

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.В. Серова-Нашева, Н.И. Кузнецова

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Методические рекомендации
для выполнения графической работы

Севастополь
СевГУ
2022

УДК 681.5(07)
ББК 32.966я73
С329

Рецензенты :

К.Б. Матузаев - канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Ядерные энергетические установки»

А.А. Скидан - канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Системы контроля и управления атомными станциями»

Серова-Нашева, Н.В.

С329 Проектирование автоматизированных систем: методические рекомендации для выполнения графической работы / Н.В. Серова-Нашева, Н.И. Кузнецова; Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 50 с. – Текст: электронный.

Методические рекомендации разработаны на кафедре «Системы контроля и управления атомных станций» ФГБОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в соответствии со следующими нормативными документами:

- Федерального государственного образовательного стандарта по специальности 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» (уровень специалитет), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 августа 2015 года № 849;

- Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам магистратуры, программам специалитета, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 05.04.2017 № 301;

- Положения о порядке разработки и утверждения основной образовательной программы № 1957-п, принятого решением ученого совета Севастопольского государственного университета (протокол №3/2019 от 18.11.2019) и утвержденного приказом ректора от 21.11.2019, иных локальных нормативных актов, действующих в Университете.

УДК 681.5(07)
ББК 32.966я73

Рассмотрены и рекомендованы на заседании кафедры «Системы контроля и управления атомных станций», протокол № 10 от 20 мая 2022 г.

© Серова-Нашева Н.В., Кузнецова Н.И., 2022
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения.....	4
Термины и определения	5
Введение.....	7
1 Функциональные схемы автоматизации.....	8
1.1 Назначение функциональных схем.....	8
1.2 Средства измерения и автоматизации	8
1.3 Правила построения условных обозначений приборов и средств автоматизации в схемах.....	11
1.4 Изображение технологического оборудования на функциональных схемах автоматизации.....	13
2 Регулирование основных технологических параметров	14
2.1 Регулирование расхода	14
2.2 Регулирование уровня.....	20
2.3 Регулирование давления	23
2.4 Регулирование температуры.....	25
2.5 Регулирование pH.....	33
2.6 Регулирование параметров состава и качества	36
Приложение А. Условные обозначения приборов и средств автоматизации.	37
Приложение Б. Пример разработки функциональной схемы автоматизации по заданному технологическому процессу.....	47
Ссылочные нормативные документы	49
Библиография	50

СОКРАЩЕНИЯ

АСР	–	автоматическая система регулирования;
АСУ	–	автоматизированная система управления;
ГОСТ	–	Государственный стандарт;
ЕСКД	–	Единая система конструкторской документации
РМГ	–	Рекомендации по межгосударственной стандартизации;
САР	–	система автоматического регулирования;
САУ	–	система автоматического управления;
ФСА	–	функциональная схема автоматизации

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Байпасирование	– это отвод части потока (обычно 4 - 12 %) на параллельную линию для очистки или иной технологической цели с последующим возвращением в основную систему
Дросселирование	– понижение давления газа или пара при протекании через сужение проходного канала трубопровода – дроссель, либо через пористую перегородку
Инвариантность	– термин, обозначающий нечто неизменяемое
Инерционность	– свойство объекта сохранять свое состояние во времени и пространстве при отсутствии внешних воздействий
Кавитация	– физический процесс образования пузырьков (каверн, или пустот) в жидких средах, с последующим их схлопыванием и высвобождением большого количества энергии, которое сопровождается шумом и гидравлическими ударами
Нейтрализация	– реакция взаимодействия кислоты и основания между собой с образованием соли и слабо диссоциирующего вещества (воды)
Переходный процесс	– в теории систем представляет изменения во времени координат динамической системы, до некоторого установившегося состояния; возникает под влиянием возмущающих воздействий, изменяющих её состояние, структуру или параметры, а также вследствие ненулевых начальных условий
Помпаж	– неустойчивый режим работы насоса, при котором резко изменяются подача и напор насоса; при этом наблюдаются значительные вибрации, удары, шум, тряска насосной установки и трубопроводов
Постоянная времени объекта	– это условное время, в течение которого после нанесения единичного ступенчатого воздействия на объект выходная величина изменится от своего исходного значения $y_{нач}$ до нового установившегося значения $y_{кон}$ при условии, что изменение происходит с постоянной максимальной скоростью

Ректификация	– сложный массотеплообменный процесс разделения жидких смесей, состоящих из нескольких взаиморастворимых компонентов
Релейный элемент	– минимальная совокупность деталей и связей между ними, имеющая релейную характеристику, то есть скачкообразно изменяющая воздействие на выходе (выходах) при поступлении фиксированных воздействий на вход (входы)
Статическое звено первого порядка с транспортным запаздыванием	– звено, выходная величина которого в функции времени изменяется по экспоненциальному закону, сигнал со входа на выход передается без искажения его формы, но с некоторой задержкой во времени
Теория систем	– научная и методологическая концепция исследования объектов, представляющих собой системы
Теплообменник	– техническое устройство, предназначенное для передачи тепла между нагретой средой и холодной
Титрование	– процесс определения концентрации исследуемого вещества путем добавления раствора титранта к раствору титруемого вещества по каплям
Установившееся состояние	– это такое состояние системы или процесса, в котором динамика переменных, описывающих поведение системы или процесса и называемых переменными состояниями, не меняется во времени (в отличие от переходного процесса).
Ферментация	– это брожение, изменение химического состава, структуры и других свойств продукта в условиях отсутствия доступа кислорода.

ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации предназначены для выполнения графической работы по дисциплине «Проектирование автоматизированных систем» студентами специальности 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

Содержание графической работы определяется целью и задачами учебной дисциплины.

Цель дисциплины «Проектирование автоматизированных систем»: получение обучающимися теоретических знаний о сути и методах проектирования автоматизированных систем с применением современных инструментов, а также формирование практических навыков и готовности к самостоятельной разработке проектной документации разрабатываемой системы и ее применении для решения задач в профессиональной сфере.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование понятий о процессе проектирования, разработке проектной документации, о современных графических системах, особенностях их применения и современных возможностях;
- освоение навыков самостоятельного анализа технологических процессов на предприятиях с целью разработки структурной и функциональной схем систем автоматизированного контроля и управления;
- получение компетенций по формулированию целей проекта, построению структуры и взаимосвязей, разработке технических требований и заданий на разработку;
- формирование умений применять полученные знания в практической деятельности, решать практические задачи согласно требований ГОСТ, ЕСКД и прочих регламентирующих документов.

В методических рекомендациях приведен пример разработки функциональной схемы автоматизации. В качестве объекта автоматизации выбран реальный технологический процесс.

Студенту при выполнении графической работы для заданного объекта необходимо:

- 1 Выявить показатель эффективности заданного технологического процесса.
- 2 Составить перечень контролируемых и регулируемых параметров.
- 3 Разработать функциональную схему автоматизации (ФСА).

Методические рекомендации содержат основные теоретические сведения, необходимые для разработки ФСА, кроме того, приведен пример выполнения задания.

1 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1 Назначение функциональных схем

Функциональные схемы автоматизации [1] являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (в том числе средствами телемеханики и вычислительной техники).

Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность основного и вспомогательного оборудования вместе с встроенными в него запорными и регулирующими органами, а также энергии, сырья и других материалов, определяемых особенностями используемой технологии.

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов необходимо решить следующие задачи:

- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- непосредственное воздействие на технологический процесс для управления им;
- стабилизация технологических параметров процесса;
- контроль и регистрация технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

Указанные задачи решаются на основании анализа условий работы технологического оборудования, выявленных законов и критериев управления объектом, а также требований, предъявляемых к точности стабилизации, контроля и регистрации технологических параметров, к качеству регулирования и надежности.

1.2 Средства измерения и автоматизации

Функциональные задачи автоматизации реализуются с помощью технических средств, включающих в себя: отборные устройства, средства получения первичной информации, средства преобразования и переработки информации, средства представления и выдачи информации персоналу, комбинированные, комплектные и вспомогательные устройства.

Согласно РМГ 29-2013 технические средства, перечисленные выше, в зависимости от состава и выполняемых функций имеют определенные наименования и могут являться отдельным конструктивом (прибором) или частью конструктива.

Измерительное устройство в общем случае состоит из первичного, промежуточного и передающего измерительных преобразователей.

Первичным измерительным преобразователем (или сокращенно первичным преобразователем) называют элемент измерительного устройства, к которому подведена измеряемая величина. Первичный преобразователь занимает первое место в измерительной цепи (канале измерения). Примерами первичных измерительных преобразователей могут служить: преобразователь термоэлектрический (термопара), сужающее устройство для измерения расхода и др.

Промежуточным измерительным преобразователем (или сокращенно промежуточным преобразователем) называют элемент измерительного устройства, занимающий в измерительной цепи место после первичного преобразователя. Основное назначение промежуточного преобразователя – преобразование выходного сигнала первичного измерительного преобразователя в форму, удобную для последующего преобразования в сигнал измерительной информации для дистанционной передачи. Примером промежуточного измерительного преобразователя может служить мембранный блок дифманометра-расходомера. В измерительной цепи измерения расхода он занимает место непосредственно после сужающего устройства и преобразует перепад давления на сужающем устройстве в соответствующее перемещение мембраны мембранного блока и связанной с ней механической системы прибора.

Передающим измерительным преобразователем (или сокращенно передающим преобразователем) называют элемент измерительного устройства, предназначенный для дистанционной передачи сигнала измерительной информации. Примером передающего преобразователя могут служить разные электрические или пневматические преобразователи, встраиваемые в дифманометры-расходомеры. С их помощью, например, перемещение мембраны, изменяющее положение сердечника дифференциального трансформатора дифманометра, с помощью дополнительного встроенного блока преобразуется в выходной унифицированный сигнал постоянного тока от 0 до 5 мА (электрический преобразователь) или перемещение гармониковых сильфонов дифманометра в унифицированный выходной пневматический сигнал от 0,02 до 0,1 МПа (пневматический преобразователь) для дистанционной передачи измерительной информации.

Конструктивно обособленные первичный преобразователь или совокупность первичного и других измерительных преобразователей называют датчиками.

Приборостроительная промышленность выпускает устройства [2], объединяющие в себе функции первичного, промежуточного и передающего преобразователей в различных сочетаниях. Так, бесшкальные манометры и дифманометры выпускают со встроенными преобразователями для дистанционной передачи показаний. Эти приборы сочетают в себе функции промежуточного и передающего преобразователей. Кроме того, в различных измерительных схемах одни и те же элементы могут выполнять различные функции преобразования измеряемой величины. Если имеется измерительная цепь преобразователь термоэлектрический (термопара) – линия связи милливольтметр, то преобразователь термоэлектрический выполняет функции первичного, промежуточного и передающего преобразователя. В качестве вторичного прибора используется потенциометр с унифицированным входным сигналом 0 – 5 мА, то сигнал с преобразователя термоэлектрического поступает сначала на преобразователь, преобразующий значение измеряемой величины, выраженное в милливольтках, в соответствующее значение, выраженное в миллиамперах постоянного тока. В этом случае преобразователь термоэлектрический выполняет функции только первичного преобразователя.

К первичным преобразователям также относятся отборные и приемные устройства. Под отборными и приемными устройствами понимают устройства, встраиваемые в технологические аппараты и трубопроводы для отбора контролируемой среды и измерения ее параметров. Примерами таких устройств могут служить устройства отбора давления в аппарате или трубопроводе, устройства отбора среды для определения, например, концентрации, щелочности и др.

Первичные измерительные устройства могут встраиваться в технологические аппараты и трубопроводы с помощью дополнительных устройств: бобышек, карманов, расширителей и т. п.

Эти устройства на схемах не обозначают, но включают в спецификации и делают ссылки на соответствующий конструктивный чертеж.

Ряд приемных устройств по своей конструкции и принципу действия не требует непосредственного контактирования с измеряемой средой (радиоактивные устройства, излучатели, видеоприемные устройства и др.). Их изображают на схемах в непосредственной близости от объекта измерения.

Измерительным прибором называют средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы могут иметь различные функциональные отличия,

могут быть показывающими, регистрирующими, самопишущими, интегрирующими и т.д. Кроме того, в них могут быть встроены регулирующие, преобразующие и сигнализирующие устройства.

В связи с этим условные обозначения приборов и преобразующих устройств состоят из основного условного изображения прибора или устройства и вписываемых в него обозначений контролируемых и регулируемых величин, а также их функциональных признаков.

Исполнительные механизмы, в отличие от регулирующих органов, представляют собой относительно сложные многоэлементные устройства. Они отличаются друг от друга принципом действия, техническими и эксплуатационными характеристиками, а также конструктивными особенностями. По роду используемой энергии исполнительные механизмы подразделяют на гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные.

Регулирующие органы по конструкции представляют собой устройства, монтируемые непосредственно в технологические трубопроводы: различные клапаны, заслонки, шиберы и т. п. Управление регулируемыми органами осуществляется исполнительными механизмами, выполняющими функции их приводов.

1.3 Правила построения условных обозначений приборов и средств автоматизации в схемах

Приборы, средства автоматизации, электрические устройства и элементы вычислительной техники на ФСА показываются в соответствии с ГОСТ 21.208-2013, который предусматривает систему построения графических и буквенных условных обозначений по функциональным признакам, выполняемым приборами.

Условные графические обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в схемах, с соответствующими размерами приведены в Приложении А (таблица А.1), буквенные обозначения – в Приложении А (таблица А.2).

На рис. 1 показан принцип построения условного обозначения прибора.

Пример построения условного обозначения прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давления приведен на рис. 2.

