией О. С. Колосова. – М: Юрайт, 2025. – 331 с. — Текст: непосредственный.
14. ГОСТ Р 59793-2021 «Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания». Дата введения в действие: 30.04.2022 г.
15. ГОСТ 34.602-2020 «Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы». Дата введения в действие: 01.01.2022 г.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Таблица условных обозначений измеряемых величин
и функциональных признаков приборов**

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
A	Анализ. Величина, характеризующая качество: состав, концентрация, детектор дыма и т. п.	—	Сигнализация	—	—
B	Пламя, горение	—	—	—	—
C	+	—	—	Автоматическое регулирование, управление	—
D	+	Разность, перепад	—	—	Величина отклонения от заданной измеряемой величины
E	Напряжение	—	—	Чувствительный элемент	—

Продолжение табл. П1

F	Расход	Соотношение, дробь, доля	—	—	—
G	+	—	Первичный показывающий прибор	—	—
H	Ручное воздействие	—	—	—	Верхний предел измеряемой величины
I	Ток	—	Показание, индикация	—	—
J	Мощность	Автоматическое переключение, обегание	—	—	—
K	Время, временная программа	—	—	Станция управления	—
L	Уровень	—	—	—	Нижний предел измеряемой величины
M	+	—	—	—	Величина или среднее положение (между верхним H и нижним L)

Продолжение табл. III

N	+	—	—	—	—
O	+	—	—	—	—
P	Давление, вакуум	—	—	—	—
Q	Количество	Интегрирование, суммирование по времени	—	+	—
R	Радиоактивность	—	Регистрация	—	—
S	Скорость, частота	Самосрабатыва- ющее устройство безопасности	—	Включение, отключение, переключение, блокировка	—
T	Температура	—	—	Преобразование	—
U	Несколько разнородных измеряемых величин	—	—	—	—
V	Вибрация	—	—	—	—

Окончание табл. III

W	Вес, сила, масса	—	—	—	—
X	Нерекомендуемая резервная буква	—	Вспомогательные компьютерные устройства	—	—
Y	Событие, состояние	—	—	Вспомогательное вычислительное устройство	—
Z	Размер, положение, перемещение	Система инструментальной безопасности, ПАЗ	—	+	—
<p align="center">Примечание</p> <p align="center">Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», назначаются по выбору пользователя, а отмеченные знаком «—» не используются.</p>					

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Примеры построения функциональных схем автоматизации различных технологических процессов

