

681.5

A22

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ПАВЛОДАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ


Павлодар

687.5
122

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

Энергетический факультет

Кафедра «Электротехника и автоматизация»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Учебно-методическое пособие для технических
специальностей высших учебных заведений

Павлодар
Кереку
2017

621.3/075.8
УДК 621.3 (075.8)

ББК 31.2я7

А22

**Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Павлодарского государственного университета
им. С. Торайгырова**

Рецензенты:

В. Ф. Хацевский – доктор технических наук, профессор
Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова;

Т. В. Гоненко – кандидат технических наук, доцент Омского
института водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО "СГУВТ"

Составитель О. А. Андреева

А22 Автоматизация технологических комплексов : учебно-
методическое пособие для технических специальностей вузов /
сост. О. А. Андреева. – Павлодар : Кереку, 2017. – 97 с.

В учебно-методическом пособии изложены организационно-
технические и экономические предпосылки автоматизации
технологических процессов; требования, предъявляемые системам
автоматизации. Рассмотрены типовые системы и схемы управления
общепромышленными объектами автоматизированных систем
управления.

Учебно-методическое пособие рекомендуется студентам
технических специальностей вузов, изучающим системы
автоматизации технологических процессов.

421756

УДК 621.3 (075.8)

ББК 31.2я7

© Андреева О.А., 2017

© ПГУ им. С. Торайгырова, 2017

За достоверность материалов, грамматические и орфографические ошибки ответственность
несут авторы и составители

Введение

Существенное развитие отраслей промышленности характеризуется постоянно возрастающим уровнем использования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Техническое перевооружение промышленности, ускоренное внедрение новых интенсифицированных технологических процессов и производств невозможно без использования современного высокопроизводительного оборудования, комплексной механизации и автоматизации.

Характерная особенность современного этапа автоматизации состоит в том, что она опирается на революцию в электронной вычислительной технике, на самое широкое использование микропроцессорных технологий, а также на быстрое развитие робототехники и гибких производственных систем.

Внедрение систем автоматизации направлено на повышение эффективности производственных процессов, что достигается за счет: устранения ручного труда, повышения качества выпускаемой продукции, рационального использования основных фондов, материалов, сырья, снижения численности обслуживающего персонала и облегчения условий труда.

Критерием эффективности внедрения АСУ ТП является экономия затрат общественного труда. Оценка выполняется путем сопоставления трудовых затрат, необходимых для производства одной и той же продукции на автоматизированном и неавтоматизированном производстве. Экономическая оценка альтернативных вариантов принципиальных решений по автоматизации производственных процессов проводится на основе расчетов технико-экономической эффективности. К основным показателям такого расчета относятся:

- капитальные затраты на автоматизацию;
- срок окупаемости капитальных затрат;
- производительность труда после автоматизации;
- сокращение численности обслуживающего персонала;
- себестоимость единицы продукции.

Опыт эксплуатации показывает, что при правильном подборе широты показатели экономической эффективности существенно возрастают.

1 Современный уровень автоматизации ТП в отраслях промышленности

1.1 Понятие о системах управления

Под *управлением* понимают целенаправленное воздействие на объект для достижения им желаемого состояния (характеристик).

Управляемым объектом называют устройство или совокупность устройств, осуществляющих тот или иной технологический процесс и нуждающихся в специально организованных командах извне для выполнения алгоритма функционирования.

Автоматизированной системой управления (АСУ) технологическим процессом в соответствии с ГОСТ 24.003-84 называется система человек – машина, обеспечивающая эффективное функционирование технологического объекта, в которой сбор и переработка информации, необходимой для реализации функций управления осуществляется с применением средств автоматизации и вычислительной техники. При этом в понятие технологического объекта управления (ТОУ) включается технологическое оборудование и реализуемый в нем технологический процесс производства или транспортирование продукции.

АСУ создается и внедряется при невозможности иметь в данном случае *автоматическую* систему. То есть, когда автоматическая система не может отследить все возможные состояния объекта или присутствуют какие-либо помехи, которые данная система не в состоянии обработать. Разработка и внедрение АСУ ТП позволяет решать задачи оперативного управления производством на трех основных уровнях:

- локальные средства автоматики ТПП;
- автоматизированные системы управления предприятиями (АСУП);
- отраслевая автоматизированная система управления (ОАСУ).

В АСУ ТП наблюдается преобладание задач оперативного управления ТОУ над задачами организационно-экономического типа, характерных для автоматизированных систем управления предприятием, объединением, отраслью.

В зависимости от уровня автоматизации выполняемых системой функций они подразделяются на следующие виды:

- системы *децентрализованного* (локального) управления и контроля (все функции контроля и управления осуществляет оператор);
- системы *централизованного* управления и контроля (функции

контроля и управления осуществляет оператор и применяются средства централизованного сбора информации и ее частичной переработки);

- *автоматизированные* системы управления (функции управления остаются за оператором и применяются средства вычислительной техники для обработки информации и подготовки ее оператору для принятия решений);

- *автоматические* системы управления (оператор осуществляет функции контроля за исправностью системы).

В зависимости от назначения различают следующие автоматические системы:

- *сигнализации*, предназначенные для извещения обслуживающего персонала о состоянии той или иной технической установки, о протекании того или иного процесса;

- *контроля* без участия человека за различными параметрами и величинами, характеризующими работу какого-либо технического агрегата, или протеканием какого-либо процесса;

- *блокировки и защиты* для предотвращения аварийных ситуаций в технических установках;

- *пуска и остановки* для включения, остановки и реверса различных двигателей и приводов по заданной программе;

- *управления* различными процессами или работой технических агрегатов.

В зависимости от уровня автоматизированные производственные системы (АПС) могут быть совокупностью отдельных станков с ручным управлением или с ЧПУ, совокупностью гибких производственных модулей, ячеек, автоматических линий или, наконец, гибкой производственной системой (ГПС) или гибкие автоматизированные производства (ГАП). ГПС – переналаживаемая автоматизированная производственная система, которая решает задачи управления технологическим процессом, как единым целым, во всей сложности взаимосвязей его структур и параметров, автоматизируя принятие решений по оптимальному управлению этим процессом, т.е. обеспечивая выбор конкретного оптимального управляющего воздействия.

По степени охвата управляемого процесса АСУ ТП подразделяются на комплексные и локальные. Под комплексными АСУ ТП понимаются системы осуществляющие управление всем процессом в комплексе с решением отдельных задач организационно-технического управления по технико-экономическим критериям. Под локальными АСУ ТП понимаются системы управления отдельной

самостоятельной частью сложного технологического процесса, которые автономно функционируют как подсистемы комплексной АСУ ТП.

1.2 Задачи в области автоматизации

Применение современных средств и систем автоматизации позволяет решить следующие задачи:

- вести процесс с производительностью, максимально достижимой для данных производительных сил, автоматически учитывая непрерывные изменения технологических параметров, свойств исходных материалов и полуфабрикатов, изменений в окружающей среде, ошибки операторов;

- управлять процессом, постоянно учитывая динамику производственного плана для номенклатуры выпускаемой продукции путем оперативной перестройки режимов технологического оборудования, перераспределения работ на однотипном оборудовании и т.п.;

- автоматически управлять процессами в условиях, вредных или опасных для человека.

Иерархия систем автоматизации определяет порядок подчинения взаимосвязанных подсистем общей системе, которая в пределах отрасли промышленности основывается на выработке определенной стратегии, реализуемой по оптимальным законам с учетом возможностей конкретных промышленных предприятий, цехов, технологических комплексов, механизмов. Сущность иерархического принципа состоит в том, что каждый из уровней вырабатывает задание – уставку, обязательную для подчиненного ему уровня. Так нижний уровень подчиняется верхнему, а верхний получает задание от вычислительного комплекса. Этот принцип получил название декомпозиции задачи управления.

На нижней ступени управления обеспечивается управление отдельными агрегатами и установками посредством местных локальных систем контроля и управления. *Объектами управления* являются отдельные параметры, установки, агрегаты. Решение задач стабилизации, программного управления, слежения переходит от человека к системе управления. У человека появляются функции расчета задания и параметры настройки регуляторов.

На средней ступени управления обеспечивается координация работы подчиненных производственных единиц, связанных между собой общностью технологического процесса, распределение нагрузок между параллельно работающими установками,

оптимизация заданных показателей работы производства на этой ступени управления кроме локальных систем контроля и управления используются машины централизованного контроля и управляющие вычислительные машины (УВМ). *Объектом управления* становится распределенная в пространстве система. С помощью систем автоматического управления (САУ) реализуются все более сложные законы управления, решаются задачи оптимального и адаптивного управления, проводится идентификация объекта и состояний системы. Характерной особенностью является внедрение систем телемеханики и управление технологическими процессами. Человек все больше отделяется от объекта управления, между объектом и диспетчером выстраивается целый ряд измерительных систем, исполнительных механизмов, средств телемеханики, мнемосхем и других средств отображения информации (СОИ).

На верхней ступени системы управления крупным промышленным комплексом (заводом, комбинатом) стоят весьма сложные задачи по координации работ всех производственных и вспомогательных подразделений объекта, распределению нагрузок и обеспечению оптимальных показателей работы предприятия. Решение этих задач может быть достигнуто за счет внедрения автоматизированных систем управления, использующих средства вычислительной техники: микропроцессоры, автоматические информационные системы сбора данных и современные вычислительные комплексы.

