

**ОКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ
ПНЕВМАТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ**

Методические указания

Иваново
2018

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Ивановский государственный химико-технологический университет

ЛОКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ
ПНЕВМАТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Методические указания

Составитель А.П.Самарский

Иваново 2018

Составитель А.П. Самарский
УДК 681.533 + 62 .523:003.6

Локальные системы автоматического регулирования на базе пневматических и электронных регуляторов: метод. указания / сост. А.П.Самарский; Иван. гос. хим.- технол. ун-т. - Иваново, 2018.- 37 с.

В методических указаниях изложены рекомендации по выполнению курсовой работы и требования, предъявляемые к содержанию и оформлению пояснительной записки.

Рассмотрены особенности построения локальных систем автоматического регулирования с применением агрегатных комплексов пневматических и электронных средств регулирования. Приведены методики расчета и выбора исполнительных устройств, а также справочные материалы, необходимые для выполнения курсовой работы.

Предназначены для выполнения курсовой работы по курсам «Средства автоматизации и управления», «Технические средства автоматизации и управления» для студентов направлений «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Управление в технических системах».

Ил. 21. Библиогр.: 9 назв.

Рецензент

доктор технических наук А.Г.Липин (Ивановский государственный химико-технологический университет)

1. Общие методические указания

Курсовая работа по дисциплине «Технические средства автоматизации и управления» включает три самостоятельных раздела, касающихся синтеза и исследования локальной системы регулирования, построенной на базе одного из типовых агрегатных комплексов средств автоматизации.

Первый (проектный) раздел курсовой работы предполагает разработку принципиальной схемы системы регулирования в соответствии с заданной функциональной структурой.

Второй (аналитический) раздел курсовой работы посвящен анализу принципиальной схемы регулятора с учетом неидеальности элементной базы и определению динамической погрешности регулятора при заданных значениях настроечных параметров.

В третьем (расчетном) разделе курсовой работы необходимо провести расчет и выбор исполнительного устройства по заданным исходным данным.

2. Выполнение проектного раздела курсовой работы

Проектирование систем автоматического регулирования (САР) представляет собой решение двух взаимосвязанных задач, первой из которых является задача синтеза структуры САР и второй – выбор комплекса технических средств САР. При проектировании локальных САР в качестве исходных данных используют информацию о технологическом объекте управления, включающую в себя:

- сведения о физической сущности технологического процесса;
- сведения о природе технологических переменных, их номинальных и предельных значениях и требуемой точности регулирования;
- статические и динамические характеристики регулируемых участков технологического процесса по каналам возмущения и управления;
- конструктивные особенности оборудования;
- условия эксплуатации технологического оборудования и средств автоматизации, характеристики окружающей среды, особенности режимов пуска и останова и необходимость противоаварийной защиты.

Задача синтеза структуры САР сводится к разработке схемы взаимодействия автоматического регулятора с измерительными, преобразующими и исполнительными устройствами САР с целью обеспечения требуемого качества регулирования, удобства пуска, наладки и эксплуатации САР. Синтезированная структура САР реализуется с помощью технических средств того или иного агрегатного комплекса Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). Применение агрегатных комплексов существенно упрощает проектирование САР, поскольку состав технических средств в этом случае практически однозначно определяется структурой САР и выбранным агрегатным комплексом.

При выполнении курсовой работы должны быть разработаны структурная и принципиальная схемы САР на базе агрегатного комплекса СТАРТ-2 или АКЭСР-2. Технические средства САР должны обеспечивать автоматический контроль технологических переменных, автоматическое регулирование и ручное дистанционное управление технологическим процессом.

Принципы проектирования САР на базе технических средств пневматической и электрической ветвей ГСП во многом сходны, однако, следует обратить внимание на ряд особенностей электронных и пневматических САР, которые должны быть учтены при проектировании.

В пневматических САР функции контроля, автоматического регулирования и ручного дистанционного управления совмещаются в одних и тех же многофункциональных приборах. Например, вторичные измерительные приборы со встроенной станцией управления одновременно выполняют функции контроля, формирования сигналов задания и ручного дистанционного управления, а один и тот же пневмодатчик может быть одновременно использован для целей контроля и регулирования. Линии связи пневматических САР оказывают существенное влияние на динамику САР, поэтому системы, реализующие один и тот же алгоритм регулирования, могут иметь различную структуру в зависимости от инерционности объекта управления.

В электронных САР, построенных на базе АКЭСР-2, алгоритм регулирования отрабатывается релейно-импульсным регулятором, предназначенным для работы в комплекте с исполнительным механизмом постоянной скорости. Таким образом, вход и выход регулятора информационно несовместимы, и для построения САР с корректирующими и вспомогательными регуляторами необходимо преобразовывать импульсный выходной сигнал регулятора в аналоговый унифицированный сигнал.

Существенным отличием пневматических САР от электронных является наличие довольно широкой номенклатуры унифицированных регуляторов, которая позволяет реализовать большинство типовых алгоритмов регулирования без использования каких-либо дополнительных устройств. Существующие релейно-импульсные регуляторы отрабатывают только один алгоритм, для изменения которого необходимо вводить в систему дополнительные функциональные блоки и обратные связи.

2.1. Структура технических средств типовых систем автоматического регулирования

Выбор структуры технических средств САР обусловлен многими факторами, определяющими из которых являются:

- классификационная принадлежность САР к тому или иному типу;
- состав агрегатного комплекса, выбранного для построения САР;

- алгоритмы регулирования, реализуемые в отдельных контурах.
- С точки зрения особенностей структуры технических средств можно выделить в общепринятой классификации САР следующие группы:
- одноконтурные стабилизирующие САР;
 - следящие САР;
 - многоимпульсные, комбинированные САР и САР по вычисляемым параметрам;
 - системы каскадно-связанного регулирования;
 - системы приоритетного и многосвязного регулирования.

Функциональные схемы типовых САР приведены на рис. 2.1 - рис. 2.8.

На функциональных схемах САР приняты следующие обозначения:

- ТОУ – технологический объект управления;
- РУ – регулируемый участок;
- Р – регулятор; РС – регулятор соотношения;
- КР – корректирующий регулятор; ВР – вспомогательный регулятор;

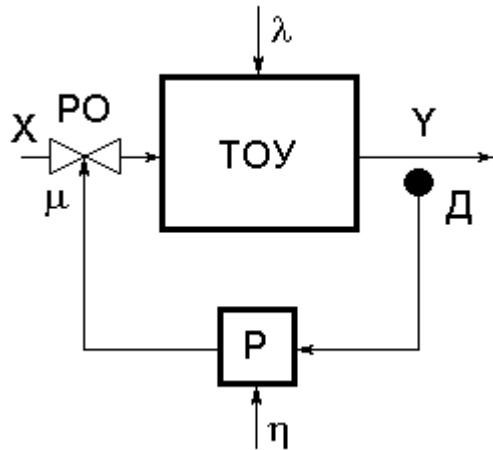


Рис.2.1. Функциональная схема стабилизирующей САР

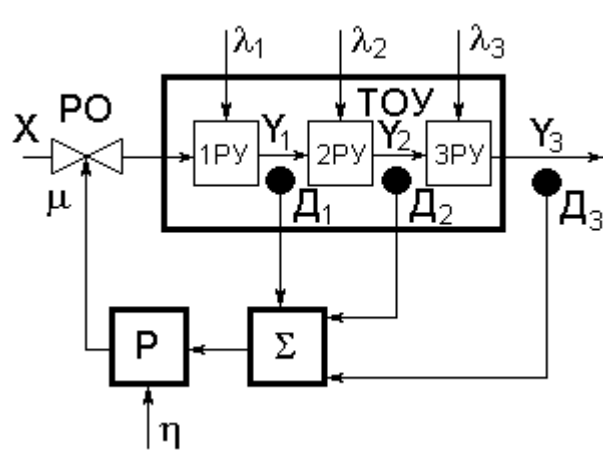


Рис.2.2. Функциональная схема многоимпульсной САР

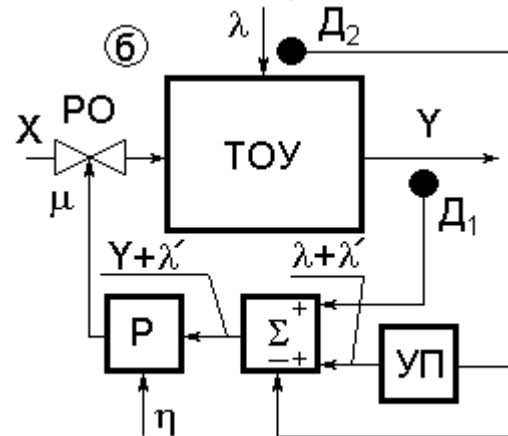
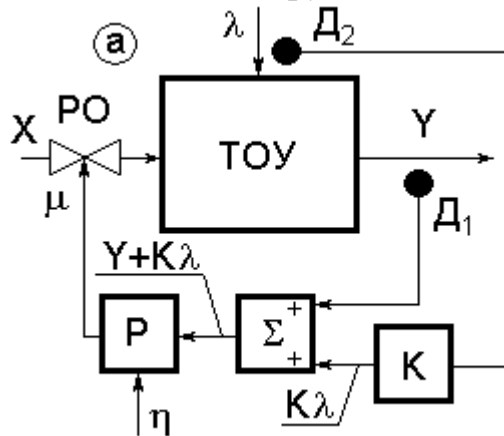


Рис.2.3. Функциональные схемы систем комбинированного регулирования:
а - с использованием текущего значения возмущения; б - с использованием производной от возмущения

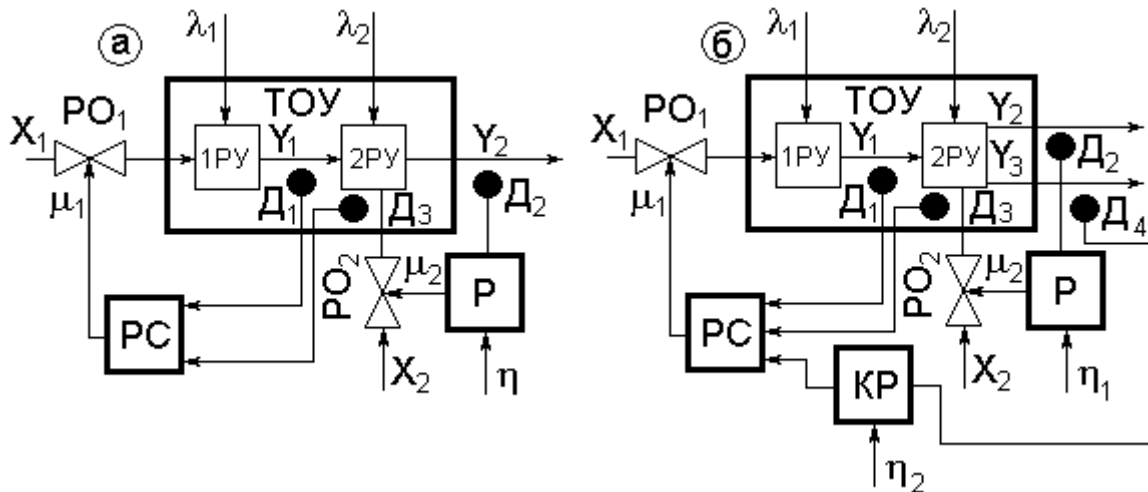


Рис.2.4. Функциональные схемы: а - следящей САР; б - следящей САР с коррекцией по третьему параметру