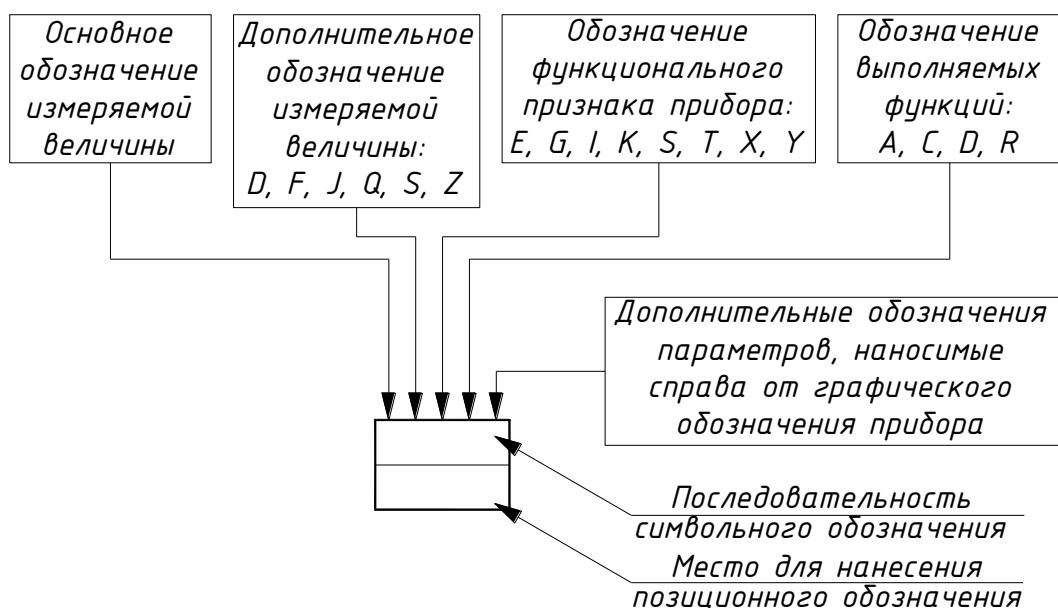


Рис. 1 – Принцип построения условного обозначения прибора

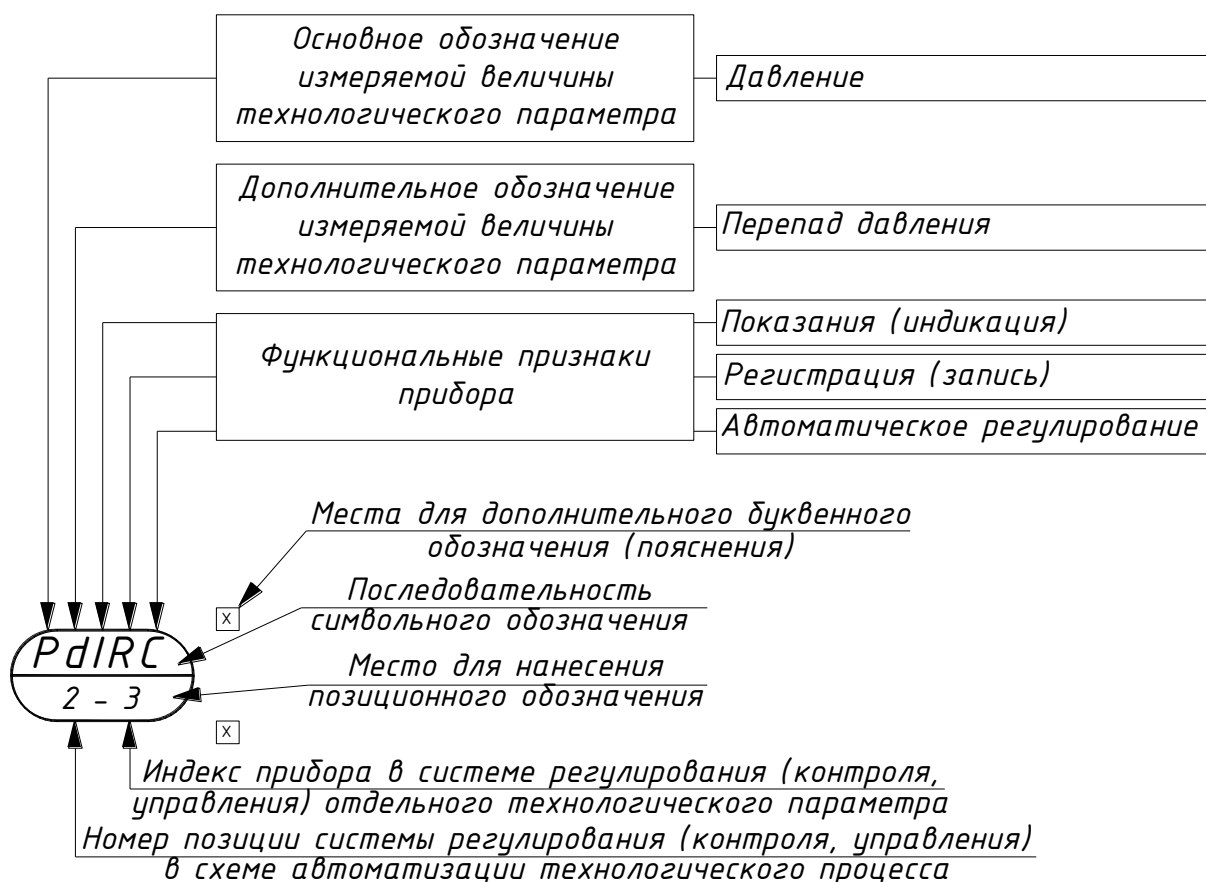


Рис. 2 – Пример построения условного обозначения прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давления

В соответствии с ГОСТ 21.208-2013 существуют два метода построения условных обозначений:

- упрощенный;
- развернутый.

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

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

Функциональные признаки (если их несколько в одном приборе) также располагаются в определенном порядке: I, R, C, S, A.

При построении условных обозначений приборов следует указывать не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используются в данной схеме.

1.4 Изображение технологического оборудования на функциональных схемах автоматизации

Технологическое оборудование и коммуникации при разработке функциональных схем должны изображаться, как правило, упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения [1].

Согласно ГОСТ 21.408-2013 технологическое оборудование изображают с учетом требований следующих стандартов:

- оборудование - по ГОСТ 2.780, ГОСТ 2.782, ГОСТ 2.788, ГОСТ 2.789, ГОСТ 2.790, ГОСТ 2.791, ГОСТ 2.792, ГОСТ 2.793, ГОСТ 2.794, ГОСТ 2.795;
- трубопроводную запорную арматуру, используемую в системах автоматизации (не регулирующую) - по ГОСТ 2.785.

2 РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

К основным технологическим параметрам, подлежащим контролю и регулированию в технологических процессах, относят температуру, расход, уровень, давление, значение pH и показатели качества (концентрацию, плотность, вязкость и др.) контролируемой среды.

2.1 Регулирование расхода

При регулировании расхода нужно учитывать некоторые особенности, не присущие обычно системам регулирования других технологических параметров [3]:

1 Инерционность объекта регулирования (обычно пренебрежимо малая).

2 Высокий уровень помех в сигнале, соответствующем измеренному значению расхода.

Для объектов регулирования инерционность – это свойство, характеризующее скорость протекания переходных процессов в указанных объектах.

Численно инерционность выражается параметром T_0 , с – постоянная времени объекта.

Например, после увеличения мощности, подводимой к водонагревателю, на величину $\Delta N = 1\%$ в нем на некоторую величину возрастет температура. Процесс изменения будет неравномерным во времени, при этом максимальная скорость изменения характеризуется касательной к графику и определяет величину T_0 (рис. 3).

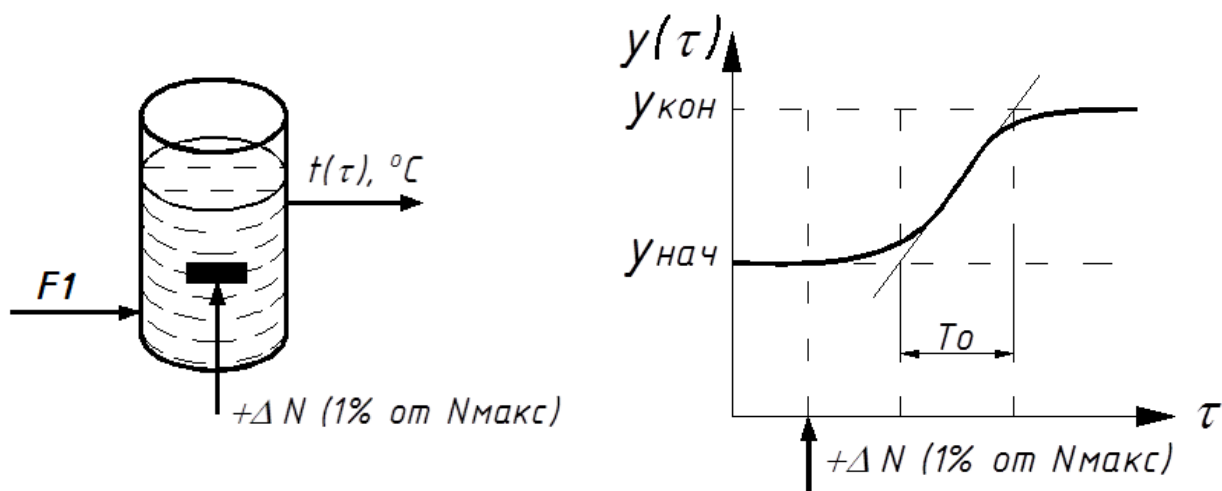


Рис. 3 – Графическое представление инерционности объекта регулирования

При регулировании расхода объектом регулирования является участок трубопровода между первичным измерительным преобразователем для измерения расхода и регулирующим органом. После перемещения штока регулирующего органа в новое положение новое значение расхода устанавливается за доли секунды или, в крайнем случае, за несколько секунд. Это означает, что динамические характеристики системы определяются главным образом инерционностью измерительного устройства, регулятора, исполнительного устройства и линией передачи сигнала (импульсных линий).

Помехи в сигнале (шум) представляют собой физические колебания расхода, частота которых настолько велика, что система не успевает на них реагировать. Наличие высокочастотных составляющих в сигнале изменения расхода – результат пульсаций давления в трубопроводе, которые в свою очередь являются следствием работы насосов, компрессоров, случайных колебаний расхода, например, при дросселировании потока через сужающее устройство. Поэтому при наличии шума, чтобы избежать усиления в системе случайных возмущений, следует применять малые значения коэффициента усиления регулятора.

Рассмотрим объект регулирования расхода – участок трубопровода 1, расположенный между местом измерения расхода (местом установки первичного измерительного преобразователя, например диафрагмы 2) и регулирующим органом 3 (рис. 4).

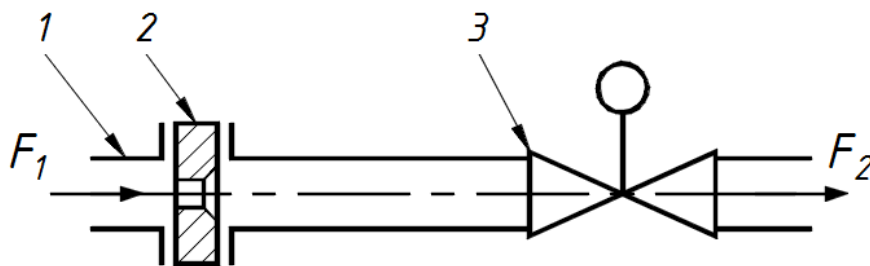


Рис. 4 – Фрагмент системы регулирования расхода

1 – участок трубопровода; 2 – диафрагма (сужающее устройство);

3 – регулирующий орган; F_1, F_2 – потоки вещества

Длина прямого участка трубопровода определяется правилами установки нормальных сужающих устройств и регулирующих органов и может составить несколько метров. Динамику объекта (трубопровода) – канала «расход вещества через регулирующий клапан» – «расход вещества через расходомер» – можно представить статическим звеном первого

порядка с транспортным запаздыванием. Значение постоянной времени T составляет несколько секунд; время транспортного запаздывания $\tau_{\text{зап}}$, для газа – доли секунды, для жидкости – несколько секунд.

Поскольку инерционность объекта при регулировании расхода незначительна, к выбору технических средств управления и методов расчета АСУ предъявляются повышенные требования. Выбор технических средств управления объектом – задача изучения дисциплины «Технологические измерения и приборы» [4], [5].

В системах регулирования расхода применяют различные способы изменения расхода:

- дросселирование потока вещества через регулирующий орган (клапан, заслонка, шибер и др.), установленный на трубопроводе;
- изменение угловой скорости вращения рабочего вала насоса или вентилятора;
- байпасирование потока.

2.1.1 Регулирование устройств для перемещения жидкостей и газов

Для транспортировки жидкостей по трубопроводам часто применяют центробежные и поршневые насосы, для транспортировки газов – вентиляторы, газодувки, центробежные компрессоры и др. Цель регулирования работы насосов, вентиляторов, компрессоров – поддержать их заданную производительность. Рассмотрим для примера схему регулирования расхода, создаваемого центробежным насосом (рис. 5).