1.3 Функции АСУ ТП и их обеспечение

Совокупность действий АСУТП, направленная на достижение определенной цели, называется АСУ ТП. В соответствии с ГОСТ 24.003-84 различают:

- *управляющую функцию АСУТП*, т.е. совокупность её действий, которая включает получение информации о состоянии ТООУ, оценку этой информации, выбор управляющих воздействий и их реализацию;
- *информационную функцию АСУТП*, т.е. получение, обработку и передачу информации о состоянии ТООУ или внешней среды;
- *вспомогательную функцию АСУТП*, которая включает сбор, обработку данных о состоянии технологического или программного обеспечения данной системы, представление этой информации оператору либо осуществление управляющих воздействий на соответствующие технические средства системы.

Информационная функция включает:

- сбор, преобразование и хранение информации о состоянии

ТОУ; представление этой информации оперативному персоналу или передача ее для последующей обработки;

- первичная обработка информации о текущем состоянии ТОУ;
- обнаружение отклонений технологических параметров и показателей состояния оборудования от установленных значений;
- расчет значений не измеряемых величин и показателей (косвенные измерения, расчет технико – экономических показателей (ТЭП), прогнозирование);
- оперативное отображение и регистрация информации;
- обмен информацией с оперативным персоналом;
- обмен информацией со смежными и вышестоящими АСУ.

Управляющие функции обеспечивают поддержание экстремальных значения критерия управления в условиях изменяющейся производственной ситуации, они делятся на две группы:

- определение оптимальных управляющих воздействий;
- реализация этого режима путем формирования управляющих воздействий на ТОУ (стабилизация, программное управление; программно-логическое управление).

Вспомогательные функции обеспечивают решение внутрисистемных задач.

Для реализации функций АСУ ТП необходимы следующие виды обеспечения: техническое; программное; информационное; организационное; оперативный персонал.

Техническое обеспечение АСУ ТП составляет комплекс технических средств (КТС), содержащий следующие элементы: средства получения информации о текущем состоянии ТОУ; УВК (управляемый вычислительный комплекс); технические средства для реализации функций локальных систем автоматизации; исполнительные устройства, непосредственно реализующие управляющие воздействия на ТОУ.

Правила обмена информацией и сама информация, циркулирующая в АСУ ТП, образуют *информационное обеспечение* АСУ ТП (все взаимодействия внутри АСУ ТП и с внешней средой, массивы данных и документов)

Организационное обеспечение АСУ ТП представляет собой совокупность описаний функциональной, технической и организационной структур системы, инструкций и регламентов для оперативного персонала, обеспечивающую заданное функционирование АСУ ТП.

Оперативный персонал АСУ ТП состоит из технологических операторов, осуществляющих управление ТОУ, эксплуатационного персонала, обеспечивающего функционирование АСУ ТП (оператора ЭВМ, программисты, персонал по обслуживанию аппаратуры КТС).

1.4 Классификация промышленного производства

При организации современного технологического процесса выделяются три подсистемы преобразования: вещества, энергии, информации, которые образуют автоматизированный технологический комплекс (АТК), представляющий собой совокупность совместно функционирующих АСУ ТП и технологического объекта управления.

Множество технологических объектов управления (ТОУ), отличаются физической природой, видом перерабатываемого сырья и энергии, технологическим оборудованием. В системе промышленного производства можно выделить два существенно отличных класса технологических процессов: добычу исходного сырья и переработку сырья или полуфабриката в готовый продукт.

На рисунке 1.1 показана классификация промышленного производства по указанному выше признаку.

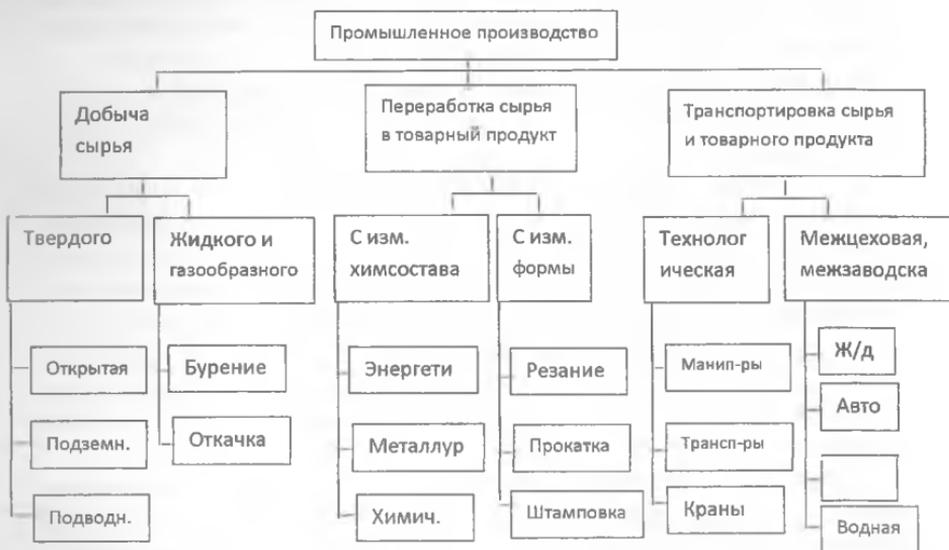


Рисунок 1.1 – Классификация промышленного производства

Первый класс может быть разделен на добычу твердых, жидких или газообразных продуктов. Во втором – переработка сырья или полуфабриката – выделяются отрасли с технологией изменения агрегатного состояния или химического состава вещества и процессы, технология которых направлена на изменение формы исходной заготовки или исходного материала. Транспортировка сырья, полуфабрикатов и готовой продукции может рассматриваться в качестве самостоятельного класса. Здесь можно выделить технологические и межпроизводственные или межотраслевые транспортные средства.

Каждый класс имеет два четко выраженных подкласса. В подклассе добычи твердого сырья выделены три самостоятельные отраслевые технологии: подземных и открытых разработок и воднотранспортная (драги, земснаряды и др.); подкласс добычи жидкого или газообразного сырья представлен сырьем, представлен технологиями бурения и откачки.

Подкласс получения продукции, связанной с агрегатного или физико-химического состояния материала, присущ таким отраслям, как энергетика, химическая промышленность, металлургия (доменное, сталеплавильное производство, электрохимическая металлургия и др.). В этих процессах используются различные виды энергии: тепловая, электрическая, химическая, атомная. Энергоноситель поступает к технологическому агрегату в виде пара, газа, компонентов исходных материалов (например, кокс в доменном и агломерационном производстве). Управляемыми параметрами здесь являются поток материала и его состав, а также поток энергоносителя и его состав.

В данном случае технологическими объектами управления являются транспортные, дозирующие и массоизмерительные устройства, подготавливающие технологический процесс изменения агрегатного и физико-химического состояний исходных продуктов и собственно процессы этих преобразований, непрерывность протекания физико-химических процессов определяет их взаимную связь с транспортировкой и дозированием, что позволяет рассматривать весь технологический комплекс как единый технологический объект управления.

Подкласс производства продукции, связанный с изменением формы исходного сырья или полуфабриката, включает любые процессы поточного или индивидуального производства. К ним могут относиться прокатка, штамповка, волочение, формовка, обработка резанием и т.д. Здесь используется только один вид энергии –

механическая, источником которой в подавляющем большинстве случаев служит автоматизированный электропривод. Управляемым параметром является поток энергии.

Технологическая транспортировка объединяет устройства перемещения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в соответствии с расположением технологического оборудования и требованиями технологического процесса.

Существующие АСУ ТПП можно также классифицировать по степени их сложности и числу контролируемых параметров. В таблице 1.1 приводится данная классификация.

Таблица 1.1 – Классификация АСУ ТПП по степени сложности

Уровень АСУ ТПП	Наименование ТПП	Типичные ОУ
1) Автономные АСУ ТПП	ТПП с малым числом параметров управления до 20.	Функерные питатели, весовые дозаторы, смесеприготовители, текстильные станки, поточные установки и т.д.
2) Автоматизированные информационные системы	ТПП с числом контролируемых параметров до 50	Технологические котельные, компрессорные станции, системы теплоснабжения, группы технологических машин полунепрерывного и периодического действия.
3) Автоматизированные системы оптимального управления в режиме советчика	ТПП с числом контролируемых, регулируемых и оптимизируемых параметров до 100	Поточные линии в текстильной и легкой промышленности, химические реакторы, установки первичной обработки сырья.
4) Автоматизированные системы оптимального управления с замкнутым контуром и вводом оптимальных решений	ТПП с использованием технологических агрегатов большой мощности и сложности с числом контролируемых и управляемых параметров до 1000	Энергоблоки, производство резинотехнических изделий, цехи производства искусственного волокна, прядильные и ткацкие цехи текстильного производства.
5) Автоматизированные системы управления с использованием управляющих вычислительных машин	Производственные процессы с одно- и двухступенчатой структурой управления	Прядильно-ткацкие и трикотажные производства

2 Переработка технологической информации

2.1 Управляемость технологического процесса

Функционирование АСУ ТП связано с переработкой потока технологической информации. При этом необходимо знать общие положения по информационному обеспечению процесса управления, общие принципы получения и преобразования технологической информации.

Для реализации целенаправленно и результативно протекающего технологического процесса он должен быть *управляемым*. Применительно к технологическим объектам это означает, что в процессе их функционирования необходимо осуществлять непрерывные воздействия на исполнительные органы, чтобы при внешних возмущениях обеспечить получение единственного необходимого результата. Чем совершеннее управление, тем точнее, однозначнее будет совпадение фактического результата технологического процесса с требуемым.