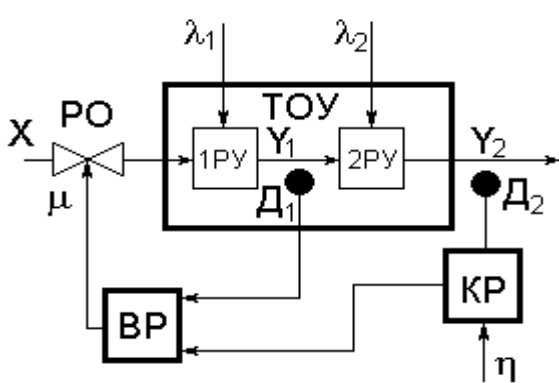


Рис.2.5. Функциональная схема системы каскадно связанного регулирования

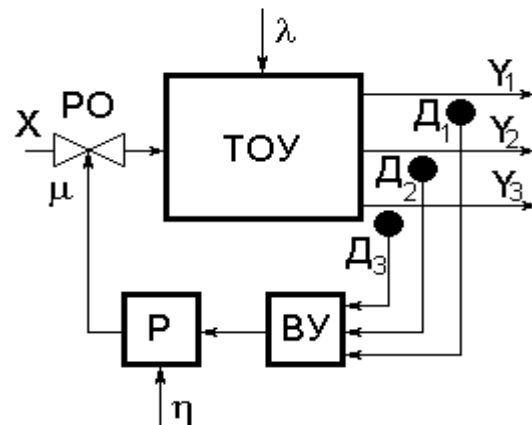


Рис.2.6. Функциональная схема САР по вычисляемым параметрам

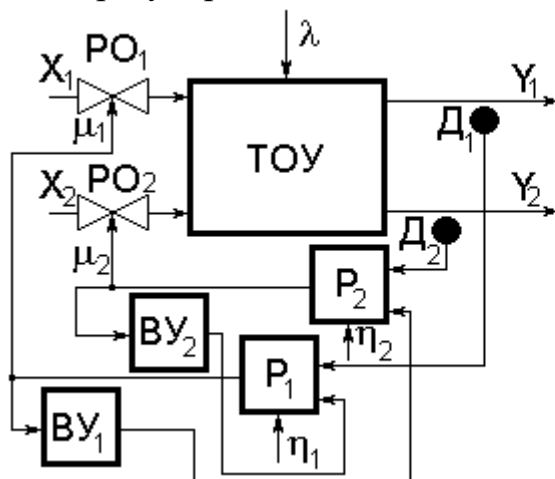


Рис.2.7. Функциональная схема системы многосвязного регулирования

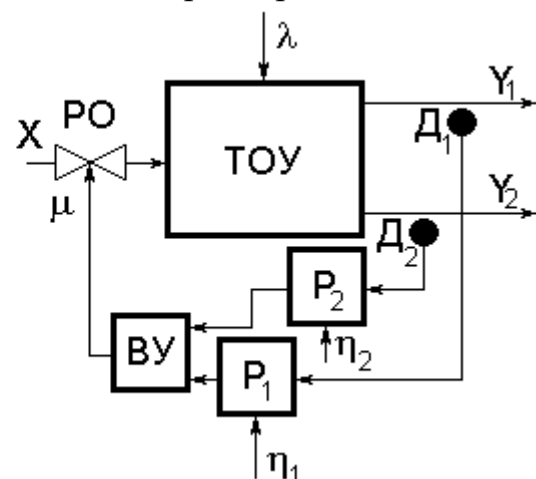


Рис.2.8. Функциональная схема системы приоритетного регулирования

ВИП – вторичный измерительный прибор;

К – устройство масштабирования;

УС – устройство суммирования;

УП – устройство предварения;

ВУ – вычислительное устройство;

РО – регулирующий орган;

X – независимая переменная;

Y – регулируемая переменная;

λ – возмущение;

η – задание ;

μ – регулирующее воздействие.

В общем случае решение задачи синтеза структуры САР целесообразно разделить на ряд последовательных этапов:

- 1) синтез структуры регулирующих устройств согласно заданным законам регулирования;
- 2) синтез структуры вычислительных устройств и узлов формирования корректирующих сигналов;
- 3) составление общей структурной схемы технических средств САР.

На первом этапе каждому регулирующему устройству, изображенному на функциональной схеме САР, необходимо поставить в соответствие типовой регулятор или набор информационно совместимых регулирующих и функциональных блоков, формирующий заданный закон регулирования. При проектировании пневматических САР эта задача решается относительно просто, поскольку большинство типовых законов регулирования (за исключением И-и ПД- законов) отрабатываются в агрегатном комплексе СТАРТ-2 унифицированными регуляторами. В случае использования регулирующих блоков АКЭСР-2 большинство типовых законов регулирования формируются с применением блоков динамической связи и обратных связей по положению регулирующего органа.

На втором этапе определяется структура вычислительных узлов САР и узлов формирования корректирующих сигналов. При этом каждый узел следует представить в виде некоторой совокупности статических и/или динамических аналоговых преобразователей. Ключевыми вопросами этого этапа являются:

- обеспечение информационной совместимости проектируемых узлов с регуляторами;
- обеспечение возможности масштабирования корректирующих сигналов;
- соблюдение ограничений, накладываемых на величину корректирующих сигналов.

Особое внимание следует уделить тому, чтобы корректирующие сигналы не вызывали остаточных отклонений регулируемых переменных.

На третьем этапе регулирующие, вычислительные и корректирующие

узлы объединяются в общую структурную схему, которая сопрягается с датчиками и исполнительными устройствами объекта управления. Полученная структурная схема САР позволяет разработать принципиальную схему соединений технических средств.

2.2. Принципы построения САР на базе агрегатного комплекса СТАРТ-2

Унифицированные регуляторы агрегатного комплекса СТАРТ-2 ФР0098, ФР0091 и ФР0095, предназначенные для формирования, соответственно, П-, ПИ- и ПИД- законов регулирования, используются в САР в качестве функционально законченных блоков. Регуляторы, обрабатывающие И- и ПД- законы регулирования, в агрегатном комплексе СТАРТ-2 отсутствуют, но, при необходимости, могут быть построены из унифицированных функциональных блоков и элементов системы УСЭПА. Для реализации ПД- закона регулирования можно использовать последовательное соединение регулятора ФР0098 и блока прямого предварения ПФ2.1-М1. И-регулятор может быть построен либо по схеме, аналогичной узлу интегрирования регулятора ФР0091 в совокупности с отключающим реле, либо в виде последовательного соединений блоков ПФ3.1-М1 и ФР0091.

Особое место среди унифицированных пневматических регуляторов занимают регуляторы соотношения, используемые в следящих САР. Пневматический регулятор соотношения может быть реализован двумя способами. Первый заключается в использовании регуляторов ПР3.33-М1 и ПР3.34-М1, имеющих внутренние вычислительные узлы. В этом случае САР содержит минимальное количество приборов и функциональных блоков, однако эксплуатация такой СИР связана с определенными трудностями из-за отсутствия возможности контроля сигналов, поступающих на входы регулирующего узла регулятора соотношения. Второй способ заключается в использовании регуляторов ФР0098, ФР0091 или ФР0095 в комплекте с масштабирующими устройствами, включенными в канал ведущего или ведомого параметра (рис.2.9.).

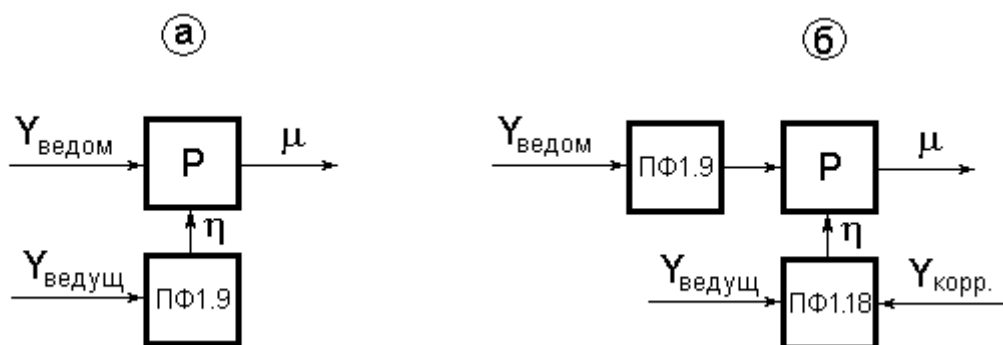


Рис.2.9. Построение регулятора соотношения (а) и регулятора соотношения с коррекцией (б) на основе ФР0098, ФР0091 или ФР0095

В качестве масштабирующих устройств применяются блоки умножения на постоянный коэффициент ПФ1.9 или множително-делительные устройства ПФ1.18, работающие в режиме перемножения сигналов. В первом случае коэффициент соотношения является настроечным параметром, а во втором будет зависеть от величины внешнего корректирующего сигнала. Необходимо отметить, что множително-делительное устройство ПФ1.18 не позволяет получить коэффициент соотношения больше единицы, поэтому данные блоки, как правило, используются совместно с блоками ПФ1.9.

Принципы реализации регуляторов одноконтурных и многоконтурных САР практически полностью совпадают, поскольку входные и выходные сигналы пневматических регуляторов имеют одну и ту же физическую природу и не отличаются по виду модуляции.

Набор функциональных блоков агрегатного комплекса СТАРТ-2 позволяет реализовать довольно широкий спектр алгоритмов статических и динамических преобразований аналоговых сигналов.

Блоки линейных статических преобразований ПФ1.1-М1 и ПФ1.9 обрабатывают, соответственно, операции алгебраического суммирования и умножения на постоянный коэффициент, блоки нелинейных статических преобразований ПФ1.17-М1 и ПФ1.18 предназначены соответственно для извлечения квадратного корня и умножения/ деления сигналов. При обработке алгоритмов преобразований блоками ПФ1.9, ПФ1.17-М1 и ПФ1.18 автоматически учитывается начальный уровень пневмосигнала (0.02 МПа), таким образом, для данных блоков преобразования над пневмосигналами соответствуют преобразованиям над физическими переменными. Блок ПФ1.1-М1 позволяет осуществлять смещение результата преобразований на величину от 0 до 100% диапазона унифицированного пневмосигнала.

Синтез структуры вычислительного узла заключается в определении последовательности включения типовых функциональных блоков в соответствии с заданным алгоритмом вычислений и с учетом приоритетов отдельных выполняемых операций.

Корректирующие устройства, используемые в системах комбинированного регулирования, в каскадно-связанных, многоимпульсных и многосвязных САР, включают в себя, как правило, блоки статических и динамических преобразований. При построении корректирующих устройств наиболее часто встречается задача выделения сигнала производной от корректирующего параметра (какой-либо промежуточной технологической переменной или возмущающего воздействия) по времени. Для решения этой задачи можно использовать блок прямого предварения ПФ2.1-М1 в совокупности с алгебраическим сумматором ПФ1.1-М1, вычитающим из выходного сигнала ПФ2.1-М1 давление, пропорциональное величине корректирующего параметра. В некоторых случаях для динамической коррекции САР может использоваться блок обратного предварения ПФ3.1-М1.

Довольно часто при сопряжении корректирующих устройств с регуля-

торами на величину корректирующего сигнала накладываются ограничения, связанные с особенностями конкретного технологического процесса. Для реализации этих ограничений используются блоки ограничения сигналов ПП11.1-М1, которые могут быть настроены на максимум или на минимум. Двухстороннее ограничение сигналов требует использования двух блоков ПП11.1-М1. Пример структуры корректирующего узла приведен на рис 2.10.