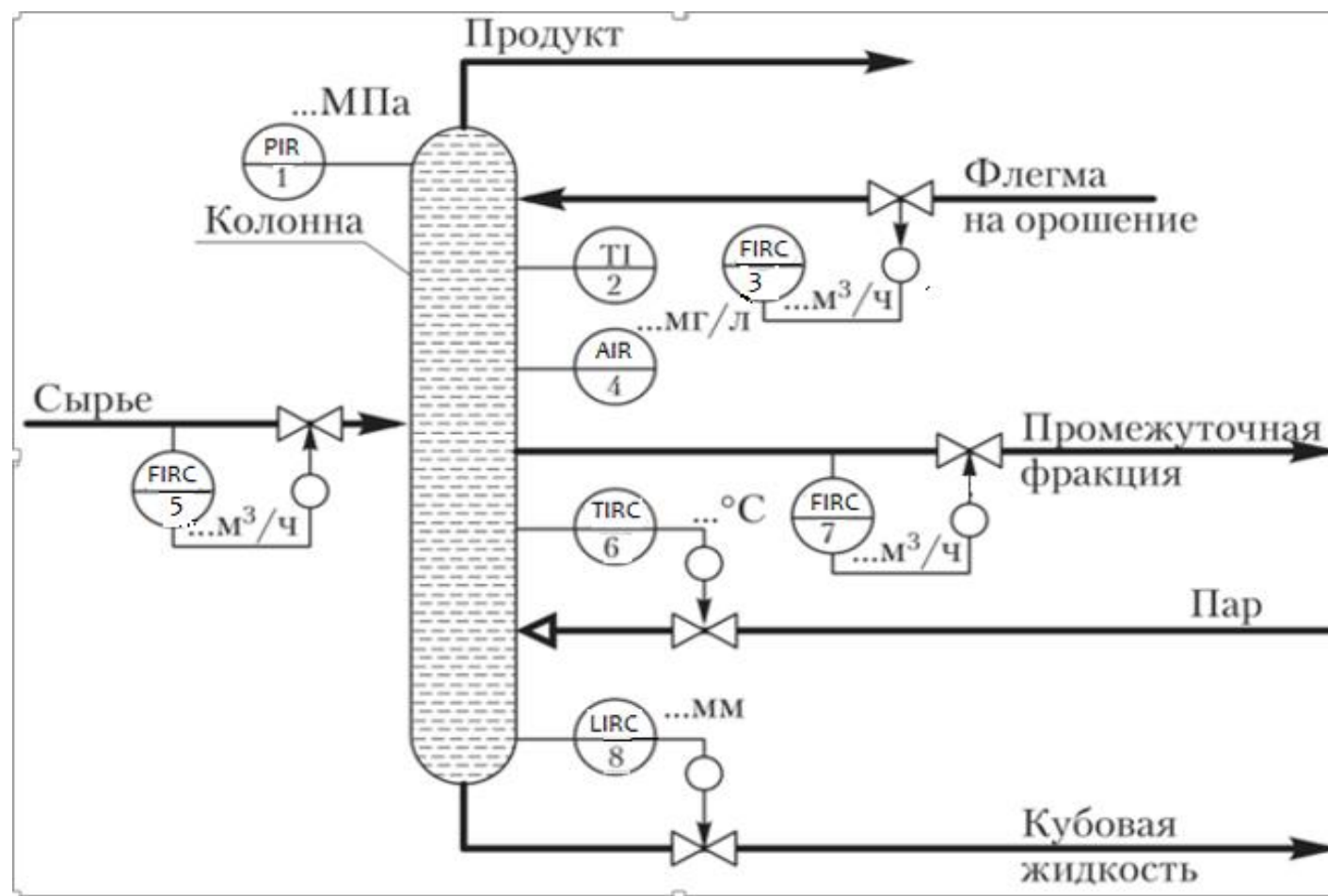


Рисунок П2.1 – Функциональная схема автоматизации ректификационной колонны

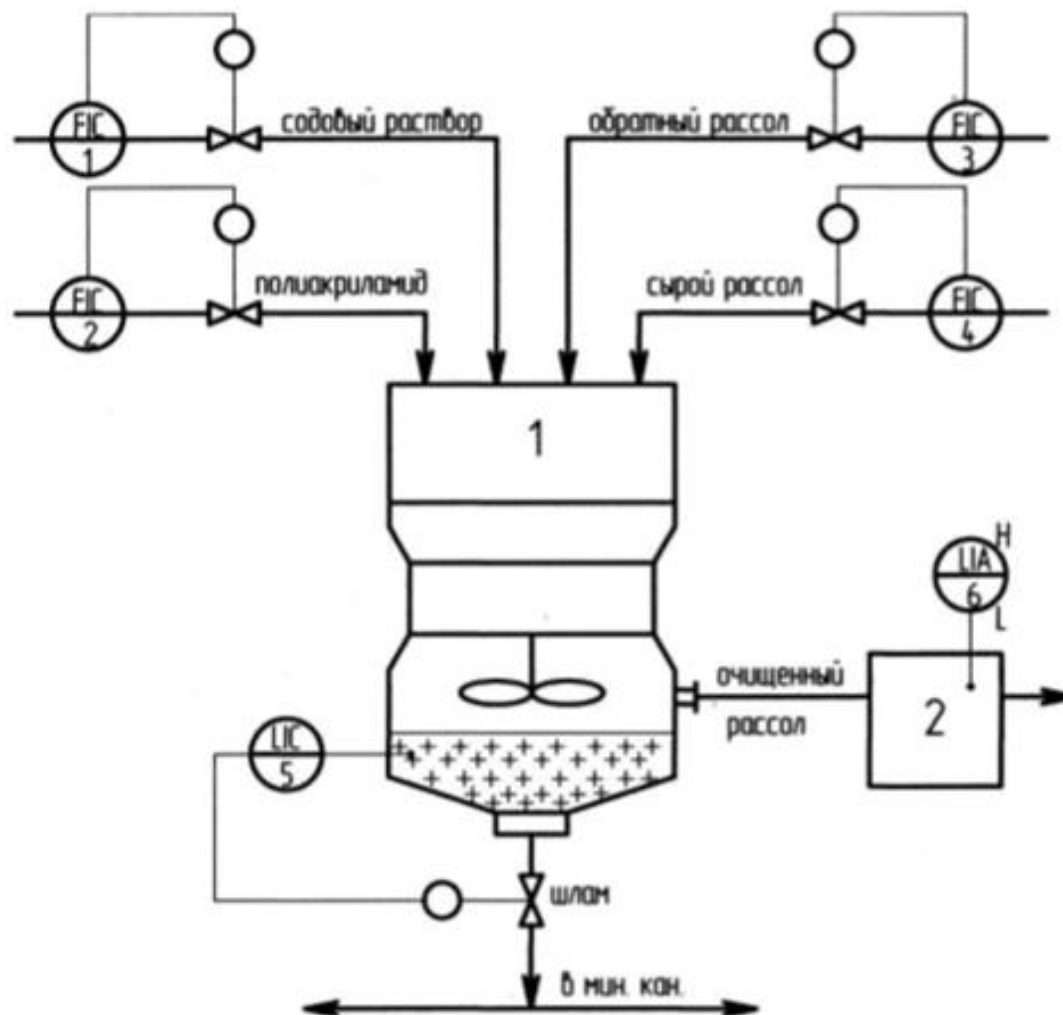


Рисунок П2.2 – Функциональная схема автоматизации осветителя рассола непрерывного действия в производстве хлора и каустика