Применение современных средств и систем автоматизации позволяет решить следующие задачи:

- вести процесс с производительностью, максимально достижимой для данных производительных сил, автоматически учитывая непрерывные изменения технологических параметров, свойств исходных материалов и полуфабрикатов, изменений в окружающей среде, ошибки операторов;
- управлять процессом, постоянно учитывая динамику производственного плана для номенклатуры выпускаемой продукции путем оперативной перестройки режимов технологического оборудования, перераспределения работ на однотипном оборудовании и т.п.;
- автоматически управлять процессами в условиях, вредных или опасных для человека.

Решение поставленных задач возможно, если имеются основные следующие предпосылки:

- наблюдаемость основных технологических параметров производственного процесса (возможность прямых или косвенных измерений всех параметров, характеризующих состояние процесса);
- потенциальная управляемость производственного процесса (возможность компенсировать возмущения быстрее, чем успевают измениться эти возмущения);
- прогрессивность производственного процесса и используемого технологического оборудования (уровень механизации объектов

уточнения);

+ наличие необходимой степени изученности производственного процесса как объекта управления;

+ возможность получения существенного технико-экономического, социального или другого эффекта.

+ реальность практического использования потенциально-допустимого эффекта;

+ наличие необходимого технического обеспечения разрабатываемой АСУ ТПП;

+ наличие необходимых организационных предпосылок для создания АСУ ТПП.

Протекание управляемого технологического процесса может быть представлено как последовательность сменяющихся режимов или состояний. Менее совершенное управление обеспечивает только поддержание некоторого рационального заданного режима, или отработку требуемой траектории, или последовательность перехода из одного режима в другой; более совершенное обеспечивает получение требуемого конечного результата, выбор наилучшего (оптимального) режима работы и траектории перехода при минимальных затратах средств, материалов и энергии.

Нарушения управления делают технологический процесс неупорядоченным: снижается вероятность получения заданных результатов и повышается вероятность появления нежелательных результатов. В идеально управляемом технологическом процессе из многих равновероятных результатов благодаря управлению обеспечивается получение одного, единственно необходимого. Практически такое управление является либо неоправданно дорогостоящим, либо нереализуемым вообще.

Допустимым уровнем качества управления технологическим процессом является такой, при котором с требуемой вероятностью обеспечивается ограниченное число допустимых результатов (уровней качества): выпуск кондиционной продукции или брака, аварийные ситуации, остановки и т.д.

Для количественной оценки степени неупорядоченности технологического объекта вводится понятие *энтропии* H , как некоторой функции числа возможных результатов n (исходов). При условии, что исходы равновероятны, такая функция должна принимать значения:

а) $H = \infty$ при бесконечно большом числе возможных исходов $n = \infty$;

б) $H = 0$ при одном единственно возможном исходе $n = 1$;

в) $H = \sum H_i = \sum n_i$, т.е. неупорядоченность системы определяется суммой неупорядоченностей ее составляющих.

Перечисленным условиям удовлетворяет логарифмическая функция

$$H = \log_a n.$$

Основание логарифма a обычно принимается равным основанию системы счисления при которой определяется n . Тогда при $n = a$ энтропия равна единице, а при $n = a = 2$ – двоичной единице, при $n = a = 10$ – десятичной.

Если все n результатов равновероятны и какой-либо из них обязательно должен иметь место, то вероятность появления каждого из них равна $P = 1/n$, откуда $Pn = 1$. Энтропия объекта может быть выражена через вероятность получения этого результата

$$H = \log_a \frac{1}{P} = -\log_a P.$$

Тогда при $n = \infty$ $P = 0$ и $H = \infty$, а при $n = 1$ $P = 1$ и $H = 0$.

В реальных условиях возможны неравновероятные исходы, поэтому энтропия объекта по выбранным признакам определится усредненным ее значением по отдельным результатам (значениям признаков) с учетом вероятности их появления. В теории вероятности такая величина называется *математическим ожиданием* и равна сумме произведений случайной величины (в нашем случае энтропии отдельного результата H_i) на вероятность ее появления P_i , т.е.

$$H = \sum_{i=1}^n P_i H_i = \sum_{i=1}^n P_i \log_a \frac{1}{P_i} = -\sum_{i=1}^n P_i \log_a P_i.$$

Это выражение известно как формула Шеннона.

Для управляющего звена энтропия объекта – это энтропия датчиков, характеризующих его функционирование, а необходимая для ее понижения информация определяется системой команд, выдаваемых исполнительным звеньям или промежуточным преобразователям. Таким образом, управление осуществляется как бы не самим объектом, а его моделью, представляемой различными датчиками. В связи с этим можно считать, что энтропия определяется множеством состояний всех датчиков и вероятностными характеристиками этих состояний.

2.2 Получение информации о технологическом процессе

В процессе управления оператор передает управляющему устройству априорную и исходную информацию, а объект управления – текущую. Управляющее устройство информирует оператора о принятых решениях и передает объекту управляющую информацию.

Сигналы носителей внешней информации (априорной и исходной) должны передавать сведения о задачах и целях управления. Сигналы текущей информации, вырабатываемые датчиками, должны обеспечивать необходимую простоту и высокую достоверность преобразования технологического параметра в сигнал. Текущая информация используется также для сигнализации и косвенной диагностики предаварийных и аварийных ситуаций. Источниками текущей информации являются различные обратные связи, контролируемые значения выходных параметров и возмущений.

Априорная информация включает универсальные сведения, не изменяемые при переходе от одного типоразмера продукции к другому. Она может содержать численно-буквенные характеристики приоритетов тех или иных ситуаций, которые используются при решении задач перехода, например, от эксплуатационных алгоритмов к аварийным и т.д.

Исходная информация содержит сведения, касающиеся данного типоразмера продукции. Это, прежде всего, геометрия детали или химический состав партии отливок, типы инструментов, последовательность их смены и параметры отдельных технологических операций.

Для выполнения заданных операций управления человек должен получить ряд сведений, которые принято называть *внешней информацией*. Эта неизменная информация хранится в памяти оператора и включает основные характеристики технологического процесса и порядок выполнения операций управления в нормальных и аварийных режимах.

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) охватывает лишь часть контролируемых величин, которые наиболее часто используют в практике автоматизации. В ГСП все контролируемые величины разбиты на пять групп: теплоэнергетические, механические, электроэнергетические величины, химический состав и физические свойства.

Теплоэнергетические величины: температура, давление, перепад давлений, уровень и расход.

Электроэнергетические величины: постоянные и переменные ток и напряжение, мощность (активная и реактивная), коэффициент мощности, частота и сопротивление изоляции.

Механические величины: линейные и угловые перемещения, угловая скорость, деформация усилия, вращающие моменты, количество изделий, твердость материалов, вибрация, шум и масса.

Химический состав: концентрация, состав, химические свойства.

Величины, характеризующие *физические свойства*: влажность, электропроводность, плотность, вязкость, освещенность и др.

В ряде случаев приходится контролировать параметры, которые не поддаются непосредственному измерению. Подобные задачи решаются применением датчиков, контролируемых параметров, по которым вычисляется значение искомой величины.

Необходимую для управления информацию о состоянии объекта и внешних воздействиях получают в виде значений отдельных физических величин с помощью соответствующих технических устройств, которые в автоматике называют измерительными преобразователями (ИП). Тип измерительного устройства автоматического регулятора определяется:

- видом регулируемого параметра (давление, температура, скорость и т. п.);
- физической природой преобразуемого сигнала (температура среды в электрический импульс, в механическое воздействие и т. д.);
- требуемой точностью поддержания регулируемого параметра;
- зависимостью показаний от условий измерения (запыленность среды, вибрация и т. п.).

Преобразователи, применяемые в ГСП, подразделяются на шесть групп: механические, электромеханические, тепловые, электрохимические, оптические и электронно-ионизационные.

Структуры ИП несмотря на разнообразие измеряемых величин в АСУ ТП могут быть сведены к четырем видам, показанным на рисунке 2.1.

Структура однократного прямого преобразования реализуется в ИП с естественными выходными сигналами, например в термоэлектрических преобразователях, датчиках давления и перепада давления. Если первичное преобразование измеряемой величины не дает удобного для использования сигнала, применяют структуры с несколькими последовательными ИП. Дифференциальная структура в ИП применяется тогда, когда измерение основывается на сопоставлении результатов преобразования измерительной информации, полученной в реальных и в некоторых эталонных

условиях. Преимущество этой структуры по сравнению с предыдущими состоит в значительном уменьшении погрешности, обусловленной изменением параметров источника питания и окружающей среды.

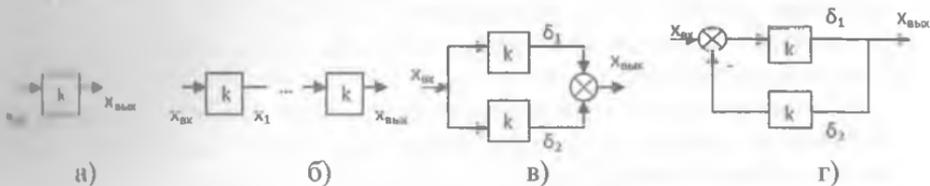


Рисунок 2.1 – Структуры измерительных преобразователей

Наиболее совершенной является структура с отрицательной обратной связью, получившая название компенсационной схемы. Достоинство схемы – компенсация изменений параметров измерительного тракта вследствие того, что выходной сигнал непрерывно сравнивается с измеряемой величиной. Отрицательная обратная связь существенно снижает влияние погрешности звеньев прямого канала на результат преобразования.