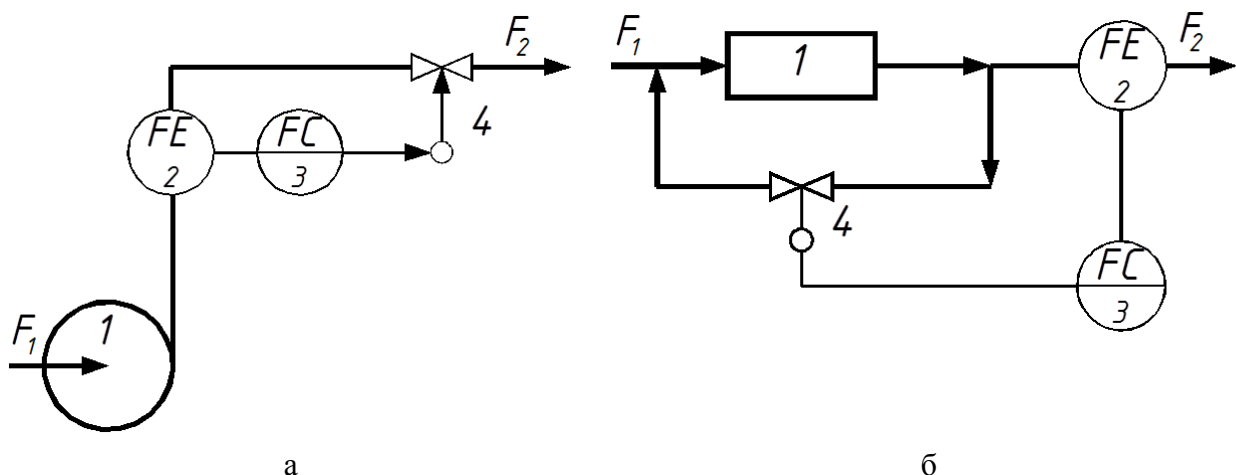


Рис. 5 – Схема регулирования расхода, создаваемого
а – центробежным насосом; б – поршневым насосом:

1 – насос; 2 – датчик расхода; 3 – регулятор; 4 – регулирующий клапан

Датчик расхода 2 устанавливается после центробежного насоса 1 на линии нагнетания перед регулирующим клапаном 4. При отклонении расхода жидкости от заданного значения регулятор 3 формирует командный сигнал, в соответствии с которым исполнительный механизм перемещает затвор регулирующего клапана 4. Проходное сечение регулирующего клапана изменяется, что приводит к изменению суммарного сопротивления гидравлической линии и, следовательно, расхода жидкости.

Устанавливать первичный измерительный преобразователь, например диафрагму, на линии всасывания центробежного насоса не рекомендуется: дросселирование потока через диафрагму может вызвать кавитацию в насосе, приводящую к его быстрому износу, снижению производительности и напора насоса.

Предложенный вариант регулирования расхода жидкости не применим, если для перемещения жидкости используют поршневой насос: по команде регулятора регулирующий клапан может полностью закрыться, что, в конечном итоге, приведет к разрыву трубопровода. Если регулирующий клапан установить на линии всасывания поршневого насоса, то это приводит к помпажу.

Тогда для регулирования расхода используют байпасирование потока (рис. 5, б): часть жидкости перепускают из нагнетательной линии во всасывающую линию. Таким же способом регулируют производительность шестеренчатых и лопастных насосов.

Производительность центробежных компрессоров стабилизируют системами регулирования с регулирующим клапаном, установленным на линии всасывания, и противопомпажной автоматической защитой (рис. 6).

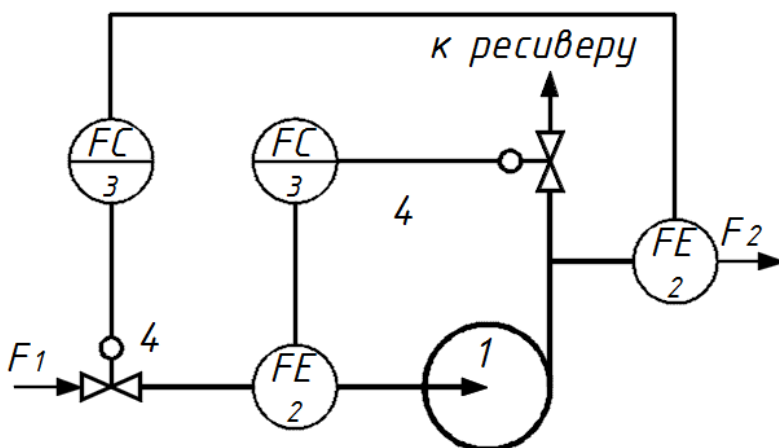


Рис. 6 – Схема регулирования производительности центробежного компрессора с противопомпажной защитой: 1 – компрессор; 2, 3 – датчик расхода; 4, 5 – регуляторы; 6, 7 – регулирующие клапаны

Для защиты применяется система сброса части сжатого газа в ресивер, уменьшая при этом расход сжатого газа в линии потребителя. В случае приближения режима работы компрессора к области помпажа, регулятор расхода открывает регулирующий клапан, установленный на линии нагнетания к ресиверу. Это приводит к увеличению производительности компрессора, снижению давления в нагнетательной линии, повышению давления во всасывающей линии, что предотвращает помпаж компрессора.

2.1.2 Регулирование соотношения расходов двух веществ

Существует несколько вариантов регулирования соотношения расходов двух веществ:

- суммарный расход двух веществ не задан, расход одного из веществ F_1 («ведущего») может меняться произвольно, соотношение между расходами первого и второго вещества должно быть постоянным;
- заданы соотношение расходов двух веществ и «ведущий» расход F_1 ;
- задан «ведущий» расход, регулирование соотношения расходов двух веществ проводится с коррекцией по третьему технологическому параметру.

Первый вариант (рис. 7). Суммарный расход двух веществ не задан, при этом расход одного из веществ F_1 («ведущий») может меняться произвольно.

Расход второго вещества F_2 («ведомый») изменяется в соответствии с уравнением:

$$F_2 = n \cdot F_1. \quad (1)$$

Соотношение между расходами второго и первого вещества должно быть постоянным и равным n .

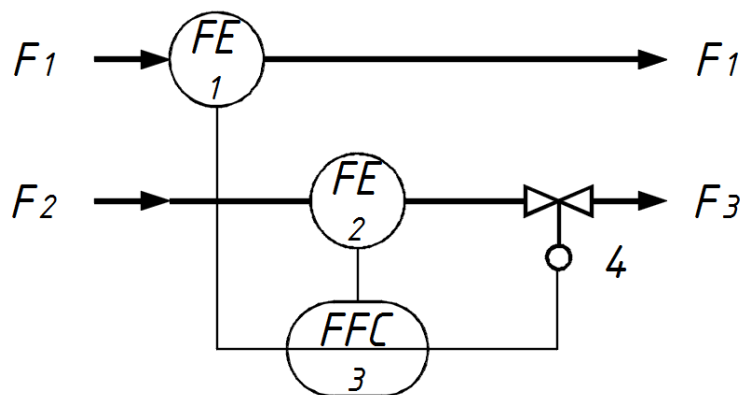


Рис. 7 – Схема регулирования соотношения расходов при произвольной нагрузке:
1, 2 – датчики расхода; 3 – регулятор расходов; 4 – регулирующий клапан

Второй вариант (рис. 8). Заданы соотношение расходов двух веществ и «ведущий» расход F_1 . Помимо регулирования соотношения расходов двух веществ применяют дополнительно еще регулирование «ведущего» расхода. При таком регулировании изменение задания по «ведущему» расходу F_1 автоматически изменяет и «ведомый» расход F_2 в заданном соотношении с F_1 .

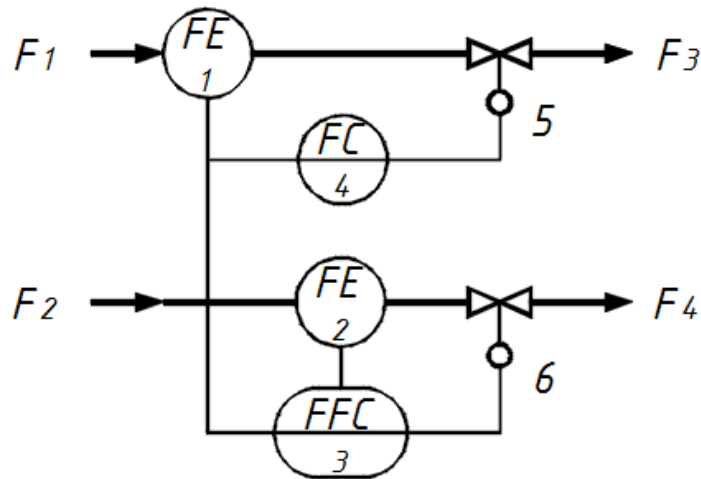


Рис. 8 – Схема регулирования соотношения расходов при заданной нагрузке:

1, 2 – датчики расхода; 3 – регулятор соотношения расходов;

4 – регулятор расхода; 5, 6 – регулирующие клапаны

Третий вариант (рис. 9). При заданном «ведущем» расходе F_1 регулирование соотношения расходов двух веществ проводится с коррекцией по третьему технологическому параметру. Регулирование соотношения расходов двух веществ является внутренним контуром в каскадной системе регулирования третьего технологического параметра, например, уровня в реакторе-смесителе 1. Заданный коэффициент соотношения расходов двух веществ устанавливается внешним регулятором уровня 6 в зависимости от третьего параметра.

Особенность настройки каскадных САУ заключается в том, что на задание внутреннему регулятору (в данном случае регулятору соотношения расходов двух веществ) устанавливается ограничение:

$$n_{\text{н}} \leq n \leq n_{\text{в}},$$

где $n_{\text{н}}$, $n_{\text{в}}$ – нижнее и верхнее соотношения расходов веществ соответственно.

Если выходной сигнал внешнего регулятора (регулятора уровня) выходит за пределы $[u_{\text{н}}; u_{\text{в}}]$, то задание внутреннему регулятору (в данном

случае регулятору соотношения расходов двух веществ) не меняется, а остается на предельно допустимом значении n , а именно, n_H или n_B .

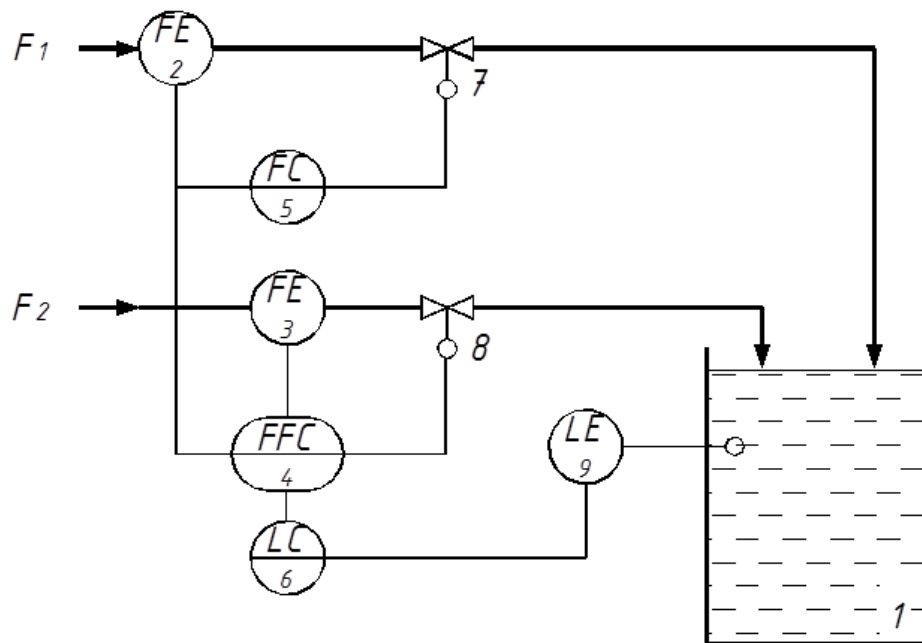


Рис. 9 – Схема регулирования соотношения расходов с коррекцией по третьему параметру (уровню) при заданной нагрузке:
 1 – реактор-смеситель; 2, 3 – датчики расхода; 4 – регулятор соотношения расходов;
 5 – регулятор расхода; 6 – регулятор уровня; 7, 8 – регулирующие клапаны;
 9 – датчик уровня

2.2 Регулирование уровня

Постоянство уровня жидкости в технологическом аппарате означает сохранение материального баланса, т. е. приток жидкости равен ее стоку, а скорость изменения уровня равна нулю:

$$\begin{aligned} F_{\text{вх}} &= F_{\text{вых}}; \\ dL/d\tau &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Понятия «приток» и «сток» рассматриваются как обобщенные понятия.

Уровень жидкости в аппарате можно регулировать, применяя различные схемы регулирования:

- регулирование «на притоке», изменяя расход жидкости на входе в аппарат (рис. 10, а);
- регулирование «на стоке», изменяя расход жидкости на выходе из аппарата (рис. 10, б);

– регулирование соотношения расходов жидкости на входе в аппарат и выходе из него с коррекцией по третьему технологическому параметру – уровню (каскадная система регулирования, рис. 11).