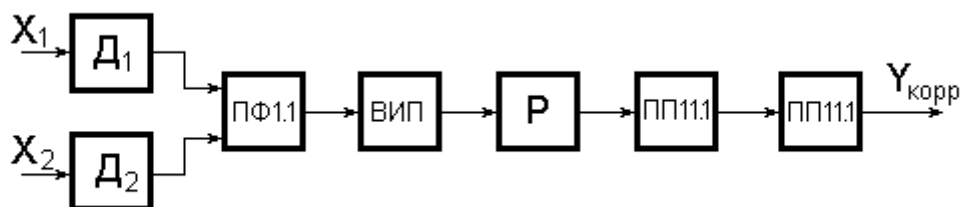


Рис.2.10. Пример структуры корректирующего узла с двухсторонним ограничением выходного сигнала

При синтезе структуры технических средств пневматической САР необходимо учитывать, что пневматические линии связи обладают определенной инерционностью и запаздыванием. Считается, что линия связи не вносит существенной динамической погрешности в закон регулирования, если ее постоянная времени меньше постоянной времени объекта на порядок или более. Отсюда вытекает, что при работе с объектами, обладающими большой инерционностью, регулятор может быть территориально удален от объекта и установлен непосредственно на вторичном измерительном приборе. При работе с малоинерционными объектами регулятор устанавливается вблизи датчика и исполнительного устройства. Изменение места установки регулятора влечет за собой изменение его схемы включения и вносит определенные изменения в структуру технических средств САР. При установке регулятора на вторичном измерительном приборе используется двухтрубная схема включения регулятора. Если же регулятор устанавливается поблизости от технологического объекта, то его включение осуществляется по пяти- или четырехтрубной схеме. Последняя отличается тем, что питание на регулятор поступает не от вторичного прибора, а непосредственно из магистрали сжатого воздуха. С целью уменьшения инерционности линий связи в пяти- или четырехтрубной схеме производится разделение линий, по которым проходят сигналы регулируемой переменной и регулирующего воздействия, путем включения в эти линии усилителей мощности ПП1.5.

Реле переключения ПП2.5 обеспечивает изменение направления прохождения сигнала в линии связи выхода регулятора с вторичным измерительным прибором при переходе от режима ручного дистанционного управления к режиму автоматического регулирования и обратно.

Для улучшения детектирующих свойств и статической характеристики исполнительного устройства в выходную линию регулятора включа-

ют пневматический или пневмогидравлический позиционер.

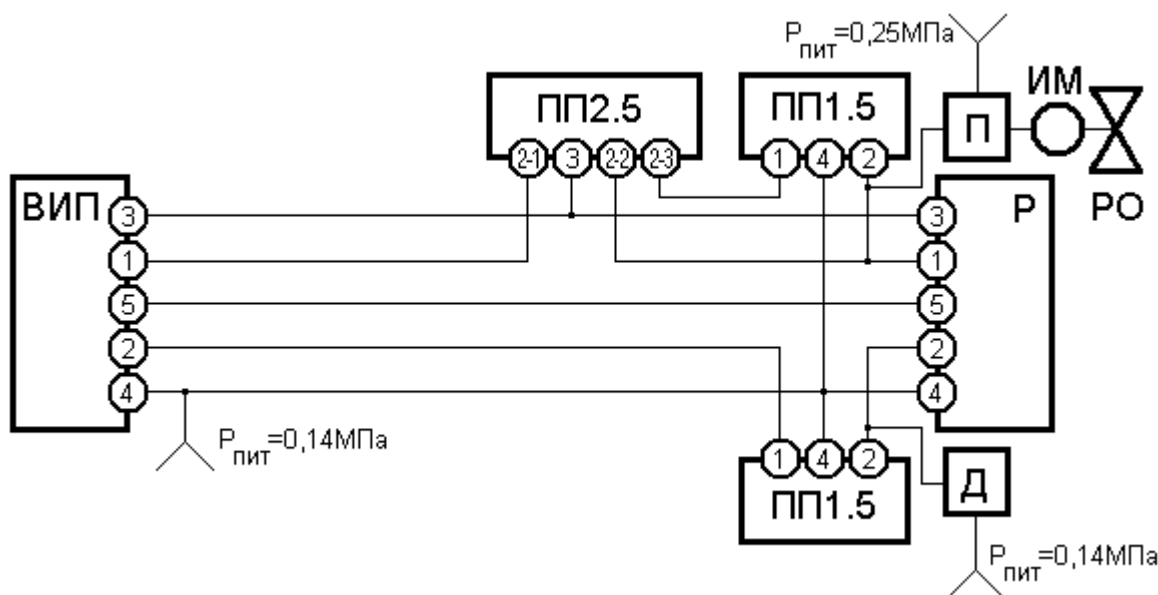


Рис.2.11. Пятитрубная схема включения регулятора

2.3. Принципы построений САР на базе агрегатного комплекса АКЭСР-2

Агрегатный комплекс АКЭСР-2 включает в себя только один тип регулятора РП4, имеющий модификации РП4-У, РП4-Т и РП4-П, отличающиеся типом используемых датчиков. В совокупности с исполнительным механизмом постоянной скорости РП4 обрабатывает ПИ- закон регулирования. Другие законы регулирования реализуются с использованием блоков динамической связи БДС, включенных во входную цепь регулятора и обратных связей по положению регулирующего органа (рис.2.12, а – г).

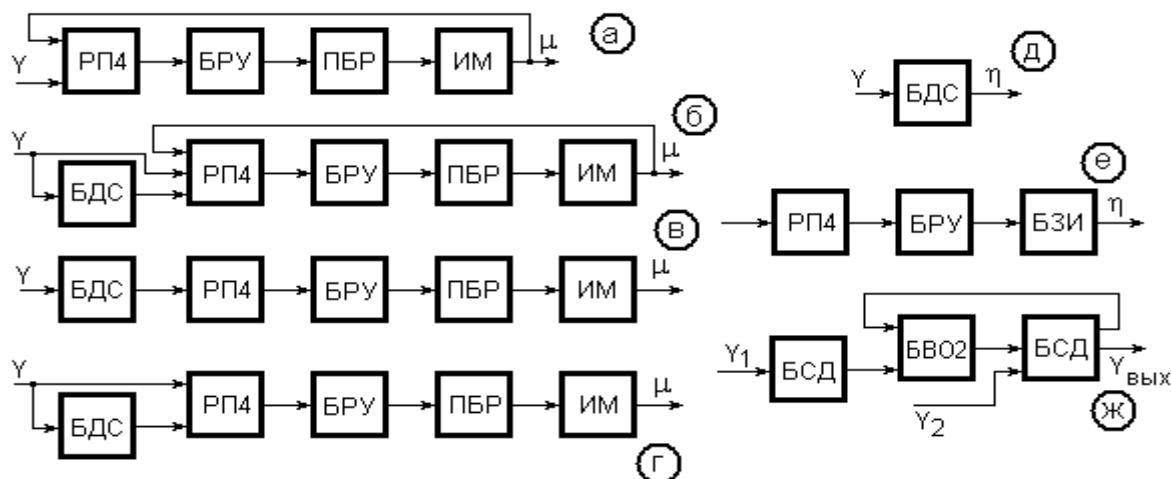


Рис.2.12. Структурные схемы: а) П-; б) ПД-; в) И- ; г) ПИД-регуляторов; д), е) – корректирующие регуляторы; ж) пример структуры вычислительно-го устройства

При реализации И- закона регулирования блок БДС выполняет функции инерционного звена, а при реализации ПД- и ПИД- законов – функции дифференциатора. Для организации обратной связи по положению регулирующего органа обычно используется токовый сигнал от датчика положения исполнительного механизма БСПТ/К.

Поскольку входной и выходной сигналы регулятора РП4 отличаются по виду модуляции, принципы построения корректирующих и вспомогательных регуляторов на базе агрегатного комплекса АКЭСР-2 различны. Можно указать два основных способа построения корректирующего регулятора. Первый способ заключается в преобразовании выходного сигнала релейно-импульсного регулятора в аналоговую форму с помощью интегрирующего задатчика БЗИ (рис.2.12 д), а второй – в использовании аналоговых блоков статических или динамических преобразований, например, блока БДС в качестве корректирующего регулятора (рис.2.12, е). С точки зрения удобства эксплуатации первый способ имеет определенные преимущества, однако второй значительно проще. Необходимо также отметить, что блок БЗИ позволяет устанавливать пределы изменения выходного сигнала, что дает возможность вводить ограничения по корректирующему воздействию без применения дополнительной аппаратуры.

Для управления исполнительными механизмами постоянной скорости в комплекте с регулятором РП4 используются:

- блоки ручного управления БРУ-22, БРУ-32, БРУ-42;
- бесконтактные реверсивные пускатели ПБР-2М или усилители мощности ФЦ-0610, ФЦ-0611, ФЦ-0620, ФЦ-0621;
- ручной реостатный задатчик РЗД-12.

Блок БРУ-42 имеет встроенный индикатор унифицированного токового сигнала, используемый для контроля положения регулирующего органа.

Пример принципиальной схемы системы регулирования уровня с использованием уровнемера УГЦ-1 приведен на рис. 2.13.

Линейные алгебраические операции (масштабирование и суммирование) над аналоговыми сигналами могут выполняться либо непосредственно узлами кондуктивного разделения, либо блоками суммирования и демпфирования БСД. Регулятор РП4 предоставляет возможность суммирования четырех аналоговых сигналов, три из которых – масштабируемые. Блок БСД суммирует до четырех унифицированных токовых сигналов с масштабированием по всем входам. Смещение начальных уровней входных сигналов (задание констант) может осуществляться с помощью внутренних 100% задатчиков функциональных блоков, причем может производиться плавная подстройка констант (в пределах 10%) с помощью реостатных задатчиков.

Нелинейные преобразования аналоговых сигналов реализуются с

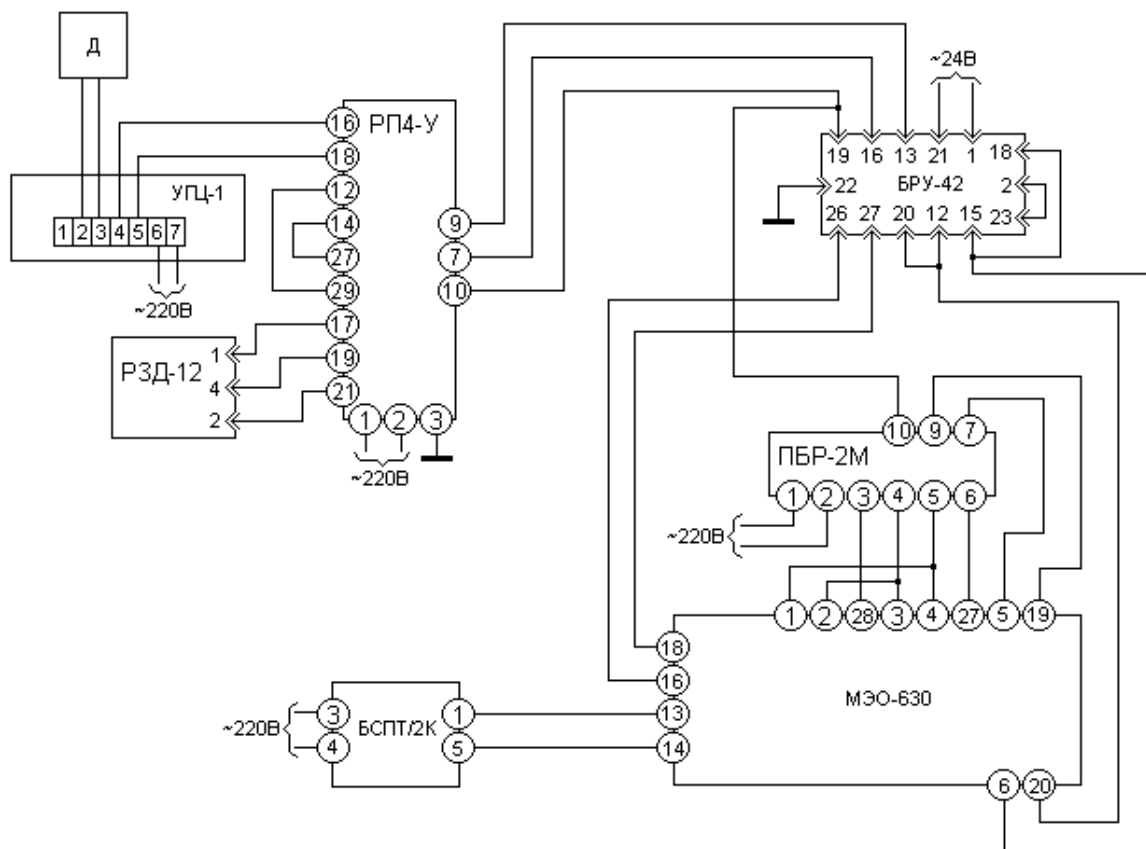


Рис.2.13. Пример принципиальной схемы системы регулирования на базе АКЭСР-2

помощью двух типов функциональных блоков. Блок вычислительных операций БВО-2 выполняет операции умножения или деления двух аналоговых сигналов, а также операции возведения в квадрат и извлечения квадратного корня.