Специфика контролируемой величины существенно влияет на метод преобразования, используемый в первичном ИП. Измерительный прибор, показанный на рисунке 2.2, состоит из первичного преобразователя (датчика Д), указателя или регистратора (УК), представляющего измеряемую величину в удобной для использования форме, и измерительного устройства (ИУ), осуществляющего преобразование выходного сигнала датчика во входной сигнал указателя.

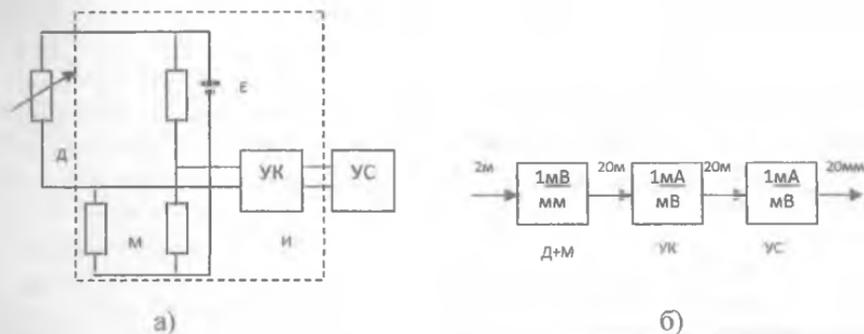


Рисунок 2.2 – Схема и структура измерительного преобразователя

УД 1456¹⁷

Датчиком измерительного прибора называется совокупность преобразователей, размещаемых непосредственно на объекте измерения. Указатель, регистратор, устройство отображения информации должны быть размещены там, где используются результаты измерения, например на пульте оператора. При создании указателей основным требованием является удобство использования результатов замеров.

Например, при измерении температуры можно в качестве датчика использовать терморезистор (резистор, меняющий свое сопротивление при изменении температуры), в качестве указателя можно взять амперметр с соответствующей градуировкой; измерительным устройством здесь будет электрическая схема контроля изменения сопротивления терморезистора, включающая измерительный мост M и усилитель $УС$. Таким образом, измеряемая величина подвергается в измерительном приборе серии преобразований.

Наряду с ИП в АСУ ТП применяются промежуточные преобразователи, например АЦП и ЦАП, преобразующие аналоговые сигналы ИП в цифровые, необходимые для ввода в ЭВМ, и цифровые в аналоговые – для связи ЭВМ с исполнительными органами в системах комбинированного управления.

Преобразователи, предназначенные для передачи сигнала измерительной информации на расстояние, называют *передающими*. Их используют в системах телемеханики. Создание систем телемеханики в целях организации централизованного контроля и управления оборудованием – составная часть комплексной автоматизации.

Условия на реальном объекте измерения обычно значительно более жесткие, чем в месте регистрации (повышенная температура, вибрации, влажность, пыль, недостаток места). Поэтому в точке, в которой необходимо провести измерение, размещается минимум преобразователей, достаточный для фиксации значения измеряемой величины и преобразования его в форму, пригодную для передачи из зоны объекта в более благоприятную зону (хотя бы на расстояние нескольких метров), где размещается измерительное устройство.

Раздельное конструктивное исполнение датчиков, измерительных устройств и указателей в совокупности со следованием стандартам соответствующих входных и выходных величин этих элементов обеспечивает гибкость в применении, простой ремонт, универсальность и взаимозаменяемость.

2.3 Преобразования технологической информации. Виды и формы сигналов

Информация в ИП представляется в виде определенной физической величины, удобной для передачи и дальнейшего преобразования в системе автоматики которая называется сигналом. Он однозначно связан с контролируемой физической величиной или параметром технологического процесса. Иногда природа или параметры полученного сигнала непригодны для того, чтобы передавать его по каналам информации. В этом случае необходимо осуществить преобразование сигнала. К преобразованию информации относятся: переход от аналоговой формы представления к цифровой; кодирование сигналов; передача информации; защита от помех. При всех преобразованиях сигналов смысл сообщения, полученного при считывании с датчиков и поступающего к управляющему устройству, не должен претерпевать изменений. В преобразовании сигналов можно выделить два аспекта:

- преобразование природы, формы и параметров сигнала (модуляция, квантование и пр.);

- установление однозначного соответствия между отдельными видами сигналов и состояниями управляемого и контролируемого параметров (кодирование: состояние – сигнал; перекодирование: сигнал-сигнал; декодирование: сигнал – состояние).

Кодирование сигналов служит для обмена информацией между отдельными составляющими АСУ ТП, ее обработки и хранения с требуемой точностью и надежностью. Кодирование состоит в использовании кода – универсального способа отображения информации при ее передаче, обработке и хранении. Код представляет собой систему соответствий между элементами сообщений и сигналами, при помощи которых эти элементы можно зафиксировать.

В настоящее время применяются системы, в которых вся априорная информация преобразуется в рационально выбранные кодовые комбинации цифровых или буквенных символов, наносимых на программоноситель, и вводится в память управляющего устройства. Для сокращения времени подготовки исходных данных широко используются ЭВМ.

В АСУ ТП применяются два способа передачи сообщений:

- параллельным кодом – все символы одного слова передаются одновременно по каналам, число которых соответствует длине слова;

- последовательным кодом – символы одного слова передаются друг за другом по одному каналу.

Порог, когда помехи начинают влиять на основной сигнал, определяет расстояние, на которое можно передавать информацию. Для увеличения этого расстояния существуют промежуточные устройства, которые позволяют усиливать сигнал, сохраняя уровень помех неизменным. Классификация представления сигналов в АСУ ТП приведена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Классификация представления сигналов

В соответствии с ней сигналы делятся на две группы:

- аналоговые или непрерывные, способные в определенном диапазоне находиться в бесконечно большом количестве состояний;
- дискретные, способные в определенном интервале находиться в конечном числе состояний (ток в цепи, коммутируемой реле; выходной сигнал логического элемента или узла цифровой схемы и т.д.).

Различают ИП с естественными и унифицированными выходными сигналами. Измерительные преобразователи с естественными выходными сигналами – устройства, в которых осуществляется первичное (обычно однократное) преобразование измеряемой физической величины.

По виду естественной выходной величины преобразователи делят на две группы:

- генераторные, когда естественной выходной величиной является ЭДС или ток (например, фотодатчик, термopара),
- параметрические, когда естественной выходной величиной является изменение сопротивления, индуктивности или емкости

чувствительного элемента, которые потом преобразуются в изменение напряжения или тока в измерительном устройстве.

Унифицированный сигнал – это сигнал определенной физической природы, изменяющийся в определенных фиксированных пределах независимо от вида измеряемой величины, метода и диапазона ее измерения. Для получения унифицированных аналоговых сигналов применяют ИП, называемые нормирующими. Преобразователи, служащие для изменения масштаба сигнала, называют масштабными ИП. В большинстве случаев применяются унифицированные сигналы, приведенные на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Структура измерительных устройств ГСП

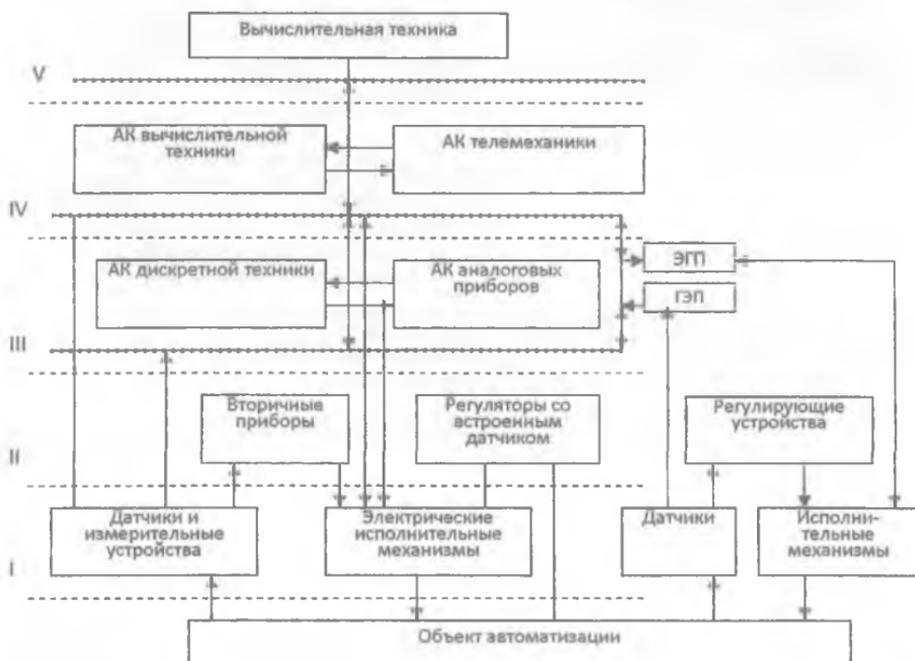
3 Технические средства автоматизации

3.1 Структура технических средств автоматизации

Все изделия ГСП можно разделить на следующие группы:

- получения информации о состоянии объекта управления;
- приема, преобразования и передачи информации по каналам связи;
- преобразования, хранения и обработки информации,
- формирования команд управления, связи с оперативным персоналом; использования командной информации для воздействия на управляемый объект.

Рассмотрим структуру технических средств автоматизации (ТСА), представленную на рисунке 3.1.