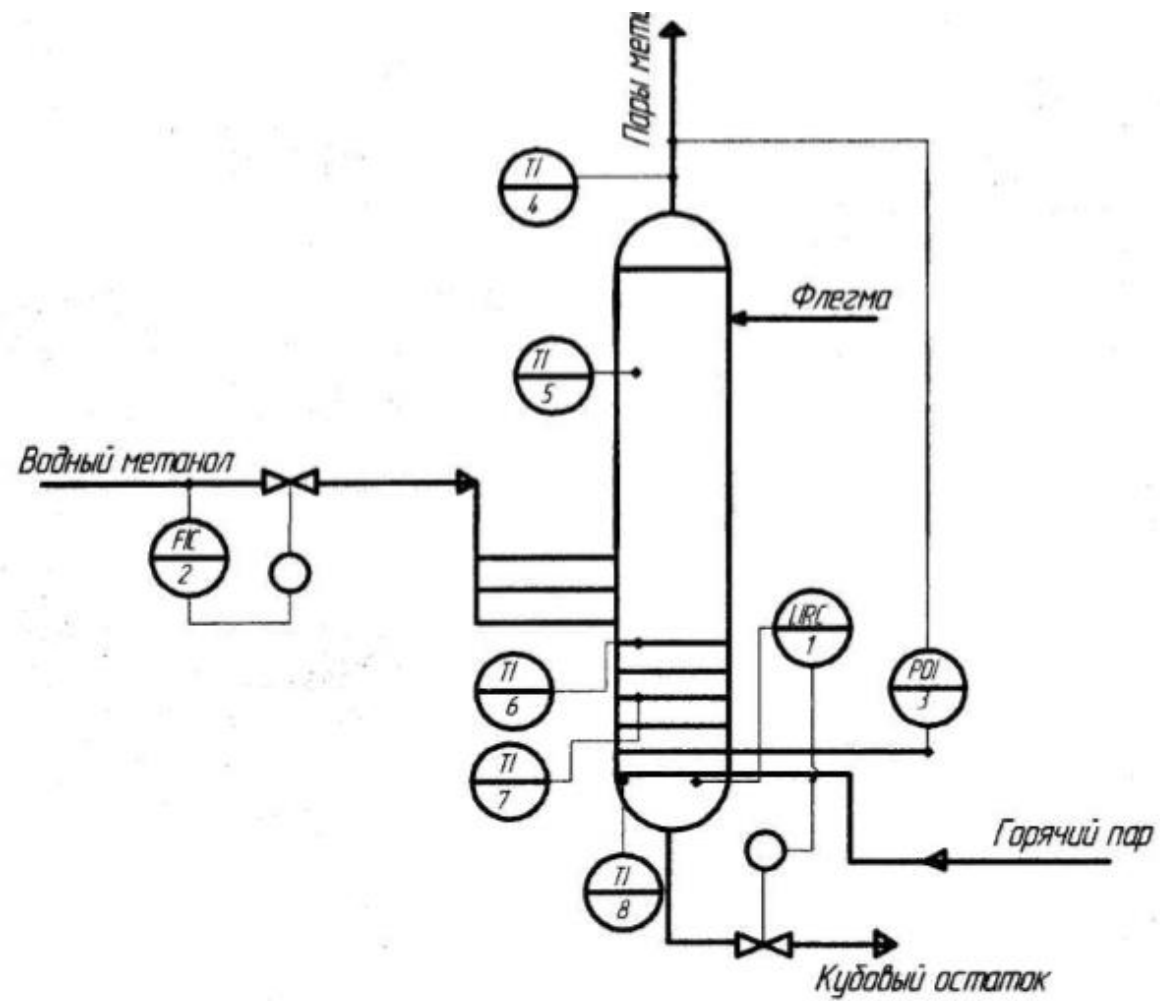


Рисунок П2.3 – Функциональная схема автоматизации ректификационной колонны для получения чистого метанола