Блок нелинейных преобразований БНП-2 реализует произвольную нелинейную функцию одной переменной. Пример структуры вычислительного устройства, выполняющего операции умножения и деления, приведен на рис.2.12, ж.

Ограничение сигналов от вычислительных устройств организуется с помощью блоков селектирования БСЛ-2, позволяющих осуществлять автоматический выбор наибольшего или наименьшего из четырех входных аналоговых сигналов.

В завершение проектного раздела следует перечислить режимы, в которых может функционировать разработанная система, и описать методики перехода от одних режимов к другим [1,2].

3. Выполнение аналитического раздела курсовой работы

В аналитическом разделе курсовой работы необходимо проанализировать динамику регулятора с учетом паразитных инерционностей либо возникающих из-за неидеальности элементной базы регулятора, либо преднамеренно введенных в схему регулятора для фильтрации от высокочастотных помех.

Анализ принципиальной схемы регулятора следует проводить в соответствии с методиками [3,4]. Получив передаточную функцию реального регулятора по каналу рассогласования, следует, с использованием типовых программных средств, (например, пакета Matlab), построить переходные функции идеального и реального регуляторов и сделать выводы относительно обнаруженных различий.

Для оценки динамической погрешности реализации закона регулирования следует построить амплитудно-частотные $A(\omega)$ и фазо-частотные $\varphi(\omega)$ характеристики идеального и реального регуляторов для заданных значений настроечных параметров. Например, выражения для $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ идеального П – регулятора, хорошо известные из теории управления, запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} A_{\text{ид}}(\omega) &= K_p ; \\ \varphi_{\text{ид}}(\omega) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Частотные характеристики реального регулятора выводятся из его передаточной функции по традиционной в теории управления методике:

$$\left. \begin{aligned} A_p(\omega) &= K_p \sqrt{\frac{1+T_{\text{ос}}^2 \omega^2}{1+T_{\text{вх}}^2 \omega^2}} ; \\ \varphi_p(\omega) &= \text{arctg} \frac{(T_{\text{ос}} - T_{\text{вх}}) \omega}{1+T_{\text{ос}} T_{\text{вх}} \omega^2}. \end{aligned} \right\}$$

При известном значении K_p следует определить постоянные времени $T_{\text{вх}}$ и $T_{\text{ос}}$ из соотношений $T = \frac{VM}{R\Theta \Sigma \alpha_i}$, а затем построить графики соответствующих зависимостей.

При этом, неизвестные значения проводимостей регулируемых дросселей, соответствующие заданным значениям настроечных параметров, находятся из обобщенного выражения для коэффициента передачи конкретного регулятора. Пример таких построений приведен на рис.3.1. Для ПИ – и ПИД – регуляторов частотные характеристики следует выводить из соответствующих передаточных функций [1,3].

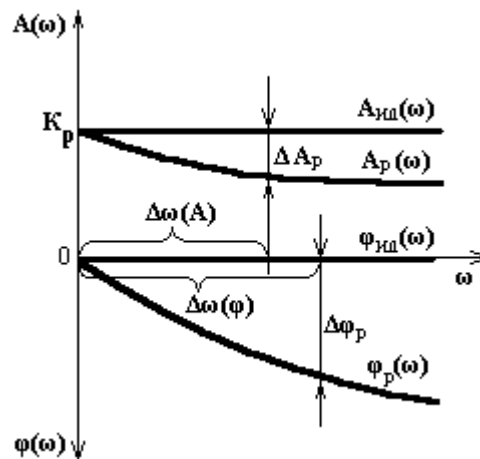


Рис.3.1. Пример частотных характеристик идеального и реального регуляторов

Динамическая погрешность реализации закона регулирования считается удовлетворительной, если погрешность по амплитудно-частотной характеристике $\Delta A_p \leq 0,1K_p$ и погрешность по фазо-частотной характеристике $\Delta\varphi_p \leq 15^\circ$. Область частот входного сигнала, в которой оба эти ограничения выполняются, будем считать областью нормальных режимов работы регулятора.

4. Расчет и выбор исполнительных устройств

4.1. Постановка задачи выбора исполнительного устройства

В системах автоматизации технологических процессов в большинстве случаев используются серийно изготавливаемые исполнительные устройства. Выбор конкретного исполнительного устройства производится по каталогам и другим материалам в процессе выполнения расчета, выявляющего пригодность выбранного исполнительного устройства в заданных условиях эксплуатации. При этом должны учитываться свойства и параметры рабочей среды, протекающей через регулирующий орган, а также другие условия и требования, обусловленные спецификой технологического процесса и конкретного объекта управления.

В общем случае исполнительное устройство характеризуется следующими показателями:

- конструктивный тип;
- условная пропускная способность;
- типоразмер (диаметр условного прохода);
- пропускная характеристика (линейная или равнопроцентная);
- вид действия (прямое или обратное, т.е. НО или НЗ);
- дополнительные параметры (условное давление, предельная

температура, коррозионная стойкость и др.).

В основу современной методики выбора исполнительных устройств положен метод проб и ошибок, предполагающий расчет основных параметров исполнительного устройства и выбор конкретного изделия, соответствующего результатам расчета. В упрощенном варианте (при выполнении учебных проектов) эта методика включает в себя четыре относительно самостоятельных этапа:

- 1) выбор конструктивного типа;
- 2) выбор условной пропускной способности;
- 3) выбор типоразмера;
- 4) выбор пропускной характеристики.

Необходимо отметить, что выбор исполнительного устройства является итеративной процедурой. При неудовлетворительном результате выбора на каком-либо из этапов предыдущие расчеты приходится частично или полностью повторять,

Конструктивный тип исполнительного устройства выбирается на основании информации, содержащейся в каталогах или других справочных материалах с учетом свойств и параметров технологического объекта управления. Во многих случаях конструктивным типом исполнительного устройства просто задаются.

4.2. Расчет пропускной способности

Пропускная способность K_V – это основной гидравлический параметр, по которому производится аттестация исполнительного устройства. Условная пропускная способность K_{VU} входит в паспортные данные наряду с условным проходом и условным давлением исполнительного устройства. Здесь и в дальнейшем ограничимся расчетом и выбором исполнительного устройства для случая жидкой рабочей среды. Исходными данными для расчета пропускной способности являются следующие:

- конструктивный тип устройства;
- Q_{max} – максимальный расход, м³/ч;
- P_1 и P_2 – давления на входе и выходе исполнительного устройства или P_1 и ΔP_{min} – перепад давления на исполнительном устройстве, кгс/см²;
- P_{np} – давление насыщенных паров рабочей среды при данной температуре, кгс/см²;
- ρ – плотность рабочей среды, Г/см³;
- ν – кинематическая вязкость рабочей среды, см²/с.

Вид и последовательность расчетных соотношений для определения пропускной способности зависят от наличия кавитации рабочей среды в регулирующем органе. Поэтому перед расчетом пропускной способности вычисляют перепад давления, соответствующий началу кавитации:

$$\Delta P_{\text{кав}} = K_c (P_1 - P_{\text{ин}}) \quad (4.1)$$

Значение коэффициента K_c определяется по справочным материалам (табл. 1 приложения 3). Полученное значение $\Delta P_{\text{кав}}$ сравнивают с ΔP_{min} . При выборе исполнительных устройств, по возможности, следует избегать кавитации и если получилось, что $\Delta P_{\text{кав}} < \Delta P_{\text{min}}$, то нужно попытаться изменить конструктивный тип устройства и выбрать тип с более высоким K_c .

Если кавитация отсутствует, то определяют предварительное значение максимальной пропускной способности по уравнению:

$$K_{VMAX}^{IP} = Q_{MAX} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{\text{min}}}} \quad (4.2)$$

и вычисляют индекс вязкости Z :

$$Z = \frac{a Q_{MAX}}{v \sqrt{K_{VMAX}^{IP}}} \quad (4.3)$$

В уравнении (4.3) $a = 700$ для односедельных исполнительных устройств и $a = 500$ для всех прочих.

Если $Z < 10^4$, то жидкость считают вязкой, а при $Z \geq 10^4$ – невязкой. В случае невязкой жидкости окончательное значение максимальной пропускной способности K_{VMAX} полагают равным предварительному:

$$K_{VMAX} = K_{VMAX}^{IP} \quad (4.4)$$

Если же жидкость вязкая, то вводится поправка на вязкость

$$\psi_{KV} = \frac{0,2Z + 19,9}{0,2Z + 1} \quad (4.5)$$

и K_{VMAX} вычисляют, как

$$K_{VMAX} = \psi_{KV} K_{VMAX}^{IP} \quad (4.6)$$

Если все же кавитации избежать не удалось, то определяют перепад давления ΔP_m , соответствующий границе критического режима (расход перестает зависеть от перепада давления):

$$\Delta P_m = K_m (P_1 - r P_{\text{ин}}) \quad (4.7)$$

Коэффициент кавитации K_m находят по табл.1 приложения 3.

Поправочный коэффициент r рассчитывается, как

$$r = 0,96 - 0,28 \sqrt{\frac{P_{\text{ин}}}{P_{\text{кр}}}} \quad (4.8)$$

где $P_{\text{кр}}$ - критическое давление рабочей среды.

Полученное значение ΔP_m сравнивают с ΔP_{min} и вычисляют максимальное значение пропускной способности, подставляя в уравнение (4.2) меньший из перепадов давления:

$$K_{VMAX} = Q_{MAX} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{\text{min}}}} \text{ при } \Delta P_{\text{min}} < \Delta P_m \text{ или } K_{VMAX} = Q_{MAX} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_m}} \text{ при } \Delta P_{\text{min}} \geq \Delta P_m \quad (4.9)$$

При эксплуатации реальных исполнительных устройств необходимо, чтобы максимальная пропускная способность обеспечивалась исполнительным устройством при 80% хода. Для этого вводится коэффициент запаса η , равный:

- 1,25 - для линейной расходной характеристики,
- 1,6 - для равнопроцентной расходной характеристики,
- 1,35 - для заслоночного исполнительного устройства

и рассчитывается предварительное значение условной пропускной способности, как:

$$K_{vy} = \eta K_{vMAX} . \quad (4.10)$$

Условная пропускная способность выбирается из параметрического ряда, характерного для заданного конструктивного типа исполнительного устройства (табл.1 приложения 4), как ближайшее большее значение к $K_{vy}^{пр}$.

4.3. Выбор типоразмера исполнительного устройства

Диаметр условного прохода D_y выбирается минимальным из возможных для выбранного значения K_{vy} . При выборе D_y должны выполняться ограничения:

$$0,25D_T \leq D_y \leq D_T , \quad (4.11)$$

где D_T – диаметр трубопровода, на котором установлено исполнительное устройство. Если такой величины в параметрическом ряду (табл.1 приложения 4) не существует, то изменяют диаметры участков трубопровода, прилегающих к исполнительному устройству.

Для выбранной величины D_y производится проверка скорости потока в регулирующем органе:

$$W = \frac{353Q_{MAX}}{D_y^2} \leq 5 м/с . \quad (4.12)$$

При невыполнении неравенства (4.12) следует увеличить D_y .

Если $D_y < D_T$, то присоединение исполнительного устройства к трубопроводу производится с помощью переходных патрубков, увеличивающих общий коэффициент сопротивления и снижающих пропускную способность исполнительного устройства. В этом случае условная пропускная способность должна быть скорректирована с учетом коэффициента сужения трубопровода K_T :

$$K_{vy} \geq K_T K_{vy}^{пр} . \quad (4.13)$$

K_T вычисляется по формуле:

$$K_T = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{B^2}{25,4} \xi_{nep}}} , \quad (4.14)$$

где

$$B = \frac{100K_{VMAX}}{\frac{\pi}{4} D_V^2} \quad (4.15)$$

и

$$\xi_{nep} = 0,766 \left[1 - \left(\frac{D_V}{D_T} \right)^2 \right]^2 + 0,26 . \quad (4.16)$$

Если неравенство (4.13) выполняется для выбранного значения K_{VY} , то условная пропускная способность и типоразмер исполнительного устройства выбраны верно. Если не выполняется - следует выбрать исполнительное устройство с большей величиной K_{VY} и повторить выбор типоразмера.