АК – агрегатный комплекс, I, II – средства контроля и регулирования для простых локальных систем автоматизации, III-V – системы управления верхнего уровня

Рисунок 3.1 – Функционально-целевая структура средств автоматизации

Для управления АСУ ТП наиболее часто используются электрические сигналы, реже – механические, гидравлические, пневматические. Реализация сложных алгоритмов управления возможна только на базе электрических преобразователей, поэтому типичным является использование электрических датчиков, преобразующих данные об объекте в форму электрического сигнала, электрических регуляторов, усилителей, переключателей, электромеханических преобразователей для преобразования электрического сигнала в механическое перемещение регулирующего органа гидро- или пневмопривода, дающего требуемую для управления рабочим органом мощность.

Электрический сигнал является наиболее универсальным и удобным для систем автоматики по сравнению с другими (пневматическими и гидравлическими) сигналами.

Преимущества электрического сигнала:

- возможность передачи на большие расстояния, что удобно для дистанционного управления;
- простота усиления, преобразования и обработки в электронных устройствах;
- возможность преобразования в другие виды энергии (механическую, тепловую);
- малая инерционность электрических элементов.

Однако электроэлементы автоматики обладают и рядом недостатков:

- невысокой мощностью исполнительных устройств,
- иногда недостаточным быстродействием.

Во избежание потребления энергии разных видов обычно стремятся использовать в цепи управления преобразователи, использующие один внешний источник энергии – электросеть, гидросистему или заводскую сеть сжатого воздуха.

Основные преимущества гидро- и пневмо- преобразователей: большой коэффициент усиления по мощности; высокое быстродействие; малые габариты и металлоемкость на 1 кВт выходной мощности. К числу недостатков относят следующие: неудобство в наладке, связанное со сложностью оперативных изменений давления воздуха при проверке работоспособности; необходимость применения специальных компрессорных установок питания (гидравлических насосов, компрессоров). Кроме того, гидросистемы требуют более тщательной герметизации линий связи и нуждаются в специальных емкостях для хранения рабочей среды (воды либо специального негорючего масла).

Между техническими средствами электрической и гидравлической ветвей нередко существуют связи с взаимным обменом унифицированными сигналами благодаря применению электрогидравлических (ЭГП) и гидроэлектрических преобразователей (ГЭП). Это дает возможность выбрать оптимальную структуру технических средств из устройств разных ветвей ГСП.

Самый простой вариант структуры гидравлической ветви – группа приборов, работающих без вспомогательной энергии, состоящая из регуляторов прямого действия.

Основное внимание уделяют не конструктивным и метрологическим характеристикам оборудования, изучаемым в специальных курсах, а статическим и динамическим характеристикам, используемым при синтезе автоматических СУ. Результаты зависят также от выбора измерительного устройства, исполнительного механизма (ИМ) и регулирующего органа (РО).

3.2 Средства сбора информации о ходе технологического процесса

Измерительное устройство регулятора, как и всякое звено контура регулирования, характеризуется зависимостью между выходной и входной величинами в установившемся и переходном режимах. В установившемся режиме эта зависимость характеризует статическую характеристику устройства. Желательно, чтобы статическая характеристика измерительного устройства в рабочем диапазоне изменения регулируемой величины была линейной.

Измерительное устройство по сравнению с объектом управления (ОУ) должно иметь минимальные запаздывание и постоянную времени. Мощность, развиваемая измерительным устройством, должна быть больше мощности, необходимой для перемещения РО регулятором прямого действия, или достаточной для нормальной работы регулятора непрямого действия.

Рассмотрим принцип действия, особенность конструкции, а также характеристики устройств для измерения давления и разрежения, температуры, уровня, расхода, перемещения и частоты вращения.

Измерение давления и разрежения. Его проводят в основном с помощью механических устройств (пружины, мембраны, сильфоны), деформируемых или перемещаемых на величину, пропорциональную величине измеряемого параметра (таблица 3.1).

Статическая характеристика устройств этого типа имеет вид

$$S = Fp / K ,$$

где F – эквивалентная площадь упругого элемента, m^2 ;
 p – контролируемое давление, H/m^2 ;
 K – жесткость упругого элемента, m/H .

Таблица 3.1 – Измерение давления и разрежения

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Манометрическая пружина	Перемещение конца трубки S	Инерционное или колебательное
	Гармониковая мембрана (сильфон)	Перемещение сильфона S	Инерционное или колебательное
	Дифференциальный манометр	Перемещение мембраны S	Инерционное или колебательное
	Колокольный манометр	Перемещение поплавка S	Инерционное или колебательное

Динамические характеристики механических измерителей давления описываются передаточной функцией (ПФ) инерционного или, если масса подвижных частей значительна, колебательного звена. Постоянная времени инерционного звена $T = \eta / K$, где η – коэффициент трения среды, давление которой измеряют в $H \cdot c/m^2$.

Для измерения разности давлений используют дифференциальные манометры, выходная величина S которых пропорциональна разности контролируемых давлений $p_1 - p_2$. Механические измерители применяют для контроля давления от 10^2 до 100 МН.

Для очень малых давлений удобны колокольные манометры. В динамическом отношении они также эквивалентны механическим. Коэффициент преобразования измерителя

$$K = 0,1 \frac{F_c}{F_k \rho} ,$$

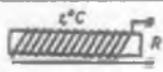
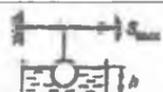
где F_c и F_k – площади сосуда и стенок колокола, m^2 ;

ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Кроме механических применяют электрические измерители давления, использующие тензодатчики, пьезорезисторы, магнитоупругие элементы и т. д. В динамическом отношении эти измерители соответствуют безынерционным звеньям, коэффициент преобразования и усиления которых определяется конструктивными особенностями измерителя.

Измерение температуры проводят на основе зависимости некоторых физических параметров измерителя от температуры (таблица 3.2). Работа этой группы преобразователей основана на тепловом расширении твердых тел, жидкостей или газов (биметаллические, dilatометрические, манометрические измерители), на изменении сопротивления проводников и полупроводников (терморезисторы) или изменении термоЭДС, возникающей в двух проводниках разной физической природы при наличии разности температур в точках их соединения (термопара).

Таблица 3.2 – Измерение температуры и уровня

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Металлический терморезистор	Электрическое сопротивление R	Инерционное (безынерционное)
	Dilatометр	Перемещение стержня S	Инерционное (безынерционное)
	Термопара	Напряжение U	Инерционное (безынерционное)
	Манометрический термометр	Перемещение S	Инерционное (безынерционное)
	Поплавок	Перемещение S _{вмх}	Безынерционное (колебательное)

Диапазон измерения платиновых терморезисторов – от минус 220 °С до 500 °С, медных – от минус 50° С до 180 °С. Статическая характеристика металлических терморезисторов в рабочем диапазоне измеряемых температур практически линейна. Коэффициент преобразования для медных терморезисторов гр. 50М и 100М соответственно 0,214 и 0,428 Ом/°С, платиновых гр. 50П и 100П

соответственно 0,196 и 0,391 Ом/°С.

Полупроводниковые терморезисторы используют для измерения температуры от минус 90 °С до 180 °С. В отличие от металлических статическая характеристика полупроводниковых терморезисторов нелинейная, ее крутизна (коэффициент преобразования) с увеличением температуры падает. Существенный недостаток таких измерительных преобразователей – отсутствие взаимозаменяемости, поэтому их градуировка индивидуальна.

Термоэлектрические измерительные преобразователи (термопары), как и металлические терморезисторы, имеют линейную статическую характеристику. Коэффициент преобразования самых распространенных из них:

- хромель-алюмель – $41 \cdot 10^3$ мВ/°С; диапазон измерения от минус 50 °С до 100 °С;
- хромель-копель – $69,5 \cdot 10^3$ мВ/°С; диапазон измерения от минус 50 °С до 600 °С;
- медь-константан – $47,5 \cdot 10^3$ мВ/°С.

В динамическом отношении передаточные функции измерителей температуры распространенных типов могут быть аппроксимированы последовательно включенными инерционным и запаздывающим звеньями

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} e^{-p\tau},$$

где k – коэффициент усиления;

T – постоянная времени;

τ – постоянная времени запаздывания.

Параметры k , T и τ в основном зависят от конструкции преобразователя, например, для термопар – от толщины и длины металлической гильзы (чехла), защищающей измерительный преобразователь от механических воздействий или от контактов с измеряемой средой. Так, постоянная времени T находится обычно в диапазоне от 2 до 10 мин.

Работа dilatометрических и биметаллических измерительных преобразователей основана на различии коэффициентов теплового расширения твердых тел, из которых выполнены чувствительные элементы. В dilatометрическом преобразователе по значению перемещения свободного конца стержня S судят о температуре t измеряемой среды.

Свободный конец биметаллического преобразователя изгибается

в сторону металла обычно с меньшим коэффициентом линейного расширения. Статическая характеристика биметаллического преобразователя нелинейная. Его динамические характеристики соответствуют характеристикам инерционного звена.

В манометрическом преобразователе изменение температур окружающей среды t вызывает изменение давления в замкнутой системе, заполненной жидкостью, парожидкостной смесью или газом. По значению перемещения конца манометрической пружины S судят о температуре среды, в которую помещен термобаллон. Статическая характеристика этого измерительного преобразователя также нелинейная. В динамическом отношении он подобен инерционному звену.

Класс точности манометрических термометров составляет 1,0...2,5. Диапазон измеряемых температур – 160...600 °С. Длина капилляра, связывающего термобаллон с манометрической пружиной, до 60 м.