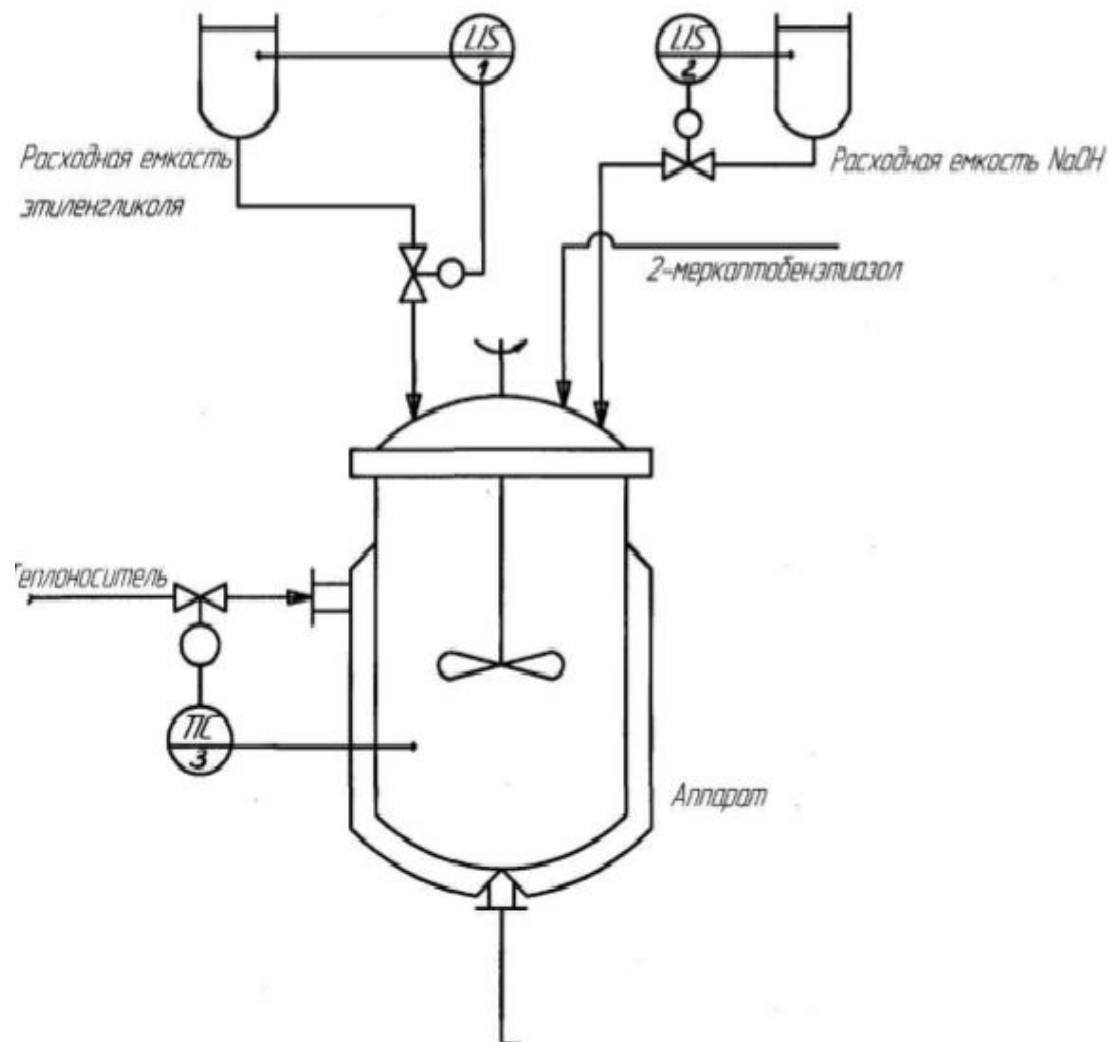


Рисунок П2.4 – Функциональная схема автоматизации аппарата для получения 2-меркаптобензтиазола