4.4. Выбор пропускной характеристики

Выбор пропускной характеристики - окончательный этап статического расчета исполнительного устройства, выявляющий все неточности и противоречия предварительного выбора. Исходными данными для выбора пропускной характеристики служат:

- конструктивный тип исполнительного устройства;
- вид требуемой расходной характеристики;
- минимальная, максимальная и условная пропускные способности выбранного исполнительного устройства;
- давления на концах расчетного участка трубопровода;
- давления на входе и выходе исполнительного устройства или приведенные коэффициенты сопротивления участков трубопровода до исполнительного устройства и после него;
- диаметры условного прохода исполнительного устройства и трубопровода, на котором оно установлено;
- допустимые отклонения коэффициента передачи (или коэффициента равнопроцентности) исполнительного устройства от расчетного значения.

Методика выбора пропускной характеристики зависит от наличия кавитации в регулирующем органе, а также от вязкости рабочей среды. Ниже приводятся основные схемы выбора пропускной характеристики.

4.4.1. Рабочая среда - вязкая жидкость

Для выбранной условной пропускной способности рассчитывают индекс вязкости:

$$Z = \frac{aQ_y}{v\sqrt{K_{VY}}}, \quad (4.17)$$

где Q_y - условный расход, определяемый по уравнению

$$Q_V = \frac{Q_{MAX} K_{VY}}{K_{VMAX} K_T}. \quad (4.18)$$

Для найденного индекса вязкости по графику, представленному на рис.1 приложения 3, определяют поправки на вязкость к величинам расхода и перепада давления ψ_Q и $\psi_{\Delta P}$. Далее рассчитывают максимальный и минимальный относительные расходы:

$$q_{MAX} = \psi_Q \frac{Q_{MAX}}{Q_V}, \quad q_{MIN} = \psi_Q \frac{Q_{MIN}}{Q_V}. \quad (4.19)$$

Используя величины q_{MAX} , q_{MIN} и $\psi_{\Delta P}$, по графикам типовых расходных характеристик, приведенным на рис.3 приложения 3, определяют максимальный и минимальный относительный ход исполнительного устройства l_{MAX} и l_{MIN} для линейной и равнопроцентной пропускных характеристик. Для найденных значений l_{MAX} и l_{MIN} проверяют выполнение ограничений, накладываемых на величину и диапазон хода:

$$l_{MAX} \leq 0,9; \quad l_{MIN} \geq 0,1 \quad \Delta l = l_{MAX} - l_{MIN} \geq 0,25. \quad (4.20)$$

По итогам проверки выполнения условий (4.20) может быть три случая:

- а) условия выполняются и для линейной и для равнопроцентной пропускной характеристики;
- б) условия выполняются только для одной из типовых пропускных характеристик;
- в) ни одна из пропускных характеристик не обеспечивает выполнение поставленных условий.

В первом случае выбирают пропускную характеристику, обеспечивающую большее значение Δl , во втором – пропускную характеристику, для которой ограничения (4.20) выполняются, а в третьем делают вывод о необходимости разработки и изготовления регулирующего органа с нестандартной пропускной характеристикой.

4.4.2. Рабочая среда – невязкая жидкость. Кавитация в регулирующем органе отсутствует

Используя результаты расчетов пропускной способности K_{VMAX} и K_{VMIN} (последнюю вычисляют по уравнению 4.2, подставляя в него Q_{MIN}) определяют максимальную и минимальную относительную пропускную способность:

$$\sigma_{max} = \frac{K_{VMAX}}{K_{VY}}, \quad \sigma_{min} = \frac{K_{VMIN}}{K_{VY}}. \quad (4.21)$$

Полученные значения подставляют в уравнения пропускных характеристик (линейной и равнопроцентной) и вычисляют максимальный и минимальный относительный ход для линейной пропускной характеристики:

$$l_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_0}{1 - \sigma_0}; \quad l_{\min} = \frac{\sigma_{\min} - \sigma_0}{1 - \sigma_0} \quad (4.22)$$

и для равнопроцентной пропускной характеристики:

$$l_{\max} = 1 - \frac{\ln \sigma_{\max}}{\ln \sigma_0}; \quad l_{\min} = 1 - \frac{\ln \sigma_{\min}}{\ln \sigma_0}. \quad (4.23)$$

Начальное значение пропускной способности σ_0 принимают для большинства регулирующих клапанов равным 0,02.

Для вычисленных предельных значений относительного хода проверяют выполнение условий (4.20) и отбирают для дальнейшей проверки пропускные характеристики, для которых эти условия выполняются. Если ограничения (4.20) не выполняются ни для одной из типовых пропускных характеристик, то следует либо рассмотреть возможность применения специальной пропускной характеристики, либо изменить конструктивный тип исполнительного устройства и начать процедуру расчета заново.

Все дальнейшие действия выполняются только с теми пропускными характеристиками, которые соответствуют ограничениям (4.20). Эти действия заключаются в определении расчетного и предельных значений характерного параметра (коэффициента передачи или коэффициента равнопроцентности) и анализе отклонений предельных значений от расчетных.

С этой целью определяют гидравлический модуль системы:

$$n = \frac{K_{VY}}{K_{VT}}, \quad (4.24)$$

где K_{VT} - пропускная способность трубопровода, связанная с приведенным коэффициентом сопротивления трубопровода ξ_{np} соотношением

$$K_{VT} = \frac{1}{25,2 \sqrt{\xi_{np}}}. \quad (4.25)$$

Далее рассчитывают максимальный и минимальный относительные расходы:

$$q_{\max} = \sigma_{\max} \sqrt{\frac{1+n^2}{1+n^2\sigma_{\max}^2}}; \quad q_{\min} = \sigma_{\min} \sqrt{\frac{1+n^2}{1+n^2\sigma_{\min}^2}}. \quad (4.26)$$

Если задана линейная расходная характеристика, то в качестве характерного параметра выбирают коэффициент передачи K , а при заданной равнопроцентной расходной характеристике - коэффициент равнопроцентности K_p .

Расчетные значения характерного параметра вычисляют из уравнений:

$$K = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \quad (4.27)$$

для коэффициента передачи или

$$K_p = \frac{\ln \frac{q_{\max}}{q_{\min}}}{l_{\max} - l_{\min}} \quad (4.28)$$

для коэффициента равнопроцентности.

Максимальное и минимальное значения характерного параметра K вычисляют из следующих соотношений:

$$K_{\max} = \frac{[1+n^2(1-q_{\max}^2)]^{\frac{3}{2}}}{1+n^2}; \quad K_{\min} = \frac{[1+n^2(1-q_{\min}^2)]^{\frac{3}{2}}}{1+n^2} \quad (4.29)$$

для линейной пропускной характеристики

$$K_{\max} = (-\ln \sigma_0) q_{\max} \frac{1+n^2(1-q_{\max}^2)}{1+n^2}; \quad K_{\min} = (-\ln \sigma_0) q_{\min} \frac{1+n^2(1-q_{\min}^2)}{1+n^2} \quad (4.30)$$

для равнопроцентной пропускной характеристики.

Максимальное и минимальное значения характерного параметра K_P вычисляют из следующих соотношений:

$$K_{P_{\max}} = \frac{[1+n^2(1-q_{\max}^2)]^{\frac{3}{2}}}{(1+n^2)q_{\max}}; \quad K_{P_{\min}} = \frac{[1+n^2(1-q_{\min}^2)]^{\frac{3}{2}}}{(1+n^2)q_{\min}} \quad (4.31)$$

для линейной пропускной характеристики

$$K_{P_{\max}} = (-\ln \sigma_0) \frac{1+n^2(1-q_{\max}^2)}{1+n^2}; \quad K_{P_{\min}} = (-\ln \sigma_0) \frac{1+n^2(1-q_{\min}^2)}{1+n^2} \quad (4.32)$$

для равнопроцентной пропускной характеристики.

И, наконец, определяют верхнее и нижнее относительные отклонения характерного параметра от расчетного значения:

$$\delta_K^e = \frac{|K_{\max} - K|}{K}; \quad (4.33)$$

$$\delta_K^h = \frac{|K_{\min} - K|}{K} \quad (4.34)$$

и сравнивают найденные отклонения с допустимыми. Окончательно выбирается пропускная характеристика с меньшими значениями относительных отклонений, если последние находятся в допустимых пределах. Здесь, как и при анализе выполнения ограничений (4.20) может случиться, что ни одна из пропускных характеристик не обеспечивает заданной стабильности характерного параметра. В этом случае следует либо сделать вывод о необходимости использования нестандартной пропускной характеристики, либо задаться новым конструктивным типом исполнительного устройства и повторить выбор его параметров.

Если допустимое отклонение характерного параметра не задано, то его принимают равным 0,3.

4.4.3. Рабочая среда - невязкая жидкость.

Кавитация наблюдается в части рабочего диапазона

Для выбора пропускной характеристики сначала проводят предварительный отбор по ограничениям, накладываемым на диапазон хода, а затем определяют тип пропускной характеристики, обеспечивающий максимальный диапазон бескавитационной работы.

Предварительный отбор заключается в следующем: для линейной и равнопроцентной пропускных характеристик определяют диапазон хода по уравнениям (4.22), (4.23) и отбирают для дальнейшего анализа пропускные характеристики, для которых выполняются ограничения (4.20).

Далее по уравнению (4.24) рассчитывают гидравлический модуль системы и определяют относительную пропускную способность, при которой начинается искажение расходной характеристики под влиянием кавитации. При известных давлениях в начале P_n и в конце P_k расчетного участка трубопровода и приведенных сопротивлений трубопровода до и после исполнительного устройства ξ_n и ξ_k условие перехода от бескавитационного режима к кавитационному запишется в виде

$$\frac{P_n - P_k}{\rho} - A_1(1 - n^2)(\xi_n - \xi_k) = K_m \left[P_m - A_1(1 + n^2)\xi_n \frac{\sigma_m^2}{1 + \sigma_m^2 n^2} - P_n \right], \quad (4.35)$$

где

$$A_1 = 638 \rho Q_{\max} \left(\frac{K_{VY}}{K_{VMAX}} \right)^2. \quad (4.36)$$

В этом уравнении неизвестны две величины – σ_m и K_m , однако последняя, как правило, задается зависимостью от коэффициента гидравлического сопротивления исполнительного устройства ζ . Используя эту зависимость (табл.П3.1, рис.П3.2), а также уравнение, связывающее коэффициент гидравлического сопротивления с относительной пропускной способностью:

$$\xi = \frac{0,00157 D_y^4}{K_{VY} \sigma}, \quad (4.37)$$

уравнение (4.35) решают относительно σ_m любым подходящим итерационным методом. На рис. П 3.2 кривая 1 отображает зависимость коэффициента K_C для двухседельных и односедельных (подача на затвор) ИУ, кривая 2 – зависимость коэффициента K_m для двухседельных и односедельных (подача на затвор) ИУ и кривая 3 – зависимость коэффициентов K_C и K_m для односедельных (подача под затвор) ИУ.

Затем по уравнениям (4.22) и (4.23) вычисляют значения хода l_m , при которых начинается искажение расходной характеристики и определяют диапазоны бескавитационной работы для рассматриваемых пропускных характеристик:

$$\delta_{БК} = \frac{l_{\max} - l_m}{l_{\max}}. \quad (4.38)$$

Окончательно выбирают пропускную характеристику, обеспечивающую больший диапазон бескавитационной работы.

4.4.4. Рабочая среда - невязкая жидкость. Кавитация наблюдается во всем диапазоне хода

В данном случае необходимо построить действительные (с поправкой на кавитацию) расходные характеристики при различных пропускных характеристиках исполнительного устройства:

$$q_{ди} = q_i \sqrt{\frac{K_{mi}}{K_m}} \quad (4.39)$$

с учетом коэффициентов кавитации, приведенных в приложении 3.