Измерение уровня чаще всего осуществляют с помощью поплавка, плотность которого меньше плотности жидкости, или погружного поплавка, плотность которого больше, чем плотность жидкости. В первом случае поплавков следит за уровнем жидкости, во втором устройство действует по принципу измерения выталкивающей силы, действующей на поплавок (таблица 3.2).

Кроме поплавковых применяют также измерители, использующие массу сосуда с жидкостью, гидростатическое давление или зависимость электрического сопротивления от уровня контролируемой жидкости.

В динамическом отношении измерители уровня эквивалентны колебательным звеньям или безынерционным звеньям $W(p) = S(p) / h(p) = K \cdot h$ с коэффициентом преобразования K , определяемым конструкцией устройства.

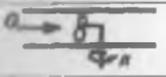
Измерение расхода одно из самых сложных и ответственных видов измерений. Расход измеряют в массовых (m , кг/с) или объемных (V , м³/с) единицах. Связь между ними определяется соотношением $m = V\rho$, где ρ – плотность измеряемой среды, кг/м³.

Расход жидкости или газа при $\rho = \text{const}$ можно измерить с помощью специально устанавливаемого в трубопроводе сужающего устройства (таблица 3.3), перепад давления Δp на котором пропорционален расходу среды. Этот перепад измеряется дифференциальным манометром. Расходомер этого типа называют *дроссельным*. В динамическом отношении он эквивалентен безынерционному звену с коэффициентом преобразования

$$K = C\sqrt{\Delta p},$$

где C – коэффициент, значение которого зависит от геометрической формы и размеров сужающего устройства, диаметра трубопровода и плотности измеряемой среды.

Таблица 3.3 – Измерение расхода

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Дроссельный расходомер	Перепад давления Δp	Безынерционное
	Счетчик	Частота вращения n	Безынерционное
	Пневмометрическая трубка	Перепад давления Δp	Безынерционное

Очевидно, статическая характеристика этого измерительного устройства нелинейна. Для измерения количества вещества G , кг, используют скоростные или объемные счетчики, рабочий орган которых – крыльчатка, вращаемая потоком жидкости. Количество среды, прошедшей через трубопровод, пропорционально частоте вращения крыльчатки, измеряемой интегрирующим прибором. Принцип действия у счетчиков количества газа аналогичен, но их рабочий орган имеет иную конструкцию, например в виде двух вращающихся овальных шестерен.

Объемный расход жидкости или газа можно также определить по скорости их движения с помощью пневмометрической трубки. Последнюю располагают по оси трубопровода навстречу потоку. Она воспринимает динамический напор Δp , равный разности между полным и статическим напором.

Динамический напор измеряют дифференциальным манометром. Он служит для вычисления скорости в измеряемой точке сечения.

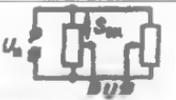
Устройства этого типа используют для измерения расхода жидкостей или газов в трубопроводах больших диаметров и некруглого сечения.

Измерение перемещения осуществляют с помощью датчиков потенциометрического типа, разных электромашинных устройств или индуктивных преобразователей (таблица 3.4).

Преобразователи потенциометрического типа включают в мостовую схему, питаемую постоянным или переменным током.

Электромашинный преобразователь – сельсин представляет собой миниатюрную электрическую машину, состоящую из статора и ротора. На статоре обычно располагают три обмотки, сдвинутые в пространстве на 120° по отношению одна к другой; а на роторе – одну обмотку. При использовании сельсинов в трансформаторном режиме одноименные зажимы обмоток статоров сельсинов датчика и приемника соединяют между собой. На обмотку ротора сельсина-датчика подают напряжение переменного тока U_D , а с ротора сельсина-приемника снимают напряжение U , значение которого пропорционально синусу угла рассогласования роторов. При этом согласованным является положение, при котором оси обмоток роторов сельсинов сдвинуты на 90° .

Таблица 3.4 – Измерение перемещения

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Мост постоянного и переменного тока	Напряжение U	Безынерционное
	Сельсин трансформатор	Напряжение U	Безынерционное
	Дифференциально-трансформаторный преобразователь	Напряжение U	Безынерционное

Дифференциально-трансформаторные преобразователи имеют три обмотки, одна из них, первичная, питается переменным током U_D , а две другие, вторичные, включены навстречу одна другой. При среднем положении плунжера напряжение U , индуцируемое во вторичных обмотках, равно нулю. При отклонении плунжера от среднего положения на выходе датчика появляется напряжение переменного тока, значение и фаза которого зависят от значения и направления отклонения.

3.3 Средства отображения и хранения информации

Технические средства, используемые для формирования информационных моделей, называются средствами отображения информации (СОИ). С помощью СОИ полученная от одного или

нескольких источников информация преобразуется в информационную модель, удобную для восприятия оператором. Информационная модель позволяет человеку анализировать состояние управляемого объекта, принимать решения и осуществлять контроль и управление процессом производства.

Средства отображения информации должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать понимание наблюдателем отображаемой информации;
- прояснять сложные отношения так, чтобы тенденции развития событий были представлены в доступной форме;
- создавать необходимые условия для принятия правильного решения;
- обеспечивать эффективное информационное взаимодействие человека и техники, при котором возможности обоих используются наилучшим образом;
- обеспечивать максимальную надежность человека, сводить до минимума степень возможных ошибок;
- обеспечивать гибкость поведения человека;
- координировать действия для коллектива наблюдателей.

Назначение (условия работы) СОИ определяет требования к весу, энергопотреблению, виброустойчивости, герметичности, диапазону рабочих температур, влажности, воздействию окружающей среды:

По количеству пользователей СОИ делятся на: индивидуальные ($L \leq 1,5$ метра до наблюдателя); групповые ($1,5 \leq L \leq 4$ метра); коллективные ($L \geq 4$ метров).

По типу используемого индикатора СОИ делятся на: электронно-лучевые трубки; электролюминесцентные индикаторы; светоизлучающие диоды; вакуумнолюминесцентные индикаторы; вакуумнонакальные индикаторы; газоразрядные индикаторы; жидкокристаллические индикаторы; электромеханические индикаторы; магнитооптические индикаторы; электрохромные индикаторы.

Существуют *визуальные, акустические и тактильные средства отображения информации*. Они включают: мониторы, стрелочные или цифровые приборы, подключаемые к входу или выходу управляющего устройства либо к датчикам, а также комплекс индицирующих и регистрирующих приборов в виде цифropечатающих устройств и электронных индикаторов (дисплеев). При выборе средств отображения информации, требующих быстрой

реакции рабочего, следует отдавать предпочтение звуковым и световым сигналам достаточной мощности.

К основным параметрам СОИ следует отнести используемый алфавит, информационную емкость, разрешающую способность, быстродействие, точность воспроизведения информации, фотометрические параметры (яркость, контраст), надежность, стоимость, потребляемую мощность.

Структура и форма представления информационного потока от управляющего устройства к оператору зависят от "уровня" оператора и режима работы управляющего устройства. Информация операторов "нижнего уровня", наиболее приближенных к технологическому объекту управления, требует, как правило, оперативной реакции; форма ее представления должна обеспечивать легкое, быстрое восприятие (цифровые табло, стрелочные приборы). Информация для операторов "верхнего уровня" (технологов-программистов) должна быть всесторонней и исчерпывающей, обеспечивающей дальнейший ее анализ; форма представления – распечатка на бумаге в виде цифр, графиков и т.п.

Информация от исследуемого объекта поступает на определенное число измерительных преобразователей и далее на средства измерения и преобразования информации, в которых производятся чаще всего следующие преобразования: фильтрация, масштабирование, линеаризация, аналого-цифровое преобразование. Затем сигналы в цифровой форме могут передаваться на цифровые средства обработки и хранения информации для обработки по определенным программам или накопления, а также на *средства отображения информации*. Устройство формирования управляющих воздействий посредством заданного множества исполнительных устройств воздействуют на объект исследования для регулирования. В качестве цифровых средств хранения и обработки информации в ИИС применяются различные устройства от микропроцессоров до универсальных ЭВМ.

3.4 Типовые регуляторы

Элементами типового регулятора являются: измерительный преобразователь, задатчик, усилитель и регулирующее устройство.

Основные типы регуляторов – позиционные и непрерывного действия. Последние делятся на пропорциональные, пропорционально-интегральные и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы.

Пропорциональный (П) регулятор перемещает РО на значение x ,

пропорциональное отклонению регулируемой величины y от заданного значения. В динамическом отношении П-регулятор подобен безинерционному (пропорциональному) звену с уравнением

$$x(p) = k_p y(p),$$

где k_p , – коэффициент пропорциональности.

Параметр настройки П-регулятора равен перемещению РО x при отклонении регулируемой величины y на единицу ее изменения.

Пропорциональные регуляторы позволяют устойчиво работать практически в любых технологических системах. Однако их недостаток – зависимость регулируемой величины от нагрузки объектов.

Интегральный (И) регулятор. Он перемещает РО пропорционально интегралу от сигнала рассогласования. В динамическом отношении И-регулятор подобен интегрирующему звену с уравнением

$$x(p) = \frac{k_{pi}}{p} y(p),$$

где k_{pi} – коэффициент пропорциональности.

Параметр настройки И-регулятора k_{pi} характеризует зависимость скорости перемещения регулирующего органа от значения отклонения регулируемого параметра.

И-регуляторы поддерживают параметр без его отклонений, однако могут устойчиво работать только на объектах, имеющих значительное самовыравнивание.

Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор. Он перемещает РО на величину x , пропорциональную сумме отклонения и интеграла от отклонения регулируемой величины y . В динамическом отношении ПИ-регулятор подобен системе из двух параллельно включенных регуляторов: пропорционального с коэффициентом пропорциональности k_p и интегрального с коэффициентом пропорциональности k_p / T_i

$$x(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right) y(p),$$

где T_i , – время удвоения.

При увеличении постоянной времени T_n такой ПИ-регулятор превращается в П-регулятор, а устройство ОС – в безынерционное звено.

ПИ-регуляторы, отличаясь простотой конструкции, обеспечивают высокое качество стабилизации параметра независимо от нагрузки объекта.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор. Он перемещает РО пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения регулируемой величины. В динамическом отношении ПИД-регулятор подобен системе из трех параллельно включенных звеньев: пропорционального – с коэффициентом пропорциональности k_p , интегрального – с k_p / T_n и дифференцирующего – с $k_p T_d$

$$x(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_n p} + T_d p \right) y(p).$$

На практике аналоговый ПИД-регулятор выполняют по той же структурной схеме, что и ПИ-регулятор, но устройство ОС в этом случае должно иметь ПФ вида апериодического звена второго порядка. Обычно ПИД-закон регулирования реализуют путем включения последовательного корректирующего устройства в виде интегрально-дифференцирующего звена.

Позиционный (релейный) регулятор. Он вырабатывает сигнал, который перемещает РО в одно из фиксированных положений (позиций). Этих положений может быть два, три и более, соответственно различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы.

Уравнение автоматической системы регулирования с позиционным регулятором определяется статической характеристикой регулятора.

Статическая характеристика наиболее распространенного из этой группы регуляторов – двухпозиционного показана на рисунке 3.2, а.

Величина $2a$ определяет зону неоднозначности регулятора. При изменении входной величины y (она же - выходная величина объекта) относительно заданного значения на a выходная величина x (регулирующее воздействие) скачком достигнет своего максимального значения V_1 . При уменьшении x на то же значение a выходная величина также скачком достигнет значения V_2 , причем в общем случае $V_1 \neq V_2$.

Таким образом, двухпозиционные регуляторы имеют два параметра настройки: зона неоднозначности $2a$ и регулирующее

воздействие В.

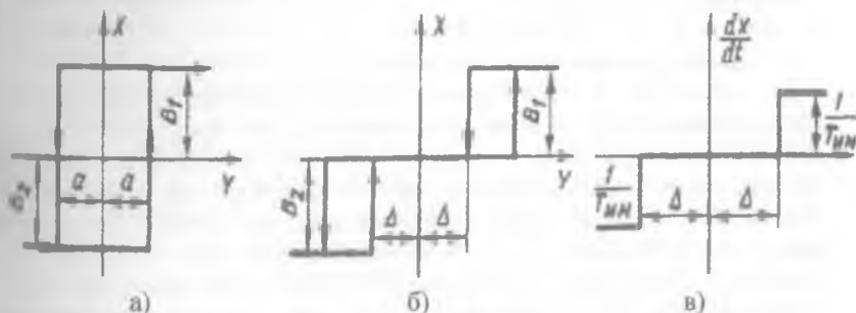


Рисунок 3.2 – Статические характеристики позиционных регуляторов

Характерная особенность системы регулирования с двухпозиционным регулятором – автоколебательный характер изменения регулируемой величины y . Параметры автоколебаний – амплитуда A_K и период T зависят от свойств объекта регулирования ($T_{об}$, $K_{об}$, τ) и параметров настройки регулятора.

Трехпозиционные регуляторы показанные на рисунке 3.2, б в отличие от двухпозиционных кроме двух устойчивых положений – «больше» V_1 и «меньше» V_2 – обеспечивают еще и третье – «норма». Органы настройки трехпозиционного регулятора позволяют устанавливать зону нечувствительности 2Δ и значение регулирующего воздействия V .

Преимущества трехпозиционного регулирования перед двухпозиционным заключаются в отсутствии автоколебаний при изменении $-\Delta < u < +\Delta$ и малом значении амплитуды колебаний регулируемой величины.

Позиционные регуляторы могут работать также и с ИМ, обеспечивающими постоянную скорость перемещения РО. Статическая характеристика такого регулятора приведена на рисунке 3.2, в. В соответствии с этой характеристикой скорость перемещения РО dx/dt изменяется скачкообразно, достигая значения $1/T_{им}$, где $T_{им}$ – время полного хода ИМ.

Релейные регуляторы кроме зоны нечувствительности имеют также и зону неоднозначности.

Преимущества позиционных регуляторов: простота технических способов управления энергетическими потоками, удобство сочетания релейного элемента с ИМ постоянной скорости, перемещающим РО,

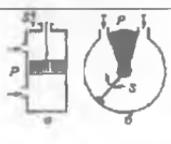
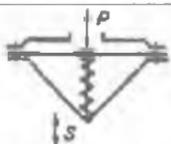
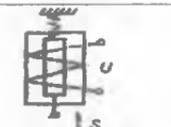
низкая стоимость, надежность и простота настройки самих регулирующих устройств.

3.5 Исполнительные механизмы

Устройство, преобразующее управляющий сигнал регулятора в перемещение РО, называют исполнительным механизмом (ИМ). Такое устройство обычно состоит из исполнительного двигателя, передаточного или преобразующего узла (например, редуктора), а также систем защиты, контроля и сигнализации положения выходного элемента, блокировки и отключения. Передаточная функция ИМ входит в ПФ регулятора, и потому ИМ должен обладать достаточным быстродействием и точностью, с тем чтобы осуществлять перемещение РО с возможно меньшим искажением закона регулирования.

Наиболее характерна классификация ИМ по виду потребляемой энергии на гидравлические, пневматические и электродвигательные или электромагнитные. Схемы и параметры ИМ представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Исполнительные механизмы

Схема	Наименование	Входной параметр	Выходной параметр	Тип звена
	Поршневые двигатели с поступательным и вращательным движением	Давление 0,1-10 МПа	Механическое перемещение	Интегрирующее
	Пневматический мембранный двигатель	Давление 0,1-0,5 МПа	Механическое перемещение	Безынерционное
	Электродвигательный ИМ	Напряжение	Механическое вращение	Инерционное
	Электромагнитный соленоид	Напряжение	Механическое перемещение	Инерционное

Гидравлические ИМ состоят из управляющего и исполнительного элементов. Обычный вариант первого элемента – золотник, второго –

гидроцилиндр. Последний, в свою очередь, реализует поступательное (а) или вращательное (б) движение выходного вала (таблица 3.5). В гидравлических ИМ входная величина – перемещение управляющего устройства или давление жидкости на поршень p , а выходная – перемещение (поворот) выходного вала S .

Постоянная времени реального гидравлического ИМ при больших скоростях перемещения поршня сильно возрастает, что объясняется резким увеличением сил поршня вязкого трения, но все-таки с достаточной точностью его характеристики совпадают с характеристиками интегрирующего звена, постоянная времени которого прямо пропорциональна площади поршня и обратно пропорциональна $\sqrt{p_1 - p_2}$, где p_1 и p_2 – давление нагнетания и слива рабочей жидкости.

Гидравлические ИМ обладают очень большим быстродействием и выходной мощностью, и потому их применяют в системах автоматизации мобильных сельскохозяйственных машин и агрегатов.

Пневматические ИМ по устройству аналогичны гидравлическим. Они получили широкое распространение благодаря высокой надежности, простоте конструкции и возможности получения достаточно больших усилий.

Крутизна статической характеристики пневматического ИМ сходится в прямой зависимости от площади мембраны и в обратной – от коэффициента жесткости пружины (несколько возрастает по мере ее сжатия). Соответственно, при малых изменениях выходного параметра S динамику механизма можно представить характеристиками безынерционного звена, причем коэффициент передачи которого несколько убывает с увеличением S .

Общие недостатки пневматических и гидравлических ИМ – сложность операций по их наладке и, главное, необходимость специальных компрессорных (насосных) установок для их питания.

Электродвигательные ИМ. В них используют электродвигатели постоянного и переменного тока, в том числе асинхронные двухфазные с полым ротором, с конденсаторами в цепи обмотки управления, а также асинхронные трехфазные двигатели. Исполнительные двигатели постоянного тока имеют независимое возбуждение или возбуждение от постоянных магнитов. Управляют этими двигателями, изменяя напряжение на якоре или на обмотке возбуждения (якорное или полюсное управление).

В большинстве конструкций электрических ИМ применяют двухфазные и трехфазные асинхронные двигатели.

Асинхронный двухфазный двигатель приближенно можно

рассматривать как инерционное звено, если выходная величина – угловая скорость ротора, или как два последовательно соединенных звена – интегрирующее и инерционное, если выходная величина – угол α поворота ротора.

Значение коэффициента передачи зависит от способа управления двигателем, а постоянная времени – от сигнала управления, возрастающая с уменьшением пускового момента двигателя от 0,1 до 0,2 с (для полого ротора с обмоткой типа «беличьей клетки»).

Передаточная функция асинхронного трехфазного двигателя совпадает с ПФ инерционного звена.

Коэффициент преобразования и постоянную времени определяют по механической характеристике двигателя и рабочей машины.

Большинство электродвигательных ИМ работает в режиме, когда скорость перемещения не зависит от значения отклонения регулируемого параметра от заданного. Такой ИМ состоит из асинхронного электродвигателя, редуктора, концевых и путевых выключателей, датчиков (преобразователей), тормозного устройства и ручного привода.