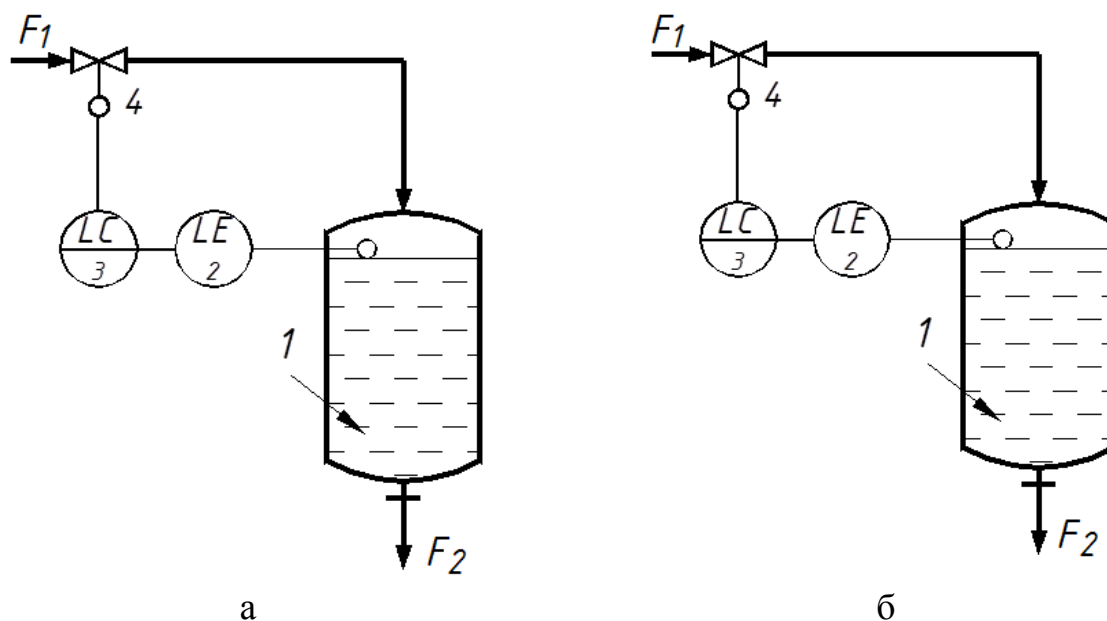


Рис. 10 – Схема непрерывного регулирования уровня:

а – «на притоке»; б – «на стоке»

1 – аппарат; 2 – первичный преобразователь, 3 – регулятор уровня;

4 – регулирующий клапан

Если в аппарате (испарителе, конденсаторе, ректификационной колонне и т. п.) имеют место фазовые превращения веществ, тогда уровень является характеристикой и гидродинамических, и тепло-массообменных процессов. Приток и сток должны учитывать фазовые превращения веществ. В этом случае уровень регулируют изменением расхода теплоносителя, например греющего пара или хладагента (рис. 12).

В указанных аппаратах уровень связан с другими технологическими параметрами, например давлением. Естественно, в каждом конкретном случае система регулирования уровня реализуется с учетом других контуров регулирования.

Изменение уровня жидкости в аппарате с постоянной по высоте площадью поперечного сечения A в общем случае можно представить уравнением:

$$A \frac{dL}{d\tau} = F_{\text{вх}} - F_{\text{вых}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{вх}}$, $F_{\text{вых}}$ – приток и сток жидкости соответственно с учетом фазовых и химических превращений.

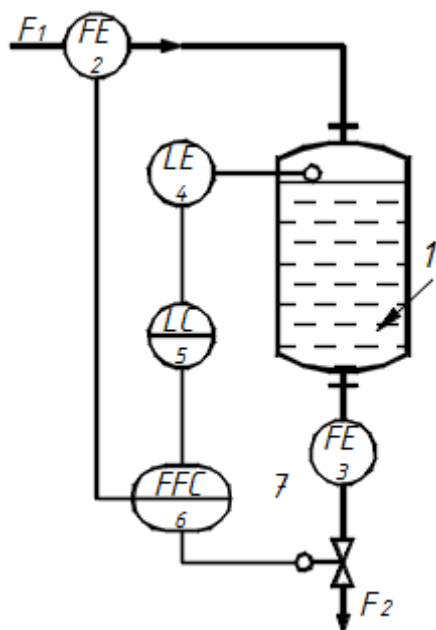


Рис. 11 – Схема непрерывного регулирования уровня каскадной САР:
1 – аппарат; 2, 3 – датчики расхода;
4 – первичный преобразователь;
5 – регулятор уровня «ведущий»;
6 – регулятор соотношения двух расходов «ведомый»; 7 – регулирующий клапан

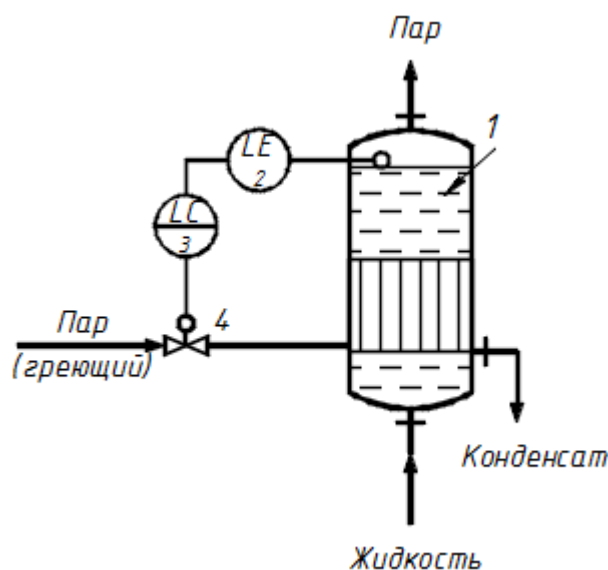


Рис. 12 – Схема непрерывного регулирования в испарителе:
1 – испаритель;
2 – первичный преобразователь;
3 – регулятор уровня;
4 – регулирующий клапан

Выбор непрерывного или позиционного регулятора определяется требуемой точностью поддержания уровня в аппарате.

Схема позиционного регулирования уровня приведена на рис. 13.

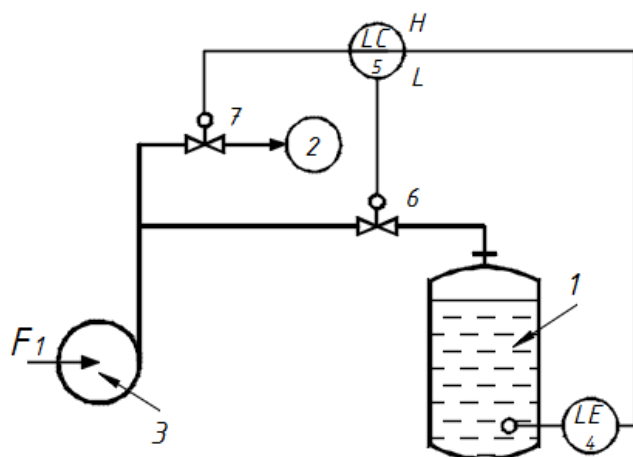


Рис. 13 – Схема позиционного регулирования уровня:
1 – сборник жидкости; 2 – резервный сборник жидкости; 3 – насос;
4 – датчик уровня; 5 – регулятор уровня; 6, 7 – регулирующие клапаны

Если необходимо уровень жидкости в аппарате поддерживать на заданном значении, а постоянные колебания уровня недопустимы, то

используют непрерывный регулятор. Позиционные регуляторы применяются обычно для поддержания уровня в сборниках жидкости, промежуточных емкостях в заданных (достаточно широких) пределах

$$L_{\text{н}} \leq L \leq L_{\text{в}},$$

где $L_{\text{н}} (L)$, $L_{\text{в}} (H)$ – нижнее и верхнее значения уровня жидкости в аппарате соответственно.

Если уровень достигает своего предельного значения $L_{\text{в}} (H, \text{верхнего})$, поток автоматически переключается на резервный сборник жидкости.

2.3 Регулирование давления

Давление является показателем соотношения расходов газовой фазы на входе в аппарат и выходе из него. Постоянство давления свидетельствует о сохранении материального баланса аппарата по газовой фазе, записываемого в виде:

$$V \frac{dp}{d\tau} = f[F_{\text{вх}} - F_{\text{вых}}], \quad (4)$$

где V – объем аппарата; $F_{\text{вх}}$ и $F_{\text{вых}}$ – приток и сток газа соответственно с учетом химических и фазовых превращений в аппарате, как и в (3).

Обычно давление в технологической установке стабилизируют в каком-либо одном аппарате, а по всей системе оно устанавливается в соответствии с гидравлическим сопротивлением технологических линий и аппаратов. Например, в многокорпусной выпарной установке (рис. 14) стабилизируют вакуум в последнем выпарном аппарате 2, выбрав в качестве управляющего воздействия изменение расхода охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор 3 (изменение расхода охлаждающей воды влияет на скорость конденсации вторичного пара, т. е. на $F_{\text{вых}}$). В остальных аппаратах при отсутствии возмущающих воздействий устанавливается разрежение, определяемое из условий материального и теплового балансов с учетом гидравлического сопротивления технологической линии.

Если давление значительно влияет на кинетику процесса, то предусматривается система стабилизации давления в отдельных аппаратах.

Таким примером является процесс ректификации, для которого кривая фазового равновесия зависит от давления. При регулировании процесса бинарной ректификации часто в качестве косвенного показателя состава смеси используют ее температуру кипения, однозначно связанную с составом только при постоянном давлении.

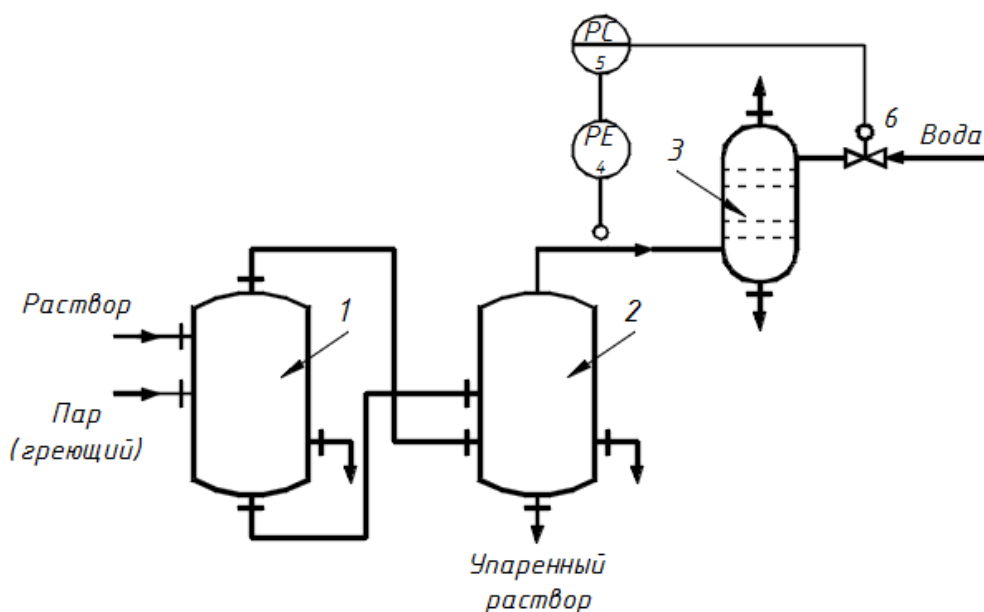


Рис. 14 – Регулирование вакуума в выпарной установке:
 1, 2 – выпарные аппараты; 3 – тарельчатый конденсатор;
 4 – первичный преобразователь; 5 – регулятор вакуума; 6 – регулирующий клапан

Поэтому в продуктовых ректификационных колоннах, как правило, предусмотрены специальные системы стабилизации давления, где в качестве управляющего воздействия выбрано изменение расхода не сконденсировавшихся газов, отводимых из верхней части колонны (рис. 15).

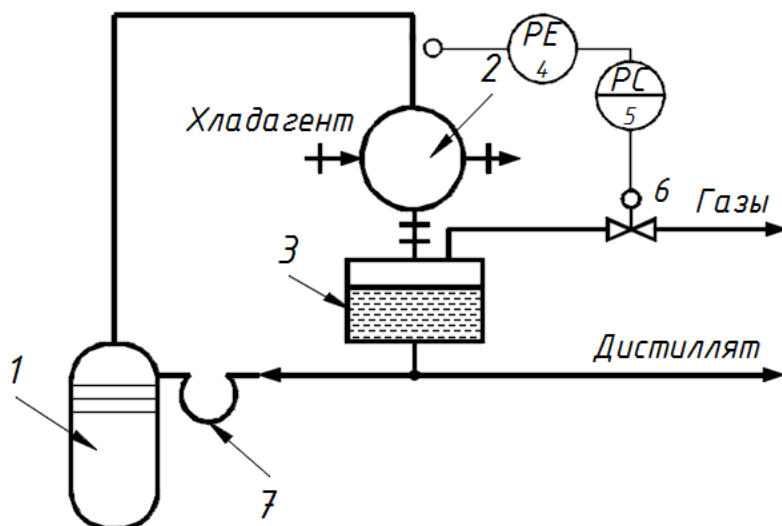


Рис. 15 – Регулирование давления в ректификационной колонне при наличии неконденсирующихся примесей:
 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – сборник флегмы; 4 – первичный преобразователь;
 5 – регулятор давления; 6 – регулирующий клапан; 7 – гидрозатвор

Проанализировав АСР, можно сделать вывод, что способы регулирования давления аналогичны способам регулирования уровня.

2.4 Регулирование температуры

Температура – показатель термодинамического состояния системы – выбирается как выходной параметр при регулировании тепловых процессов. Динамические характеристики объектов в системах регулирования температуры в значительной степени зависят от физико-химических параметров процесса и конструкции аппарата. Поэтому общие рекомендации по выбору систем регулирования температуры сформулировать весьма сложно, и для каждого конкретного технологического процесса требуется свой детальный анализ.

Рассмотрим вопрос регулирования температуры на примере процессов, происходящих в теплообменных аппаратах.

По типу взаимодействия сред различают теплообменники:

- непосредственного смешения теплоносителей;
- поверхностные.

2.4.1 Регулирование теплообменников непосредственного смешения теплоносителей

Регулирование теплообменников непосредственного смешения теплоносителей заключается в поддержании постоянства температуры T суммарного потока на выходе (рис. 16).