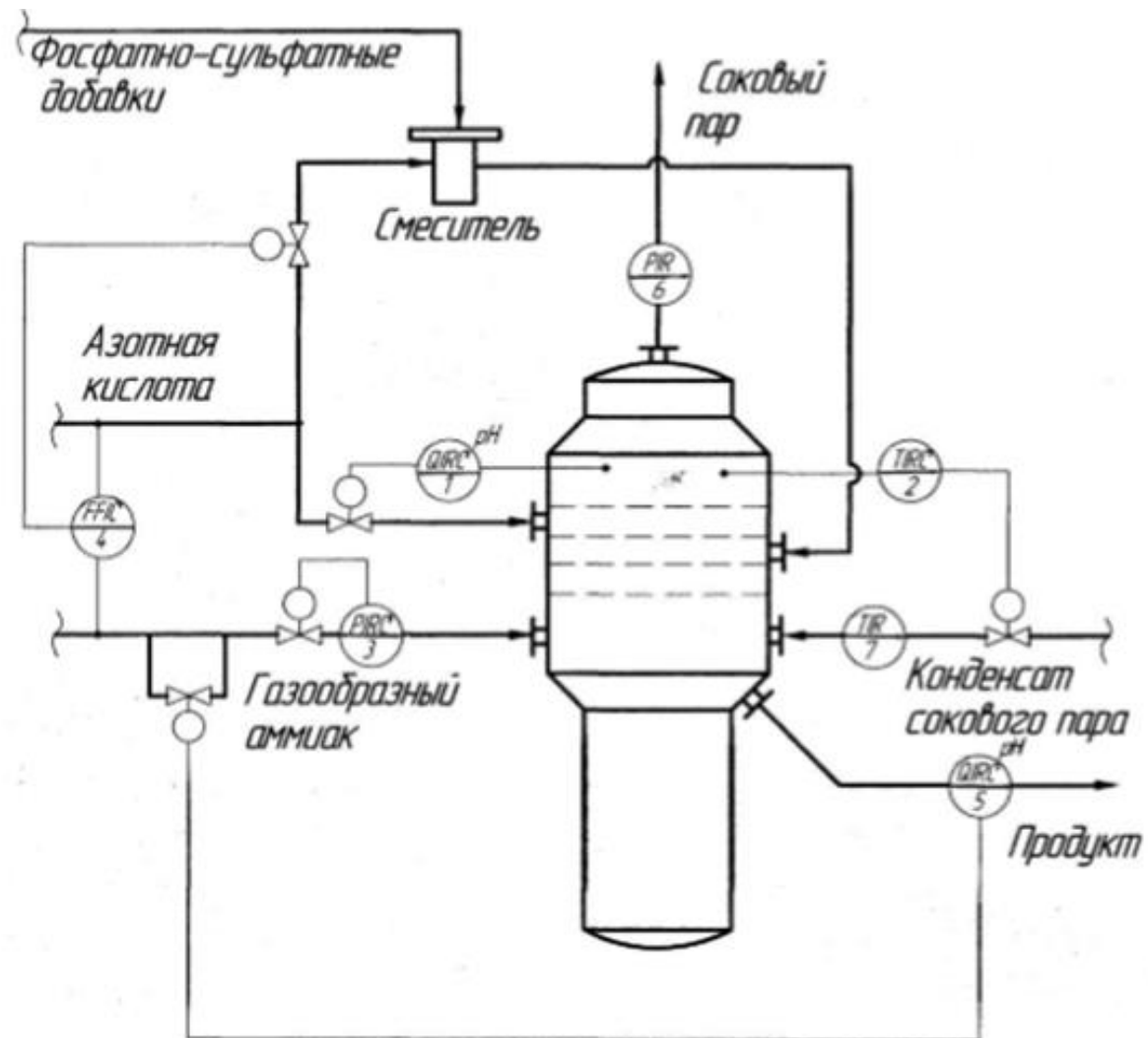


Рисунок П2.5 – Функциональная схема автоматизации аппарата для нейтрализации азотной кислоты аммиаком

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Пример заполнения заказной спецификации на приборы и средства автоматизации

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка оборудования обозначение рабочего листа	Код оборудования, изделия, материала	Завод-изготовитель	Единица измерения	Кол-во мест	Масса единицы кг	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
FV/FY-3, 8	Клапан регулирующий, сегментный, бесфланцевый с пневмоприводом и электропневмопозиционером. Командный сигнал 4-20 мА, питание 0,6 МПа.	R1 BC,NE 724		ф. Neles Финляндия		2		
LICA-11	Регулирование уровня в композиционном бассейне.	SIMATIC S7-300		ф. Siemens Германия				
LT-11	Датчик гидростатического давления. Вых. сигнал 4-20 мА. Напряжение питания 12-36 В пост. тока. Погрешность 1%	ОВЕН ПД 100-ДГО		Комп. ОВЕН Москва		1		
LV/LY-11	Клапан регулирующий, сегментный, бесфланцевый с пневмоприводом и электропневмопозиционером. Ком. сигнал 4-20 мА, питание 0,6 МПа.	R1 BC,NE 724		ф. Neles Финляндия		1		
AYIRC-12	Регулирование композиции бумажной массы.	SIMATIC S7-300		ф. Siemens Германия				
HSA-4,5, 9,10,13	Управление пуском-остановом двигателя							
<div> <div> <div>Изм.</div> <div>Код</div> <div>Лист</div> <div>Изм.</div> <div>Подпись</div> <div>Дата</div> </div> <div>ИИТСУ-КП-2020.АТХ</div> <div>Лист 2</div> </div>								

Учебное издание

**Дятлова Елена Павловна
Бондаренкова Ирина Владимировна**

Системы управления и автоматизации химико-технологических процессов

Учебное пособие

Редактор и корректор Е. О. Тарновская
Техн. редактор М. Д. Баранова

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 27.08.2025 г. Рег. № 5130/25

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.