Далее определяют максимальный и минимальный относительные расходы по уравнениям (4.19), подставляя в них

$$Q_v = K_{rv} \sqrt{\frac{\Delta P_{\min}}{\rho}}. \quad (4.40)$$

По вычисленным значениям относительных расходов и построенным расходным характеристикам определяют значения относительного хода l_{max} и l_{min} .

Полученные значения хода подвергают проверке на выполнение ограничений (4.20) и выбирают пропускную характеристику, обеспечивающую больший диапазон хода.

5. Оформление курсовой работы

Графическая часть курсовой работы оформляется на листах формата А4 и вставляется в пояснительную записку. Графическая часть должна содержать структурную и принципиальную схемы САР и, если этого требует задание, принципиальную схему функционального блока или узла, рекомендованного для спецразработки.

Структурная схема САР определяет основные функциональные составляющие системы регулирования, их назначение и связи. Все структурные составляющие изображаются на схеме в виде прямоугольников с указанием типов устройств внутри их условных обозначений. Каждая функциональная связь между блоками изображается одной линией с указанием направления распространения сигнала и его информационных характеристик - несущей величины, формы и предельных значений амплитуды.

Принципиальная схема САР составляется на основе структурной схемы и схем подключения типовых регулирующих и функциональных блоков, приведенных в приложении 1. На принципиальной схеме САР изображаются все структурные составляющие в виде условных изображений с указанием маркировки соединителей, зажимов и пр. Соединения между отдельными блоками могут быть выполнены как в виде индивидуальных линий связи, так и в виде жгутов. Типы функциональных блоков могут быть обозначены внутри их условных изображений или сведены в таблицу, помещаемую на чертеже. В последнем случае все составляющие должны быть пронумерованы. Номер функционального блока проставляется справа от его условного изображения или

над ним.

Пояснительная записка должна содержать:

- задание на курсовую работу;
- реферат;
- введение;
- обоснование выбора технических средств САР;
- описание структурной и принципиальной схем комплекса технических средств;
- описание алгоритмов формирования регулирующих воздействий с выводом передаточных функций регуляторов;
- описание схемного решения и принципов работы узла или устройства, рекомендованного для спецразработки (если этого требует задание);
- расчет и выбор исполнительного устройства;
- заключение;
- список использованных литературных источников.

Реферат содержит краткие сведения о цели работы и полученных результатах, а также информацию об объеме работы, количестве чертежей, таблиц и использованных литературных источников.

Введение должно отражать основные исходные данные для выполнения работы и сведения обзорного характера об агрегатном комплексе, используемом в данной работе.

Описание структурной схемы САР должно отражать назначение и краткую характеристику используемых технических средств, основные параметры информационных сигналов и последовательность их прохождения по каналам связи. При описании принципиальной схемы САР должны быть рассмотрены типовые режимы работы системы (режимы ручного дистанционного управления, автоматической стабилизации регулируемой величины и др.), особенности взаимодействия функциональных и регулирующих блоков в каждом из рассмотренных режимов и способы безударного перехода от одного режима к другому.

Описание алгоритмов формирования регулирующих воздействий выполняется для каждого контура САР в том случае, если последний строится на базе АКЭСР-2. При этом регуляторы, функциональные блоки и исполнительные устройства должны быть представлены в виде совокупности типовых динамических звеньев. Далее необходимо определить передаточную функцию регулятора с учетом неидеальности его основных узлов. При выводе передаточных функций электронных регуляторов следует обратить внимание на то, что преобразование аналоговых сигналов блоками АКЭСР-2 сопровождается демпфированием и в структуру каждого блока должно быть внесено инерционное звено с постоянной времени демпфирования T_{ϕ} . Блоки динамической связи БДС, используемые для формирования многих законов регулирования, могут функционировать в нескольких режимах. Передаточные функции БДС для основных режимов его работы приведены в приложении 2.

Выбор исполнительного устройства проводится на основании приведен-

ных в задании исходных данных по методике, изложенной в п.4 данных методических указаний. По результатам проведенных расчетов должно быть выбрано исполнительное устройство конкретного конструктивного типа с определенными значениями условной пропускной способности, диаметра условного прохода и с определенной пропускной характеристикой.

Заключение должно содержать краткие выводы о результатах выполненной работы и предложения по их использованию.

Список литературы

1. Самарский, А.П. Технические средства автоматизации. Пневматические системы: учеб. пособие / А.П.Самарский; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2014. – 64 с.
2. Самарский, А.П. Технические средства автоматизации. Электронные системы: учеб. пособие / А.П.Самарский; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2016. – 76 с.
3. Статика и динамика пневматических приборов и устройств в системах автоматизации: метод. указания к самостоятельной работе по курсу «Технические средства автоматизации» для студентов дневного и заочного обучения по направлениям 220400, 220700/ сост. А.П.Самарский; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2013. – 44 с.
4. Типовые узлы электронных систем контроля и управления: методические указания к самостоятельной работе по курсу «Технические средства автоматизации» для студентов дневного и заочного обучения специальности 220301 / сост. А.П.Самарский; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2007. 32с.
5. Балакирев, В.С. Применение средств пневмо- и гидроавтоматики в химических производствах / В.С. Балакирев А.Э. Софиев. – М. : Химия. 1984. – 176 с. : ил. – ISBN 5-3142-037-9.
6. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: справочное пособие / А.С. Ключев и др. под ред. А.С. Ключева.– Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1989. – 368 с. : ил. – ISBN 5-283-01481-9.
7. Пневматические системы автоматизации технологических процессов : руководящие материалы РМ-45-77. – М. : Проектмонтажавтоматика, 1977. – 160 с.
8. Электрические схемы контроля и авторегулирования на приборах Чебоксарского завода: руководящие материалы РМ-52-84. – М. : Проектмонтажавтоматика, 1984. – 144 с.
9. Иткина, Д.М. Исполнительные устройства систем управления в химической и нефтехимической промышленности / Д.М. Иткина – М. :Химия, 1984. – 220 с. : ил. ISBN 5-334-01568-9.

Приложение 1

Схемы подключения пневматических и электронных регуляторов и функциональных блоков.

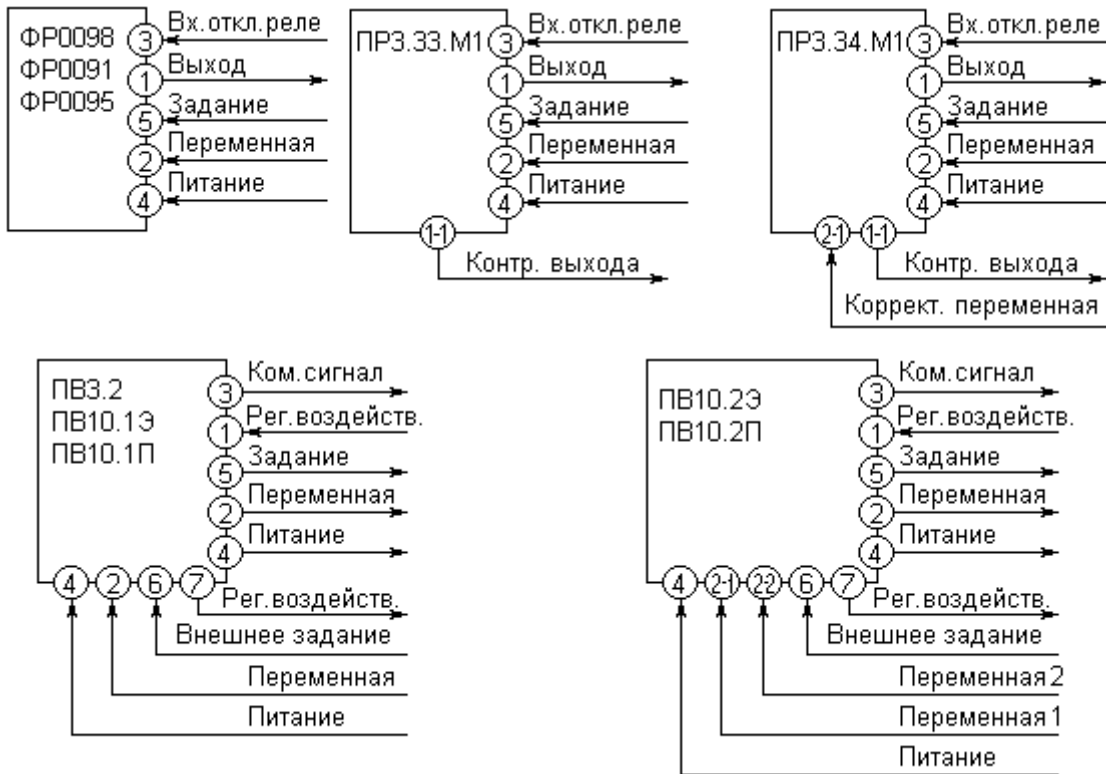


Рис.П1.1. Схемы подключения регуляторов и вторичных измерительных приборов АК «СТАРТ 2».

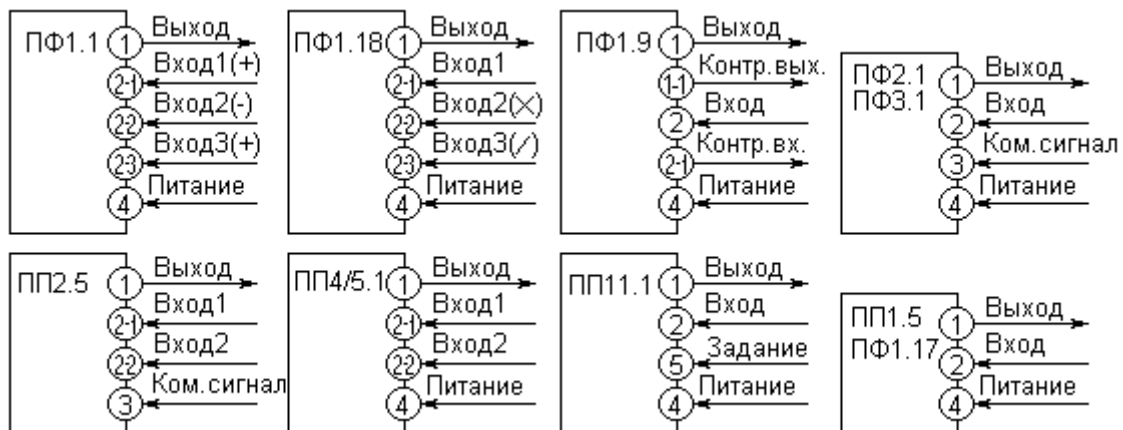


Рис.П1.2. Схемы подключения функциональных блоков АК «СТАРТ».