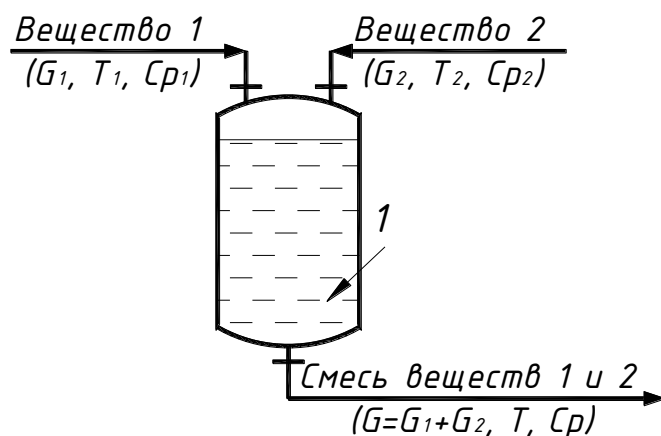


Рис. 16 – Принципиальная схема теплообменника непосредственного смешения теплоносителей:

1 – теплообменник; G, G_1, G_2 – расходы смеси, веществ 1 и 2 соответственно;

T, T_1, T_2 – температуры смеси, веществ 1 и 2 соответственно;

C, C_1, C_2 – концентрации смеси, веществ 1 и 2 соответственно

Для создания необходимого температурного режима в химических аппаратах используют передачу энергии в результате смешения двух и более веществ с разными теплосодержаниями.

Существует несколько вариантов регулирования температуры в теплообменниках непосредственного смешения теплоносителей.

Вариант 1. Задача стабилизации выходной температуры T смеси решается применением одноконтурной замкнутой системы регулирования, в которой регулирующим воздействием является расход G_1 (рис. 17).

Вариант 2 включает систему регулирования соотношения расходов G_1 и G_2 (рис. 18). Это разомкнутая система регулирования, способна обеспечить инвариантность регулируемой температуры смеси T к возмущениям по расходу G_2 , однако при наличии любого другого возмущения T не будет равна заданной.

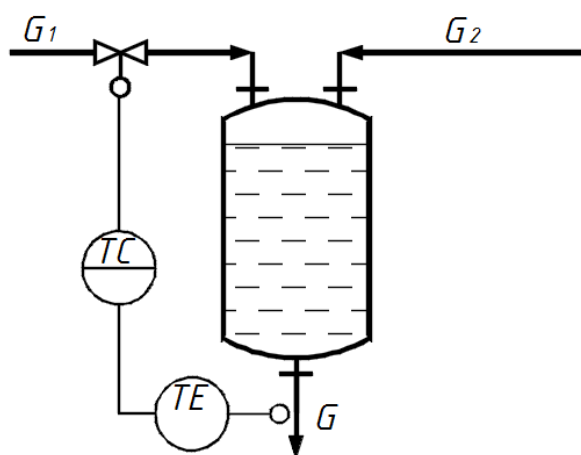


Рис. 17 – Функциональная схема (упрощенная) замкнутой одноконтурной АСР температуры в теплообменнике непосредственного смешения теплоносителей

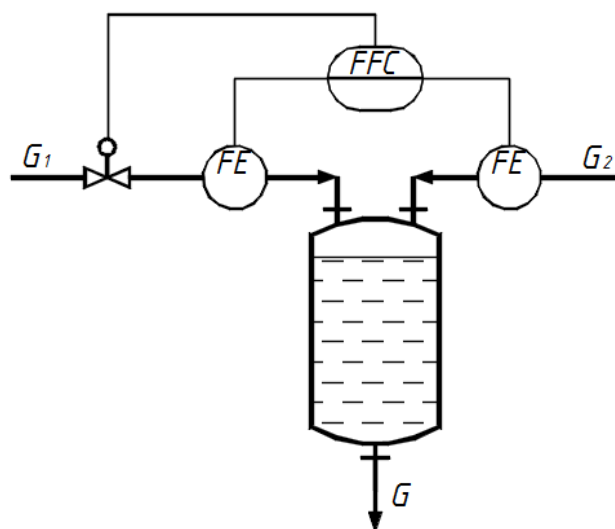


Рис. 18 – Функциональная схема (упрощенная) разомкнутой одноконтурной АСР температуры в теплообменнике непосредственного смешения теплоносителей

Вариант 3 (рис. 19) отличается компенсатором возмущения по T_2 . Таким образом, данная система регулирования может обеспечить независимость выходной температуры от двух основных возмущений G_2 и T_2 . Однако при наличии других возмущений (например, изменение теплотерь в окружающую среду) температура будет отклоняться от заданной.

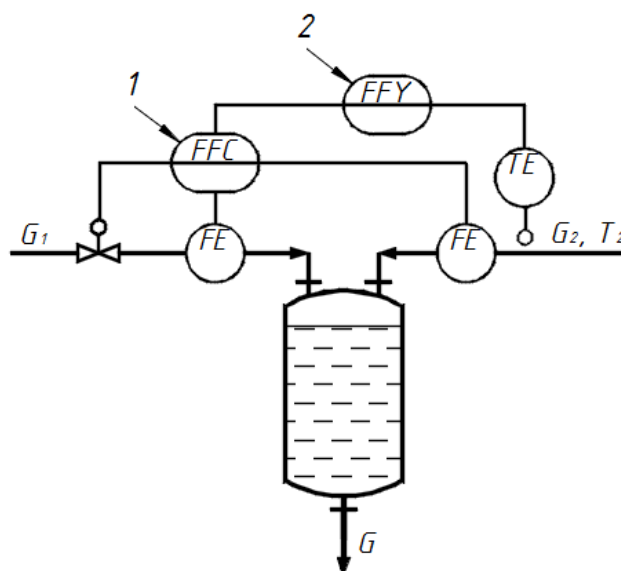


Рис. 19 – Функциональная схема разомкнутой АСР температуры в теплообменнике непосредственного смешения теплоносителей с компенсацией двух возмущений:
1 – регулятор соотношения; 2 – компенсатор

Варианты 4 и 5 являются разновидностями комбинированных АСР, в которых обеспечивается компенсация основных возмущений и вводится обратная связь по регулируемой характеристике.

Вариант 4 – система регулирования соотношения расходов G_1 и G_2 с коррекцией коэффициента по выходной температуре смеси T (рис. 20), т.е. двухкаскадная АСР. Основным (внешним) регулятором является регулятор температуры 1, а вспомогательным (внутренним) – регулятор соотношения 2, осуществляющий компенсацию возмущения по расходу G_2 .

Вариант 5 – система регулирования температуры смеси с коррекцией по двум возмущениям G_2 и T_2 , т.е. комбинированная АСР. Динамический компенсатор 2 (рис. 21) в данном случае должен содержать вычислительное устройство для расчёта корректирующей поправки на задание по выходной температуре регулятору 1 в зависимости от температуры и расхода второго потока.

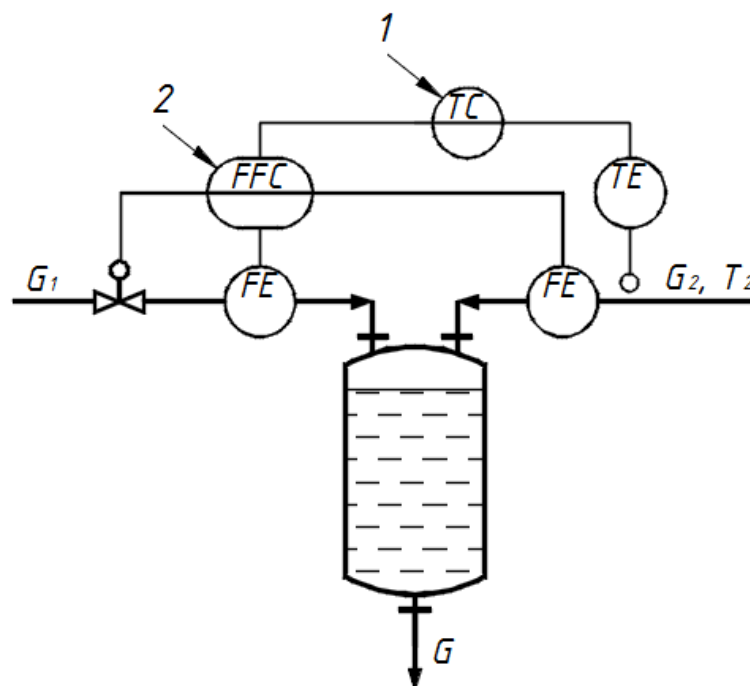


Рис. 20 – Функциональная схема каскадной АСР температуры в теплообменнике непосредственного смешения теплоносителей:
1 – регулятор температуры; 2 – регулятор соотношения расходов.

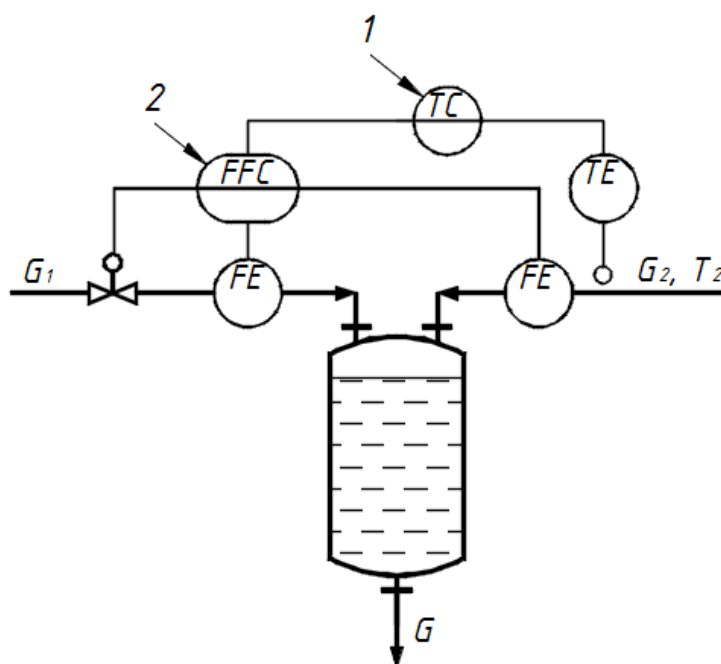


Рис. 21 – Функциональная (а) и структурная (б) схемы комбинированной АСР температуры в теплообменнике смешения:
1 – регулятор температуры; 2 – компенсатор.

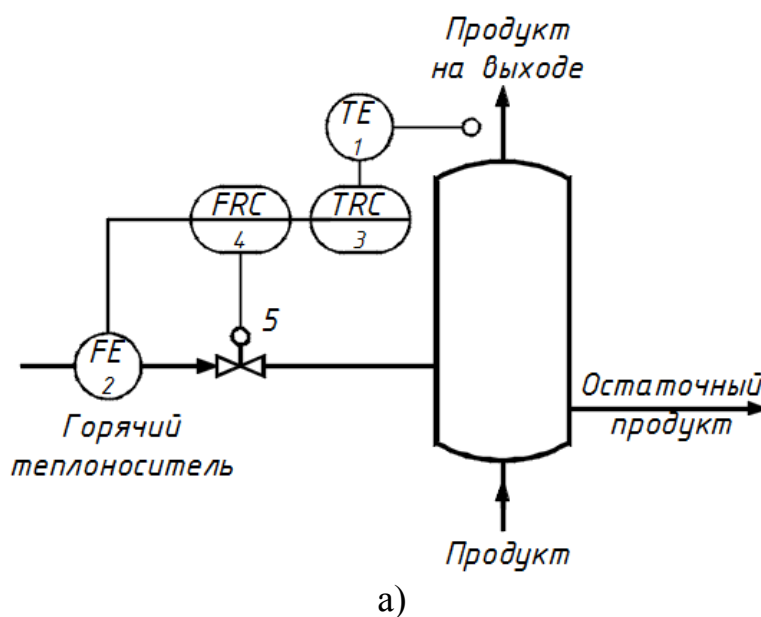
Из рассмотренных примеров систем автоматизации наилучшее качество регулирования обеспечат два последних варианта.

2.4.2 Регулирование поверхностных теплообменников

Регулирование поверхностных теплообменников заключается в поддержании постоянства температуры одного из теплоносителей на выходе из теплообменника.

Существует несколько вариантов регулирования температуры в поверхностных теплообменниках, наиболее распространенными являются двухконтурные АСР.

Вариант 1. Использование двухконтурных АСР (каскадно-связанное регулирование) значительно улучшает качество регулирования конечной температуры продукта (основная регулируемая величина), если в качестве вспомогательного параметра выбирают расход теплоносителя (рис. 22, а), если теплоносителем служит пар с переменным давлением, то предпочтительнее брать давление теплоносителя в рубашке теплообменного аппарата (рис. 22, б).



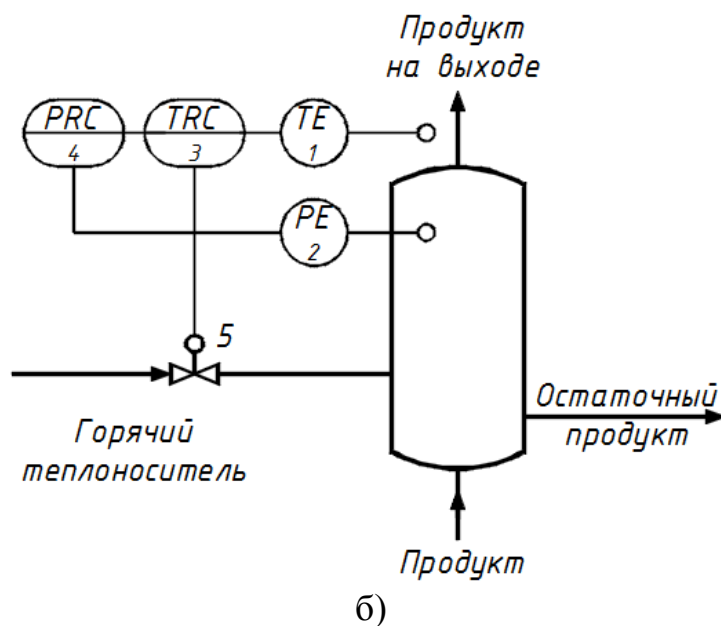


Рис. 22 – Функциональная схема автоматизации теплообменника:
а – изменением расхода теплоносителя; б – изменением давления теплоносителя

Вариант 2. Регулирование процесса нагревания байпасированием продукта применяют в системах, где недопустимо изменение расхода теплоносителя. Регулирующее воздействие в этих случаях осуществляется изменением расхода байпасируемого продукта (рис. 23, а).

При высоких требованиях к постоянству расхода продукта устанавливают два исполнительных механизма (рис. 23, б).

Регулирование методом байпасирования улучшает динамическую характеристику системы, так как при этом из цепи регулирования исключается теплообменник.

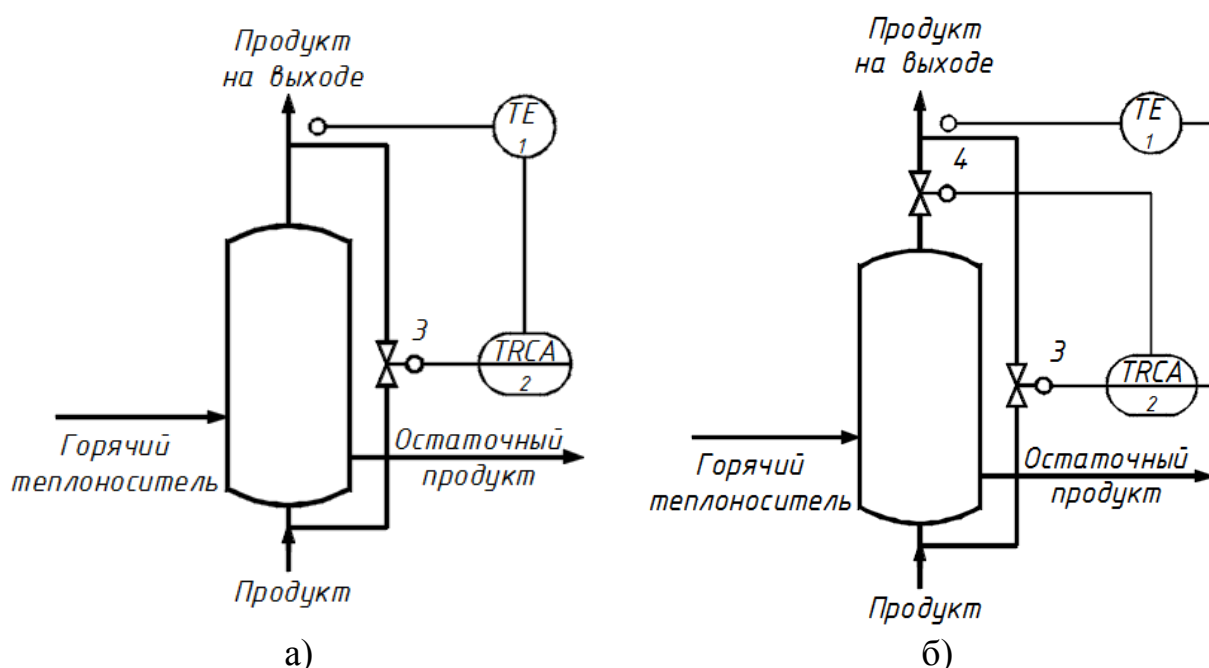


Рис. 23 – Функциональная схема автоматизации теплообменника байпасированием продукта

Вариант 3. Регулирование процесса изменением температуры горячего теплоносителя. Если насос теплоносителя установлен после теплообменника, то стабилизировать конечную температуру продукта можно путем изменения начальной температуры горячего теплоносителя за счет рециркуляции части отработанного теплоносителя (рис. 24).

Достоинством данного метода является постоянство расхода и скорости теплоносителя в теплообменнике, что обеспечивает высокие и стабильные значения коэффициента теплоотдачи

Если для качественного управления процессом теплообмена допустимо изменение или стабилизация расхода продукта, то в зависимости от возможных возмущающих воздействий может быть принят один из вариантов схем регулирования (рис. 25, а, б).

Стабилизирующие регуляторы расхода теплоносителя и расхода продукта ликвидируют возмущения до поступления их в систему.

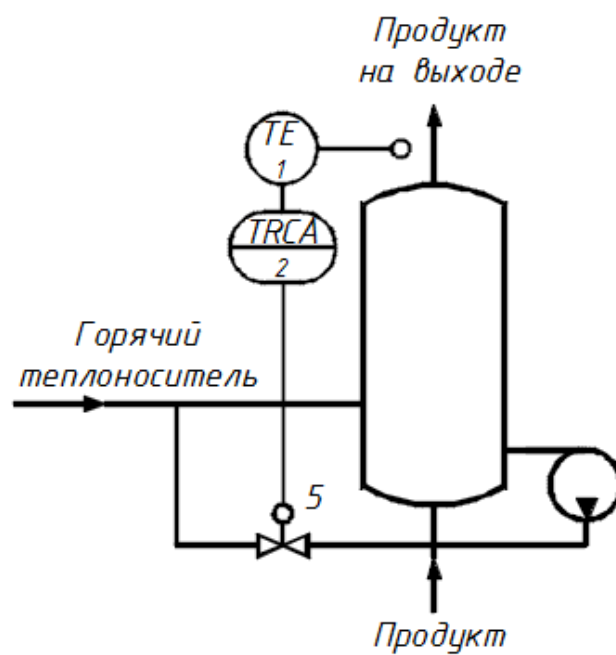
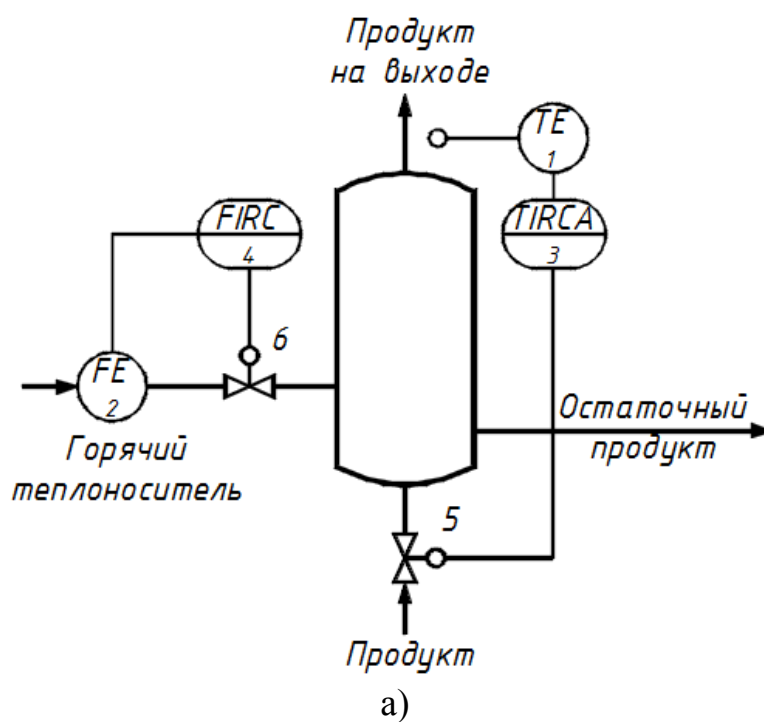
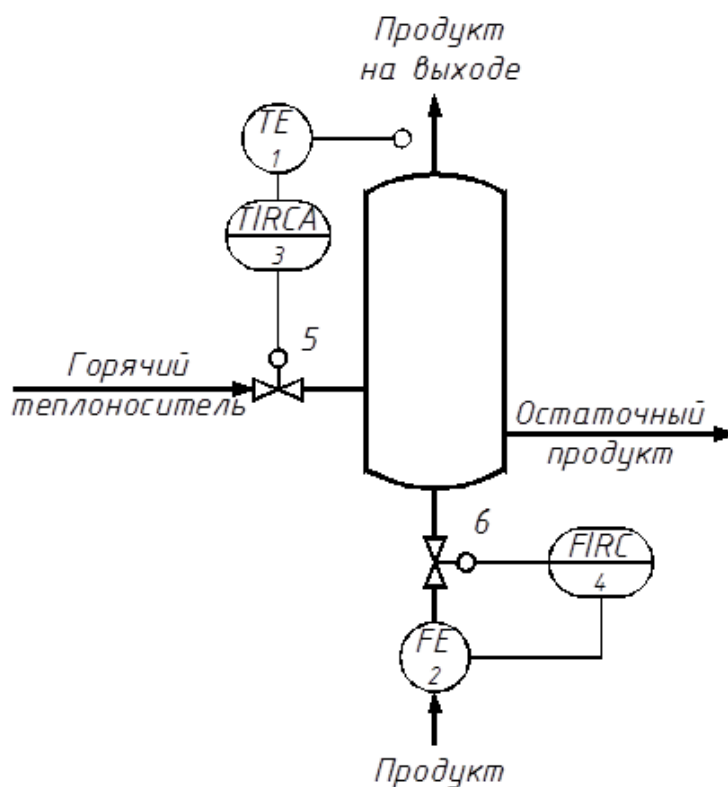


Рис. 24 – Функциональная схема автоматизации теплообменника изменением начальной температуры горячего теплоносителя





б)

Рис. 25 – Функциональная схема автоматизации теплообменника:
а – изменением расхода продукта; б – изменением расхода теплоносителя

2.5 Регулирование pH

Различают две основные системы регулирования pH в зависимости от требуемой точности регулирования:

- 1 Для поддержания pH в заданных пределах ($pH_n \leq pH \leq pH_v$) где pH_n и pH_v – нижний и верхний пределы регулирования pH соответственно;
- 2 Для точного поддержания заданного значения pH.

Системы первого типа применяются, когда скорость изменения pH мала, а допустимые пределы ее колебаний достаточно широки.

Пример: регулирование pH в процессе ферментации, в котором благодаря большому времени пребывания раствора и медленному исчезновению реагента можно сравнительно легко осуществить позиционное регулирование величины pH.

Ко второму типу относятся системы, обеспечивающие регулирование процессов, в которых требуется точное поддержание pH на заданном уровне (например, в процессах нейтрализации воды).

Общей особенностью объектов при регулировании pH является нелинейность их статических характеристик, связанная с не линейной

зависимостью pH от расходов реагентов. На рис. 26 показана кривая титрования, характеризующая зависимость pH от расхода реагента G . Для различных значений pH на этой кривой можно выделить три характерных участка $I - III$: первый (средний), относящийся к почти нейтральным средам, близок к линейному и характеризуется очень большим коэффициентом усиления; второй и третий участки, относящиеся к сильнощелочным или кислым средам, обладают наибольшей кривизной.

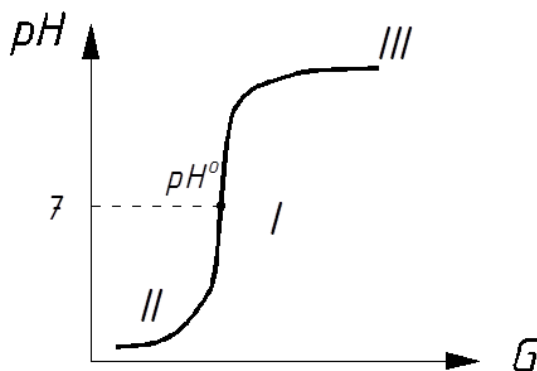


Рис. 26 – Пример кривой титрования

На первом участке объект по своей характеристике приближается к релейному элементу.

Для обеспечения устойчивого регулирования применяют специальные системы:

- регулирование pH с использованием двух регулирующих клапанов разного размера;
- регулирование pH с использованием двух (или более) последовательно соединенных реакторов.

На рис. 27 показан пример АСР с двумя регулируемыми клапанами. Клапан 4, обладающий большим условным диаметром, служит для грубого регулирования расхода и настроен на максимальный диапазон изменения выходного сигнала регулятора $[Xp_n; Xp_v]$, где Xp_n и Xp_v – нижняя и верхняя границы выходного сигнала регулятора соответственно. Этому диапазону соответствует кривая I (рис. 26).

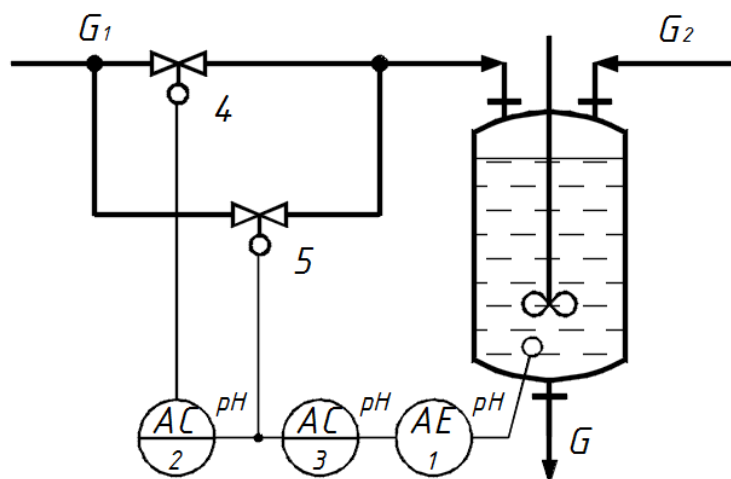


Рис. 27 – Схема регулирования с двумя регулирующими клапанами:
1 – первичный преобразователь; 2, 3 – регуляторы; 4, 5 - клапаны

При небольших отклонениях pH от величины, соответствующей точке нейтрализации ($pH^0 = 7$), когда коэффициент усиления объекта велик, командный сигнал регулятора 3 оказывается в зоне нечувствительности регулятора 2. Выходной сигнал регулятора 2 не изменяется и положение затвора большого клапана 4 остается прежним. Регулирование процесса нейтрализации осуществляется с помощью малого клапана 5. Изменение командного сигнала регулятора приводит к небольшому изменению расхода реагента G_1 , то есть коэффициент усиления исполнительного устройства в этом случае мал.