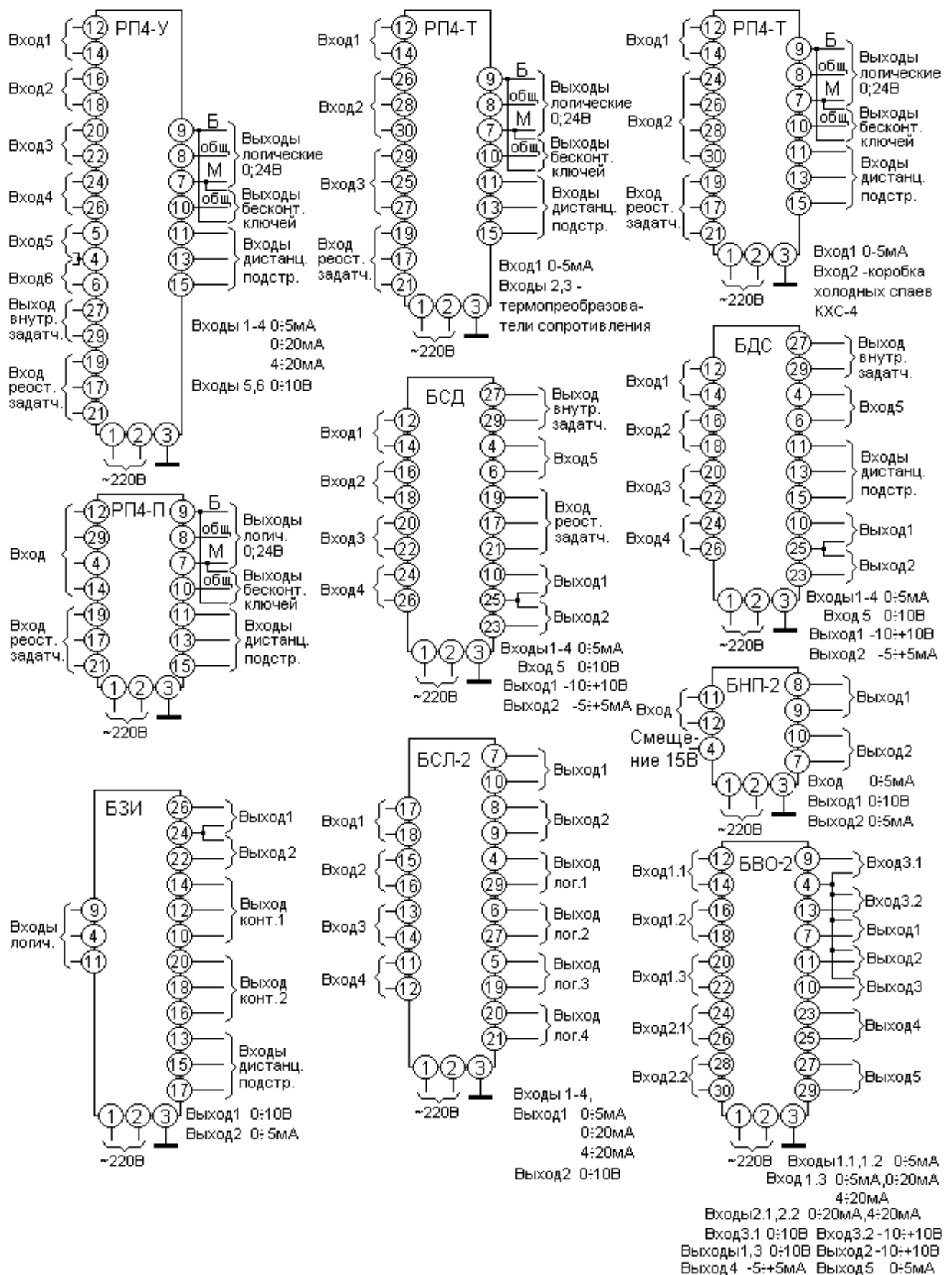


Рис.П1.3. Схемы подключения регуляторов и функциональных блоков АКЭСР-2.

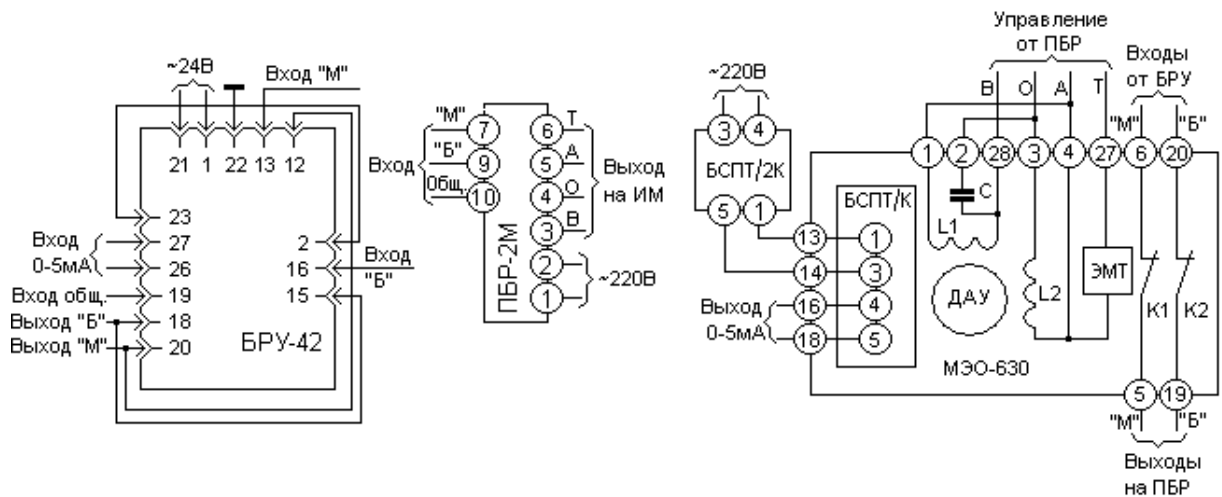


Рис.П1.4 Схемы подключения блоков управления АКЭСР-2 и исполнительного механизма.

Приложение 2

Алгоритмы динамических преобразований, реализуемые блоком БДС.

а) дифференцирующее звено:

$$W(s) = \frac{T_D K_D s}{T_D s + 1} \quad K_D = K_0; \quad T_D = T_1 + T_2;$$

б) инерционное звено:

$$W(s) = \frac{K}{T_D s + 1} \quad K = K_0; \quad T_D = T_1 \text{ или } T_D = 4T_1;$$

в) интегральное звено:

$$W(s) = \frac{K_D}{T_D s} \quad K = K_0; \quad T_D = T_1;$$

г) пропорционально-интегральное звено:

$$W(s) = K_0 \left(K_D + \frac{1}{T_D s} \right) \quad K_D = 1 \text{ или } K_D = 0,25; \quad T_D = T_1;$$

д) демпфирующее интегро-дифференцирующее звено:

$$W(s) = K_0 \frac{T_D s + 1}{K_D T_D s + 1} \quad K_D = 1 + \frac{T_1}{T_2} \text{ или } K_D = 1 + \frac{4T_1}{T_2}; \quad T_D = T_2;$$

е) форсирующее интегро-дифференцирующее звено:

$$W(s) = K_0 \frac{K_D T_D s + 1}{T_D s + 1} \quad K_D = \frac{10T_1 + T_2}{T_1 + T_2}; \quad T_D = T_1 + T_2.$$

K_0 – общий коэффициент передачи блока БДС;

T_1 – постоянная времени узла интегрирования;

T_2 – постоянная времени узла дифференцирования.

Приложение 3

Справочные материалы к расчету исполнительных устройств.

Таблица ПЗ.1.

Коэффициенты кавитации одно- и двухседельных исполнительных устройств.

Тип плунжерного ИУ	Направление потока	% K_{vy}	K_c	K_m
Для малых расходов	–	40-100	0,55	0,65
Двухседельное	Прямое	100	0,5	0,65
		60	0,4	0,55
		40	0,35	0,45
Односедельное проходное	На затвор	100	0,45	0,6
		60	0,4	0,5
		40	0,3	0,4
Односедельное проходное	Под затвор	100	0,9	0,9
		60	0,85	0,85
		40	0,8	0,8
Односедельное угловое	На затвор	100	0,45	0,6
		60	0,4	0,5
		40	0,3	0,4
Односедельное угловое	Под затвор	100	0,9	0,9
		60	0,85	0,85
		40	0,8	0,8
Односедельное угловое	На затвор при расширении выхода	100	0,3	0,35
		60	0,2	0,25
		40	0,12	0,15

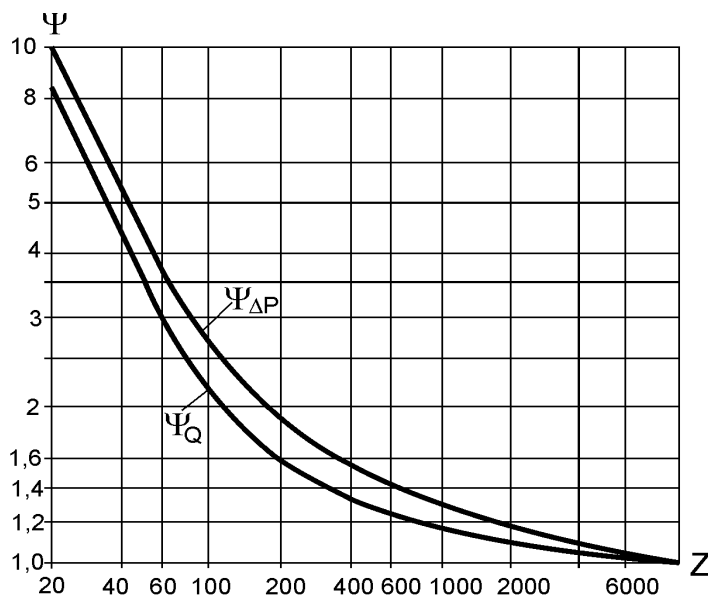


Рис ПЗ.1. Зависимости поправок на вязкость от индекса вязкости.

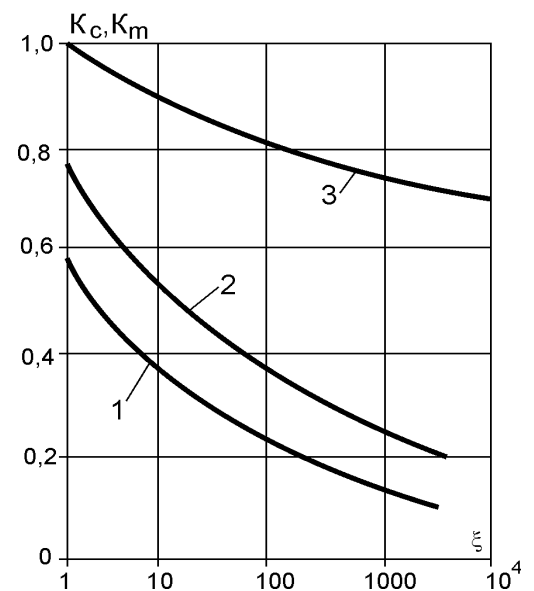


Рис ПЗ.2. Зависимости коэффициентов кавитации от приведенного сопротивления. 1 – K_c для 2-х и 1-седельных ИУ; 2 – K_m для 2-х и 1-седельных ИУ; 3 – K_c и K_m для 1-седельных ИУ.