Если значение pH сильно отклоняется от величины, соответствующей точке нейтрализации, то есть объект работает в режиме, где его коэффициент усиления мал, то командный сигнал регулятора 3 выходит из зоны нечувствительности регулятора 2. При этом затвор малого клапана занимает одно из крайних положений, а регулирование осуществляется за счет большого клапана. Изменение командного сигнала регулятора приводит к большому изменению расхода реагента G_1 , то есть коэффициент усиления исполнительного устройства в этом случае велик.

На рис. 28 показан пример АСР с использованием двух реакторов. Поток реагента по ректорам распределяют следующим образом: большую часть реагента подают в первый реактор (форнейтрализатор), где, в основном, и происходит реакция нейтрализации (грубая). Во второй реактор подают оставшуюся (малую) часть реагента, необходимую для окончательного завершения реакции нейтрализации (точной), то есть до достижения точки нейтрализации pH^0 на кривой титрования.

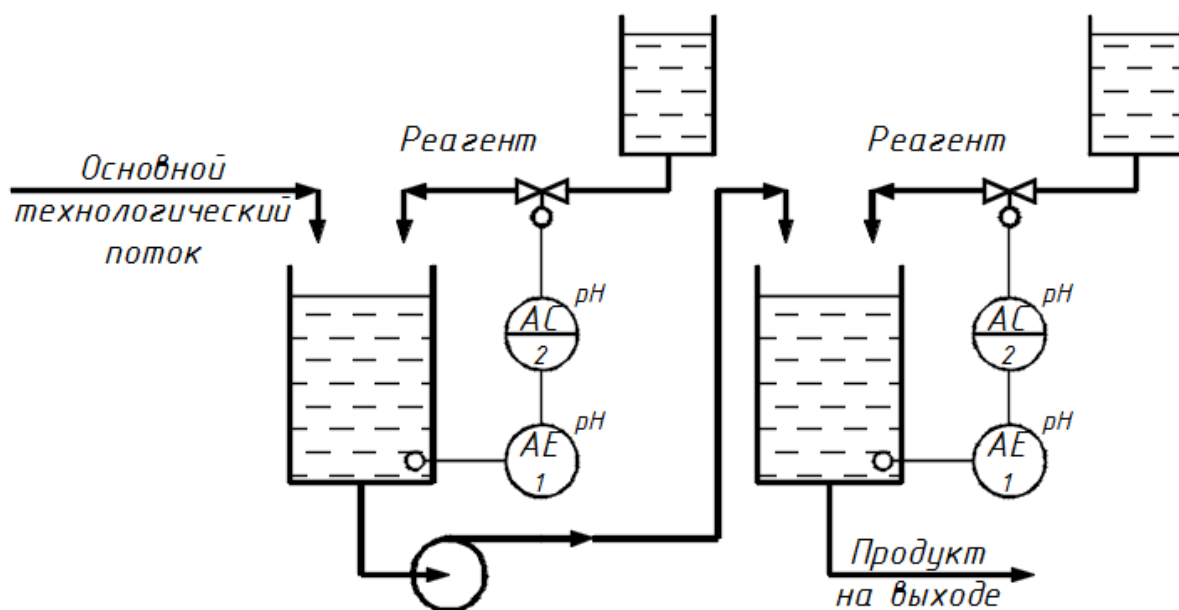


Рис. 28 – Схема регулирования с использованием двух реакторов

2.6 Регулирование параметров состава и качества

Качественные параметры (концентрация вещества в потоке, состав газовой смеси) должны точно поддерживаться на заданном уровне. Сложность регулирования качественных параметров определяется, в первую очередь, сложностью их измерения. В последнее время одним из способов регулирования качественных параметров является регулирование по косвенному показателю с дальнейшим уточнением алгоритма его расчета по данным прямых анализов, получаемых анализаторами состава газа и жидкости.

Приложение А

Условные обозначения приборов и средств автоматизации

Таблица А.1 – Условные графические обозначения приборов и средств автоматизации в схемах (с размерами)

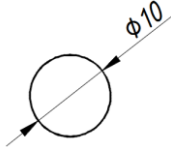
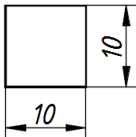
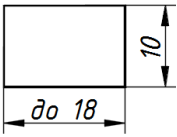
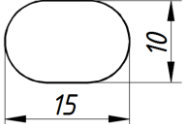
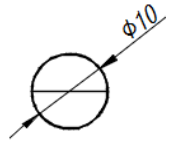
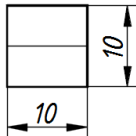
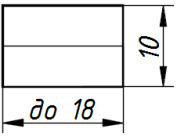
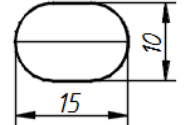
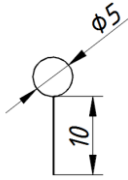
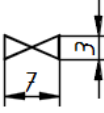
Наименование	Обозначение
Прибор, аппарат, устанавливаемый вне щита (по месту): - основное обозначение - допустимое обозначение - допустимое обозначение согласно ГОСТ 21.404-85	   
Прибор, аппарат, устанавливаемый на щите: - основное обозначение - допустимое обозначение - допустимое обозначение согласно ГОСТ 21.404-85	   
Исполнительный механизм	
Регулирующий орган (согласно ГОСТ 21.404-85)	

Таблица А.2 – Основные символьные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов (ГОСТ 21.208-2013)

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
А	Анализ Величина, характеризующая качество: состав, концентрация, детектор дыма и т.п. (5)	-	Сигнализа-ция	-	-
В	Пламя, горение	-	-	-	-
С	+	-	-	Автомати-ческое регулирова-ние, управление	-
Д	+	Разность, перепад	-	-	Величина отклонения от заданной измеряемой величины (4.7)
Е	Напряжение	-	-	Чувстви-тельный элемент (4.2)	-
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	-	-	-
G	+	-	Первичный показываю-щий прибор	-	-
Н	Ручное воздействие	-	-	-	Верхний предел измеряемой величины (4.6)
I	Ток	-	Вторичный показы-вающий прибор	-	-
J	Мощность	Автомати-ческое переключение, обегание	-	-	-

Продолжение таблицы А.2

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
K	Время, временная программа	-	-	Станция управления (4.1)	-
L	Уровень	-	-	-	Нижний предел измеряемой величины (4.6)
M	+	-	-	-	Величина или среднее положение (между верхним и нижним)
N	+	-	-	-	-
O	+	-	-	-	-
P	Давление, вакуум	-	-	-	-
Q	Количество	Интегрирование, суммирование по времени	-	+	-
R	Радиоактивность (5)	-	Регистрация	-	-
S	Скорость, частота	Самосрабатывающее устройство безопасности (2)	-	Включение, отключение, переключение, блокировка (4.3)	-
T	Температура	-	-	Преобразование (4.4)	-
U	Несколько разнородных измеряемых величин	-	-	-	-
V	Вибрация	-	+	-	-
W	Вес, сила, масса	-	-	-	-
X	Нерекомендуемая резервная буква	-	Вспомогательные компьютерные	-	-

Продолжение таблицы А.2

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
			устройства		
Y	Событие, состояние (1)	-	-	Вспомогательное вычислительное устройство (4.5)	-
Z	Размер, положение, перемещение	Система инструментальной безопасности, ПАЗ (3)	-	+	-

Примечания:

- 1 Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», назначаются по выбору пользователя, а отмеченные знаком «-» не используются.
- 2 В круглых скобках приведены номера пунктов пояснения.

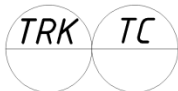
Пояснения:

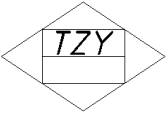
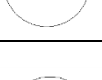
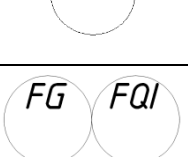
- 1 Первая буква Y показывает состояние или событие, которое определяет реакцию устройства
- 2 Символ S применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемой величины F, P, T и указывает на самосрабатывающие устройства безопасности, - предохранительный или отсечной клапан, термореле. Символ S не должен использоваться для обозначения устройств, входящих в систему инструментальной безопасности - ПАЗ.
- 3 Символ Z применяется в качестве дополнительного обозначения измеряемой величины для устройств система инструментальной безопасности - ПАЗ.
- 4 Функциональные признаки приборов:
 - 4.1 Букву K применяют для обозначения станции управления, имеющей переключатель для выбора вида управления и устройство для дистанционного управления.
 - 4.2 Букву E применяют для обозначения чувствительного элемента, выполняющего функцию первичного преобразования: преобразователи термоэлектрические, термопреобразователи сопротивления, датчики пирометров, сужающие устройства расходомеров и т. п.
 - 4.3 Букву S применяют для обозначения контактного устройства прибора, используемого только для включения, отключения, переключения, блокировки.
При применении контактного устройства прибора, для включения, отключения и одновременно для сигнализации в обозначении прибора используют обе буквы S и A.
 - 4.4 Букву T применяют для обозначения первичного прибора бесшкального с дистанционной передачей сигнала: манометры, дифманометры, манометрические термометры.
 - 4.5 Букву Y применяют для обозначения вспомогательного устройства, выполняющего функцию вычислительного устройства.
 - 4.6 Предельные значения измеряемых величин, по которым осуществляют, например, включение, отключение, блокировку, сигнализацию, допускается конкретизировать добавлением букв H и L. Комбинацию букв HH и LL используют для указания двух величин. Буквы наносят справа от

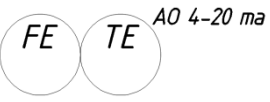
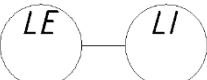
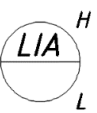
Продолжение таблицы А.2

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
графического обозначения. 4.7 Отклонение функции D при объединении с функцией А (тревога) указывает, что измеренная переменная отклонилась от задания или другой контрольной точки больше, чем на предопределенное число. 5 При необходимости конкретизации измеряемой величины справа от графического обозначения прибора допускается указывать наименование, символ этой величины или ее значение, для измеряемой величины А указывают тип анализатора, обозначение анализируемой величины и интервал значений измеряемого параметра.					

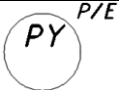
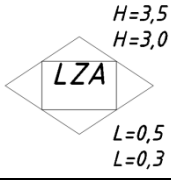
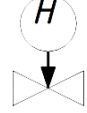
Таблица А.3 – Примеры построения условных обозначений приборов и средств автоматизации (ГОСТ 21.208-2013)

Наименование	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту. Например: преобразователь термоэлектрический (термопара), термопреобразователь сопротивления, термобаллон манометрического термометра, датчик пирометра и т.п.	
Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту. Например: термометр ртутный, термометр манометрический и т.п.	
Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на щите. Например: милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.	
Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: термометр манометрический (или любой другой датчик температуры) бесшкальный с пневмо- или электропередачей	
Прибор для измерения температуры одноточечный, регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.	
Прибор для измерения температуры с автоматическим обегачим устройством, регистрирующий, установленный на щите. Например: многоточечный самопишущий потенциометр, мост автоматический и т.п.	
Прибор для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например: любой самопишущий регулятор температуры (термометр манометрический, милливольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический и т.п.)	
Регулятор температуры бесшкальный, установленный по месту. Например: дилатометрический регулятор температуры	
Комплект для измерения температуры регистрирующий, регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите. Например: вторичный прибор и регулирующий блок системы "Старт"	
Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле температурное	
Первичный прибор контроля температуры в системе ПАЗ	

Измерение температуры. Аналого-цифровой преобразователь, установленный на щите, включенный в контур ПАЗ	
Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите	
Переключатель электрических цепей измерения (управления), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите	
Прибор для измерения давления (разрежения) показывающий, установленный по месту. Например: любой показывающий манометр, дифманометр, тягомер, напорометр, вакуумметр и т.п.	
Прибор для измерения перепада давления показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр показывающий	
Прибор для измерения давления (разрежения) бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр) бесшкальный с пневмо- или электропередачей	
Прибор для измерения давления (разрежения) регистрирующий, установленный на щите. Например: самопишущий манометр или любой вторичный прибор для регистрации давления	
Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле давления	
Прибор для измерения давления (разрежения) показывающий с контактным устройством, установленный по месту. Например: электроконтактный манометр, вакуумметр и т.п.	
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту. Например: датчик индукционного расходомера и т.п.	
Прибор для измерения расхода бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: ротаметр бесшкальный с пневмо- или электропередачей	
Прибор для измерения соотношения расходов регистрирующий, установленный на щите. Например: любой вторичный прибор для регистрации соотношения расходов	
Прибор для измерения расхода показывающий, установленный по месту. Например: дифманометр (ротаметр) показывающий	
Прибор для измерения расхода интегрирующий, установленный по месту. Например: любой бесшкальный счетчик-расходомер с интегратором	
Прибор для измерения расхода показывающий, интегрирующий, установленный по месту. Например: дифманометр показывающий с интегратором	

Массовый многопараметрический расходомер, обеспечивающий измерение расхода, температуры с аналоговым токовым выходом 4-20 мА	
Прибор для измерения расхода интегрирующий, с устройством для выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту. Например: счетчик-дозатор	
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения уровня, установленный по месту. Например: датчик электрического или емкостного уровнемера	
Прибор для измерения уровня показывающий, установленный по месту. Например: манометр (дифманометр), используемый для измерения уровня	
Прибор для измерения уровня с выносным блоком индикации. Показать в виде двух отдельных блоков с соединительной линией в соответствии с ГОСТ 21.408	
Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле уровня, используемое для блокировки и сигнализации верхнего уровня	
Прибор для измерения уровня бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: уровнемер бесшкальный с пневмо- или электропередачей	
Прибор для измерения уровня бесшкальный, регулирующий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: электрический регулятор-сигнализатор уровня. Буква Н в данном примере означает блокировку по верхнему уровню	
Прибор для измерения уровня показывающий, с контактным устройством, установленный на щите. Например: прибор вторичный показывающий с сигнальным устройством. Буквы Н и L означают сигнализацию верхнего и нижнего уровней	
Прибор для измерения размеров показывающий, установленный по месту. Например: прибор показывающий для измерения толщины стальной ленты	
Прибор для измерения электрической величины показывающий, установленный по месту. Например: - напряжение; - сила тока; - мощность	

Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите. Например: командный электропневматический прибор (КЭП), многоцепное реле времени	
Прибор для измерения плотности раствора бесшкальный, с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Например: датчик плотномера с пневмо- или электропередачей	 <i>Плотность 0,8–0,9 г/см³</i>
Прибор для измерения влажности регистрирующий, установленный на щите. Например: прибор влагомера вторичный	 <i>Влажность</i>
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения качества продукта, установленный по месту. Например: датчик pH-метра	 ^{pH}
Прибор для измерения качества продукта показывающий, установленный по месту. Например: газоанализатор показывающий для контроля содержания кислорода в дымовых газах	 ^{O₂}
Прибор для измерения качества продукта регистрирующий, регулирующий, установленный на щите. Например: прибор вторичный самопишущий регулятора концентрации серной кислоты в растворе	 ^{H₂SO₄}
Прибор для измерения радиоактивности показывающий, с контактным устройством, установленный по месту Например: прибор для показания и сигнализации предельно допустимых концентраций α- и β- лучей	 ^{α, β}
Прибор для измерения скорости вращения, привода регистрирующий, установленный на щите. Например: прибор вторичный тахогенератора	
Прибор для измерения нескольких разнородных величин регистрирующий, установленный по месту. Например: дифманометр-расходомер самопишущий с дополнительной записью давления. Надпись, расшифровывающая измеряемые величины, наносится справа от прибора	 ^{U=f(F, P)}
Прибор для измерения вязкости раствора показывающий, установленный по месту. Например: вискозиметр показывающий	 <i>Вязкость</i>
Прибор для измерения массы продукта показывающий, с контактным устройством, установленный по месту. Например: устройство электронно-тензометрическое сигнализирующее	
Прибор для контроля погасания факела в печи бесшкальный, с контактным устройством, установленный на щите. Например: прибор вторичный запально-защитного устройства	
Преобразователь сигнала, установленный на щите. Входной сигнал электрический, выходной сигнал тоже электрический. Например: преобразователь измерительный, служащий для преобразования т.э.д.с. термометра термоэлектрического в сигнал постоянного тока	 ^{E/E}

Преобразователь сигнала, установленный по месту. Входной сигнал пневматический, выходной - электрический	
Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения. Например: множитель на постоянный коэффициент К, установленный на щите	
Пусковая аппаратура для управления электродвигателем (включение, выключение насоса; открытие, закрытие задвижки и т.д.). Например: магнитный пускатель, контактор и т.п. Применение резервной буквы N должно быть оговорено на поле схемы	
Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления (включение, выключение двигателя; открытие, закрытие запорного органа, изменение задания регулятору), установленная на щите. Например: кнопка, ключ управления, задатчик	
Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, снабженная устройством для сигнализации, установленная на щите. Например: кнопка со встроенной лампочкой, ключ управления с подсветкой и т.п.	
Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту. Например: реле уровня, используемое для ПАЗ верхнего уровня и нижнего уровня с выводом сигнала при четырех значениях уровня	
Клапан регулирующий, закрывающий при прекращении подачи энергии с функцией ручного управления	

Приложение Б

Пример разработки функциональной схемы автоматизации по заданному технологическому процессу

Рассмотрим процесс нагревания на примере поверхностного кожухотрубчатого теплообменника (рисунок Б.1), в который подают нагреваемый продукт и теплоноситель [6].

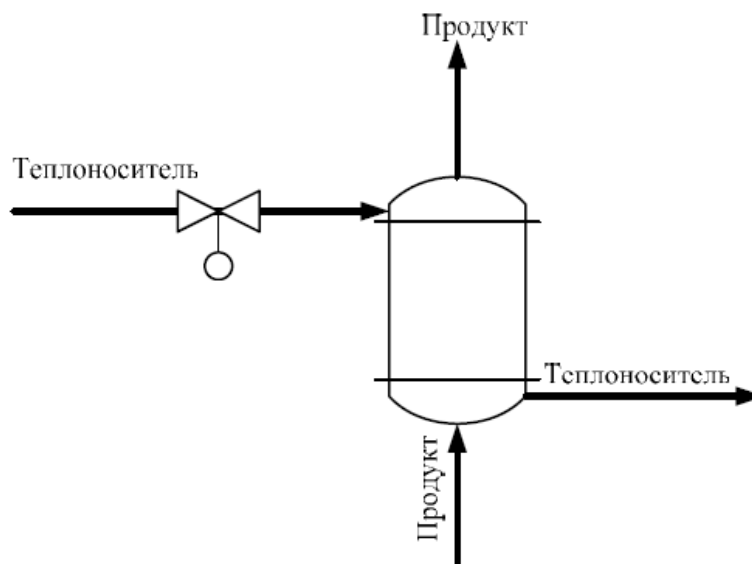


Рис. Б.1 – Технологическая схема процесса нагревания в теплообменнике

Показателем эффективности данного процесса является температура продукта на выходе теплообменника, а целью управления – поддержание этой температуры на определенном уровне.

Расход теплоносителя можно стабилизировать или использовать для внесения эффективных регулирующих воздействий. Расход продукта определяется технологическими процессами, отличными от процесса нагревания, поэтому он не может быть стабилизирован или использован для внесения регулирующих воздействий, иначе при изменении в теплообменник будут поступать сильные возмущения. Начальные значения температуры продукта и теплоносителя, а также их удельные теплоемкости определяются технологическими режимами предшествовавших процессов, поэтому стабилизировать их при введении процесса нагревания невозможно. К неликвидируемым возмущениям относятся также изменения температуры окружающей среды и свойств теплопередающей стенки вследствие отложения солей и коррозии.

Анализ объекта управления показывает, что большую часть возмущающих воздействий невозможно устранить. В связи с этим следует в

качестве регулируемой величины принять температуру продукта на выходе, а регулирующее воздействие осуществлять путем изменения расхода.

В качестве контролируемых величин следует принимать расходы теплоносителей на входе и выходе, их конечные и начальные значения температуры и давления. Знание текущих значений этих параметров необходимо для нормального пуска, наладки и эксплуатации процесса. Значение расхода необходимо контролировать для расчета технико-экономических показателей процесса, кроме того, контроль значений расхода и температуры необходим для оперативного управления процессом.

Сигнализации подлежат температура и расход продукта. Поскольку резкое падение расхода продукта может послужить причиной выхода из строя теплообменника, устройство защиты в этом случае должно перекрывать линию подачи теплоносителя.

Функциональная схема автоматизации процесса нагревания в теплообменнике представлена на рис. Б.2.

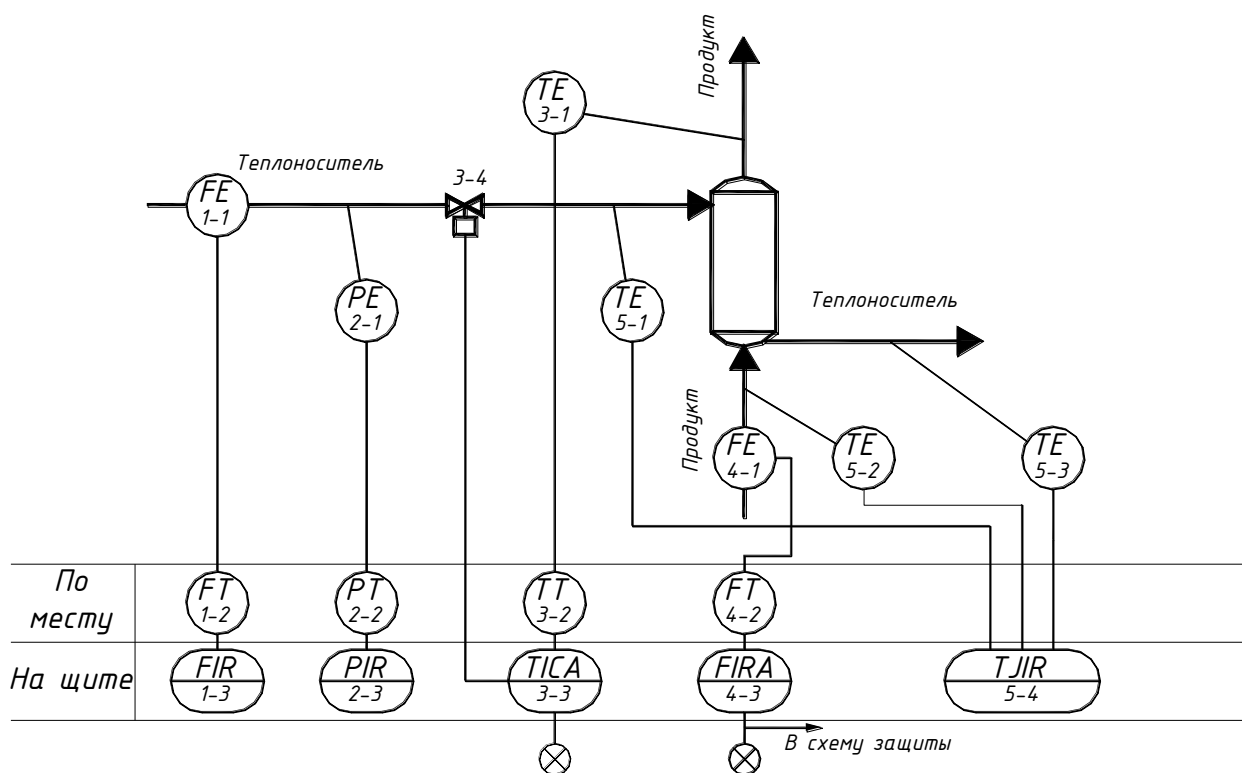


Рис. Б.2 – Типовая ФСА процесса нагревания в теплообменнике

ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

ГОСТ 21.208-2013	Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах
ГОСТ 21.404-85	Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах (заменен на ГОСТ 21.208-2013)
ГОСТ 2.780	ЕСКД. Обозначения условные графические. Кондиционеры рабочей среды, емкости гидравлические и пневматические
ГОСТ 2.782-96	ЕСКД. Обозначения условные графические. Машины гидравлические и пневматические
ГОСТ 2.785-70	ЕСКД. Обозначения условные графические. Арматура трубопроводная
ГОСТ 2.788-74	ЕСКД. Обозначения условные графические. Аппараты выпарные
ГОСТ 2.789-74	Межгосударственный стандарт. ЕСКД. Обозначения условные графические Аппараты теплообменные
ГОСТ 2.790-74	ЕСКД. Обозначения условные графические. Аппараты колонные
ГОСТ 2.791-74	ЕСКД. Обозначения условные графические. Отстойники и фильтры
ГОСТ 2.792-74	Межгосударственный стандарт. ЕСКД. Обозначения условные графические Аппараты сушильные
ГОСТ 2.793-79	Межгосударственный стандарт. ЕСКД. Обозначения условные графические. Элементы и устройства машин и аппаратов химических производств Общие обозначения
ГОСТ 2.794-79	ЕСКД. Обозначения условные графические. Устройства питающие и дозирующие
ГОСТ 2.795-80	ЕСКД. Обозначения условные графические. Центрифуги
РМГ 29-2013	Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Ключев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев: под ред. А.С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.: ил.

2. Втюрин В.А. Проектирование автоматизированных систем: Электронный курс лекций для направления 27.03.04 «Управление в технических системах» и 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / В.А. Втюрин, В.В. Илющенко. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 193 с.

3. Беспалов А. В., Харитонов Н. И. Системы управления химико-технологическими процессами. Учебник. – Москва : ИКЦ «АКАДЕМКНИГА», 2007. – 690 с.

4. Кузнецова Н. И., Чуклин А. А. Технологические измерения и приборы АЭС. – Ч.1. Температурные измерения на АЭС: учебное пособие. – 2-е изд. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2008. – 220 с.: ил.

5. Кузнецова Н. И., Скидан А.А., Чуклин А. А. Технологические измерения и приборы АЭС. – Ч.2. Измерение давления, расхода, уровня на АЭС: учебное пособие. – 2-е изд. – Севастополь: СТУЯЭиП, 2010. – 420 с.

6. Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учебн. для техникумов / В.А.Голубятников, В.В. Шувалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 352 с.

**Серова-Нашева Наталия Валерьевна
Кузнецова Нина Ивановна**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

*Методические рекомендации
для выполнения графической работы*

В авторской редакции

Изд. № 129/2022. Объем 3,25 п.л. Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 3,185.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»