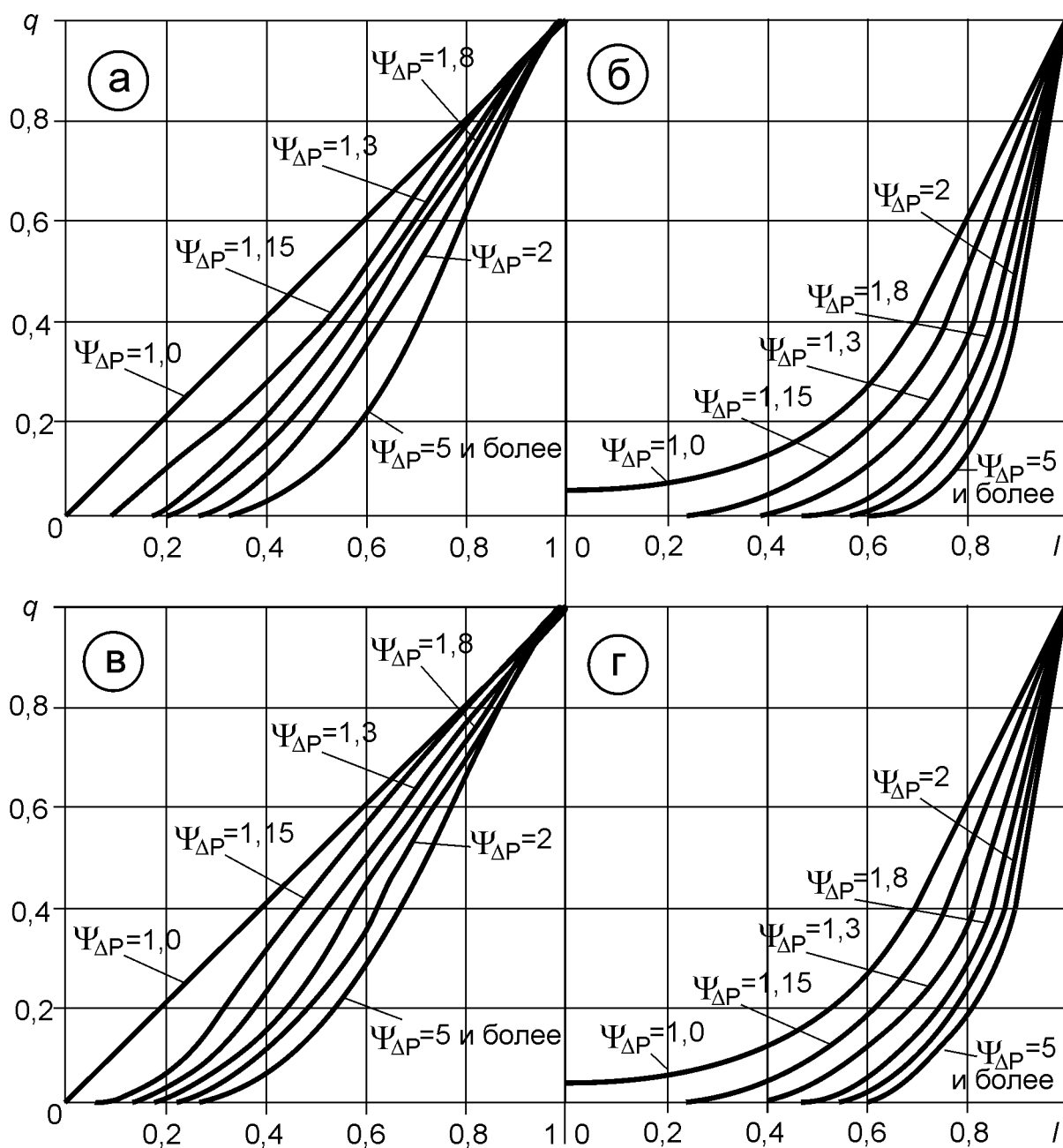


Рис. ПЗ.3. Расходные характеристики односедельных (а,б) и двухседельных (в,г) ИУ при регулировании вязкой жидкости: а), в) – для линейной пропускной характеристики; б),г) – для равнопроцентной пропускной характеристики.

Таблица П4.1

Технические характеристики серийно выпускаемых исполнительных устройств

Тип исполнительного устройства, вид действия	Условное давление, МПа	Условный проход, мм (условная пропускная способность, м ³ /час)	Пропускная характеристика	Материал	Температура рабочей среды °С
1	2	3	4	5	6
Клапаны регулирующие клеточно-плунжерные НО, НЗ с пневмоприводом (с электроприводом) КМР, КМР-Э	4	10 (0,006; 0,016; 0,04; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6) 15 (0,006; 0,016; 0,04; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5) 20 (0,006; 0,016; 0,04; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3) 25 (0,006; 0,016; 0,04; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0) 32 (0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0) 40 (0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 20; 25; 32) 50 (0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 20; 25; 32; 40; 50) 65 (10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63) 80 (25; 32; 40; 50; 63; 100; 125) 100 (40; 50; 63; 100; 125; 160; 200) 150 (63; 100; 125; 160; 200; 250) 200 (63; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630) 250 (63; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000)	Линейная; равнопроц	Нержавеющая сталь	от -40 до +450
Клапаны регулирующие Samson V2001 с электрическим или пневматическим приводом	1,0 – 4,0	15 (0,25; 0,63; 1,6; 4,0) 20 (2,5; 6,3;) 25 (4,0; 10,0) 32 (6,3; 16,0) 40 (10,0; 25;) 50 (16,0; 35) 65 (50) 80 (80) 100 (125)	Линейная; равнопроц.	Чугун, сталь	от -10 до +300

1	2	3	4	5	6
Клапаны регулирующие односедельные НО, НЗ с пневмоприводом РУСТ-510, РУСТ-520	1,6 – 4,0	15 (0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0) 20 (0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0) 25 (2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0) 32 (4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 20,0) 40 (6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 20; 25; 32) 50 (10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 20; 25; 32; 40; 50) 65 (10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80) 80 (25; 32; 40; 50; 63; 100; 125) 100 (40; 50; 63; 100; 125; 160; 200) 150 (100; 125; 160; 200; 250; 320; 400) 200 (200; 250; 320; 400; 500; 630) 250 (400; 500; 630; 800; 1000; 1250) 300 (1000; 1250; 1600) 400 (1250; 1600; 2000; 2500)	Линейная; равнопроц	Нержавеющая сталь	От -196 до 550
Клапаны регулирующие двухседельные 25ч30нжМ(НО) 25ч32нжМ(НЗ)	1,6	15 (4; 6,3) 20 (6,3; 10) 25 (10;16) 40 (25;40) 50 (40; 63) 80 (100;160) 100 (160;250) 150 (400;630) 200 (630; 1000) 250 (1000;1600) 300 (1600;2500)	Линейная; равнопроц.	Серый чугун	от -15 до +300
Клапаны регулирующие двухседельные 25с40нжМ(НО) 25с42нжМ(НЗ)	4	15 (4; 6,3) 20 (6,3; 10) 25 (10;16) 40 (25;40)	Линейная; равнопроц.	Углеродистая сталь	от -40 до +300
Клапаны регулирующие двухседельные 25нж40нжМ(НО) 25нж42нжМ(НЗ)	4	15 (4; 6,3) 20 (6,3; 10) 25 (10;16) 40 (25;40)	Линейная; равнопроц.	Нержавеющая сталь	от -40 до +300
Клапаны регулирующие двухседельные 25с14нжМ(НО) 25ч16нжМ(НЗ)	4	15 (4) 20 (6,3) 25 (10) 40 (25) 50 (40) 80 (100) 100 (160) 150 (400)	Линейная; равнопроц.	Углеродистая сталь	от -40 до +300
Клапаны регулирующие двухседельные 25нж48нжМ(НО) 25нж50нжМ(НЗ)	6,4	15 (4; 6,3) 20 (6,3; 10) 25 (10;16) 40 (25;40) 50 (40; 63) 80 (100;160) 100 (160;250) 150 (400;630) 200 (630; 1000)	Линейная; равнопроц.	Нержавеющая сталь	от -40 до +300

1	2	3	4	5	6
Клапаны регулирующие АСТИМА с пневмоприводом PV6211 и с электроприводом MV5211	1,6 - 16	15 (0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,7; 2,1; 2,7; 3,3) 20 (0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,7; 2,5; 3,7; 4,2; 6,0) 25 (0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,7; 2,5; 4,0; 5,2; 7,5; 9,2) 32 (0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,7; 2,5; 4,4; 6,3; 9,4; 11; 15) 40 (0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,7; 2,5; 4,4; 6,8; 11; 15; 19; 24) 50 (1,0; 1,7; 2,5; 4,4; 6,8; 12; 18; 24; 30; 37) 65 (2,5; 4,4; 6,8; 12; 19; 28; 37; 47; 63) 80 (6,8; 12; 19; 31; 45; 58; 79; 95) 100 (12; 19; 31; 48; 70; 99; 120; 148) 125 (19; 31; 48; 75; 118; 150; 187; 231) 150 (31; 48; 75; 127; 179; 234; 292; 333) 200 (193; 280; 366; 420; 592) 250 (302; 438; 527; 747; 926) 300 (466; 565; 813; 1126; 1333) 400 (680; 1208; 1753; 2110; 2290; 2371)	Линейная; равнопроц	Нержавеющая сталь	от -40 до +300
Клапаны регулирующие односедельные ПОУ-7 (НО, НЗ) проходные, ПОУ-10 (НО, НЗ) угловые	6,4	15 (0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5) 20 (0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3) 25 (2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0)	Линейная; равнопроц.	Нержавеющая сталь	от -40 до +225
Клапаны регулирующие односедельные ПОУ-8 (НО, НЗ) проходные, ПОУ-11 (НО, НЗ) угловые	16	15 (0,006; 0,016; 0,04; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5) 20 (0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3) 25 (0,006; 0,016; 0,04; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0)	Линейная; равнопроц	Нержавеющая сталь	от -40 до +450
Клапаны регулирующие односедельные проходные ПОУ-21М	6,3	15 (0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5) 20 (0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3)	Линейная; равнопроц	Нержавеющая сталь	от -40 до +225
Клапаны регулирующие односедельные проходные ПОУ-22М	6,3	50 (10; 16; 25) 80 (25; 40; 63) 100 (40; 63; 100)	Линейная; равнопроц	Нержавеющая сталь	от -40 до +225

1	2	3	4	5	6
Клапан односедельный регулирующийся с пневмоприводом PV16G (НО, НЗ)	1,6	15 (3,8) 20 (5,1) 25 (9,4) 32 (15,4) 40 (22,2) 50 (40,1) 65 (63,4) 80 (89,7) 100 (136,7) 125 (230,6) 150 (316,1) 200 (555,3)	Линейная; равнопроц	Нержавею щая сталь	от -5 до +220
Односедельный регулирующийся клапан Burket 2712 с электропневмопозиционером	1,6	10 (0,5; 1,2; 2,0; 2,7) 15 (0,5; 1,2; 2,1; 3,1; 4,3) 20 (3,2; 5,2; 7,1) 25 (5,3; 7,2; 12,0) 32 (8,0; 13,0; 17,8) 40 (13,6; 20,2; 23,8) 50 (21,0; 24,6; 37,0) 65 (25,5; 39,5; 62,0) 80 (42; 70; 100) 100 (75; 115; 140)	Линейная; равно- проц	Нержавею щая сталь	от -10 до +180
Клапан запорно-регулирующий дисковый осевой с электроприводом КРЗД	2,6	100 (60) 125 (100) 150 (130) 175 (180) 200 (270) 225 (320) 250 (374)	Линейная;	Нержавею щая сталь	от -10 до +280
Клапан регулирующийся диафрагмовый эмалированный с пневмоприводом 25ч36эм	3 - 10	15 (4) 20 (6,3) 25 (10) 40 (25) 50 (40) 80 (100) 100 (160)	Линейная; равнопроц	Нержавею щая сталь	от -50 до +120
Клапаны регулирующиеся шланговые специальные с пневмоприводом КШС	6,10	6 (1,2) 10 (4) 15 (10) 20 (18) 25 (32) 32 (50) 40 (80) 50 (125) 65 (160) 80 (250)	Линейная;	Резина	от -40 до +200

Оглавление

1. Общие методические указания	3
2. Выполнение проектного раздела курсовой работы.	3
2.1. Структура технических средств типовых систем автоматического регулирования.	4
2.2. Принципы построения САР на базе агрегатного комплекса СТАРТ-2.	8
2.3. Принципы построений САР на базе агрегатного комплекса АКЭСР-2.	11
3. Выполнение аналитического раздела курсовой работы.	14
4. Расчет и выбор исполнительных устройств.	15
4.1. Постановка задачи выбора исполнительного устройства.	15
4.2. Расчет пропускной способности.	16
4.3. Выбор типоразмера исполнительного устройства.	18
4.4. Выбор пропускной характеристики.	19
4.4.1. Рабочая среда – вязкая жидкость.	19
4.4.2. Рабочая среда – невязкая жидкость. Кавитация в регулирующем органе отсутствует.	20
4.4.3. Рабочая среда – невязкая жидкость. Кавитация наблюдается в части рабочего диапазона.	22
4.4.4. Рабочая среда – невязкая жидкость. Кавитация наблюдается во всем диапазоне хода.	24
5. Оформление курсовой работы.	24
Список литературы.	26
Приложение 1. Схемы подключения пневматических и электронных регуляторов и функциональных блоков.	27
Приложение 2. Алгоритмы динамических преобразований, реализуемых блоком БДС.	29
Приложение 3. Справочные материалы к расчету исполнительных устройств.	30
Приложение 4. Технические данные исполнительных устройств.	32

Учебное издание

**ЛОКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ
ПНЕВМАТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ**

Методические указания

Составитель А.П.Самарский

Редактор В.Л. Родичева

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный

химико-технологический университет»

153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 7