Электродвигатель с редуктором служит для преобразования электрической энергии в механическую, достаточную для перемещения РО.

Концевые выключатели используют для отключения пускателя при достижении РО крайних положений, а путевые выключатели – для ограничения диапазона перемещения РО в автоматическом режиме.

Датчики положения формируют сигнал, пропорциональный углу поворота выходного вала ИМ. Этот сигнал используется индикатором положения на пульте оператора, а также, возможно, в качестве сигнала ОС по положению ИМ (для формирования П-закона регулирования, например).

Ручной привод обеспечивает возможность ручной перестановки РО при нарушениях работы электрической части механизма.

Включение-отключение электродвигателя по команде регулирующего устройства осуществляется через средство электромагнитного или полупроводникового релейного устройства-пускателя. Реверс электродвигателя обеспечивается изменением схемы подключения двух фаз.

Электромагнитные ИМ представляют собой соленоиды и электромагнитные муфты. Соленоидный ИМ – это катушка, втягивающее усилие которой при подаче управляющего сигнала U перемещает якорь на расстояние S , преодолевая сопротивление

пружины.

Статическая характеристика электромагнитных ИМ, как правило, нелинейная, и их используют в системах позиционного регулирования.

Электромагнитные муфты могут быть фрикционными, порошковыми или асинхронными. Фрикционная муфта состоит из двух полумуфт, посаженных на ведущий и ведомый валы. В одной из полумуфт расположена обмотка возбуждения. При подаче на нее напряжения полумуфты сдвигаются и возникающая сила трения приводит их в движение. Такие муфты также применяют в системах позиционного регулирования и защиты оборудования при аварийных нарушениях его работы.

Принцип действия порошковой муфты основан на изменении вязкости ферромагнитной массы, заполняющей муфту. При подаче на катушку напряжения вязкость ферромагнитной массы возрастает и передаваемый момент увеличивается.

В муфтах скольжения момент вращения передается посредством магнитного поля, создаваемого обмоткой, расположенной на ведущей полумуфте. При ее вращении в ведомой полумуфте, как в роторе асинхронного двигателя, индуцируется ток, от взаимодействия которого с магнитным полем возникает момент вращения, увлекающий ведомую полумуфту за ведущей.

Порошковые и асинхронные электромагнитные муфты могут быть использованы и в системах непрерывного регулирования. В этом случае их характеризует ПФ инерционного звена с постоянной времени 0,03...0,25 с (для порошковых) и 0,11...0,45 с (для асинхронных муфт).

3.6 Регулирующие органы

Устройство, позволяющее изменять направление или расход потока вещества или энергии в соответствии с требованиями ТП, называют регулирующим органом (РО).

Работоспособность РО определяется его характеристиками: диапазоном регулирования и рабочей расходной характеристикой.

Отношение максимального расхода среды G_{\max} к минимальному G_{\min} соответствующему перемещению РО из одного крайнего положения h_{\min} в другое h_{\max} , называют диапазоном регулирования, определяемым по формуле

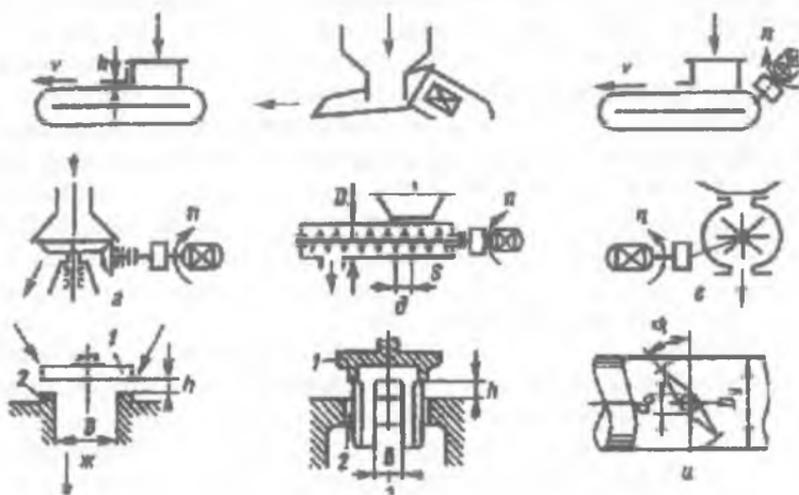
$$R = G_{\max}/G_{\min}.$$

Зависимость расхода среды от положения РО h называют рабочей расходной характеристикой и рассчитывают по формуле

$$G=f(h).$$

При разработке, выборе и наладке РО для обеспечения возможности эффективного управления ТП в широком диапазоне нагрузок и при разных режимах следует обеспечить достаточный диапазон регулирования и линейную рабочую характеристику в пределах этого диапазона. Используемые в сельскохозяйственном производстве РО можно разделить на три группы.

Регулирующие органы объемного типа показаны на рисунке 3.3,а. Они изменяют расход среды за счет изменения ее объема (например, ленточные питатели-дозаторы компонентов кормовых смесей). Материал на ленту поступает непосредственно из бункера через воронку в его нижней части. На фронтальной грани воронки в вертикальных направляющих перемещается заслонка, посредством которой осуществляется регулирование производительности питателя.



а – ленточный питатель (объемный); б – вибрационный питатель; в – ленточный питатель (скоростной); г – тарельчатый питатель; д – шнековый питатель; е – секторный питатель; ж – тарельчатый клапан; з – золотниковый клапан; и – поворотная заслонка

Рисунок 3.3 – Регулирующие органы

Для исключения заклинивания ленты высота щели h между подлонкой и лентой должна быть не менее $(2,5...3) d_{\max}$, где d_{\max} – максимально возможный размер частиц материала.

Регулирующие органы скоростного типа. Они изменяют производительность РО за счет изменения его частоты вращения. К РО этого типа относят устройства для регулирования частоты вращения вытяжных вентиляторов систем вентиляции животноводческих помещений, шнековых питателей-дозаторов и т. д.

В связи с большим разнообразием физико-химических свойств дозируемых компонентов кормов, других сыпучих материалов и условий, в которых работают эти РО, известно большое число конструкций их рабочих органов. Эти органы, как правило, состоят из активных элементов, обеспечивающих перемещение дозируемого материала, ограничивающих элементов, формирующих поток, и вспомогательных элементов.

Рациональный выбор рабочего органа и его конструктивное оформление в значительной степени обеспечивают надежность устройства и точность дозирования.

Вибрационные питатели показанные на рисунке 3.3, б, предназначены для подачи из бункера, не имеющего дна, мелко- и крупнокусковых материалов. Подачу материала регулируют изменением амплитуды выпрямленного напряжения, подводимого к электромагнитам питателя. Электромагниты, жестко связанные с корпусом лотка, заставляют его вибрировать с определенной частотой. Материал вследствие небольшого наклона лотка перемещается к его концу со скоростью, зависящей от амплитуды питающего напряжения. Достоинства вибрационных питателей – отсутствие вращающихся частей, плавное и практически безынерционное регулирование производительности.

Ленточные питатели показаны на рисунке 3.3, в и предназначены для выдачи сыпучих материалов с различными размерами фракций. Производительность питателя зависит от размеров фракций материала и скорости перемещения ленты v . Последнюю можно изменять с помощью частоты вращения электропривода или бесступенчатого вариатора, управляемого ИМ.

Тарельчатые питатели, показанные на рисунке 3.3, г, предназначены для подачи из бункеров преимущественно мелкозернистых и мелкокусковых материалов. Тарельчатый питатель представляет собой круглый плоский диск (тарель), устанавливаемый под бункером и вращаемый специальным приводом желателью с возможностью регулирования частоты вращения п.

Между бункером и тарелью устанавливают манжеты и нож, с помощью которых осуществляется регулирование сечения потока материала. Более точное регулирование осуществляют поворотом ножа или изменением частоты вращения тарели. Производительность питателя зависит от изменения физических свойств материала, высыпавшегося на тарель.

Шнековые питатели показаны на рисунке 3.3, д. Они более всего пригодны для выдачи мелкозернистых и мелкодисперсных материалов.

Производительность шнекового питателя пропорциональна квадрату диаметра рабочего винта D шагу S и частоте его вращения n .

Секторные питатели показаны на рисунке 3.3, е и предназначены для выдачи мелкозернистых материалов. Основа конструкции секторного питателя – вращающийся барабан, разделенный радиальными перегородками на несколько секторов.

В частном случае (барабанный питатель) сектор может быть и один. Секторный питатель устанавливают под бункером. Материал выдается за счет поочередного заполнения и опорожнения секторов в процессе вращения ротора.

Производительность регулируют, изменяя частоту n вращения рабочего органа.

Недостатком питателя является зависимость степени заполнения секторов от числа оборотов n вращения ротора.

Регулирующие органы дроссельного типа. Они изменяют расход вещества за счет изменения скорости и площади сечения потока жидкости или газа при прохождении его через дросселирующее устройство, гидравлическое сопротивление которого – переменная величина.

Регулирующие клапаны показанные на рисунках 3.3, ж и з, отличаются формами плунжера 1 и седла 2.

Каждая конструкция характеризуется, прежде всего, зависимостью площади проходного сечения F клапана от положения плунжера.

Для тарельчатого клапана, показанного на рисунке 3.4, ж, эту характеристику называют конструктивной и рассчитывают по формуле

$$F = \pi D h,$$

где D – диаметр отверстия, м;

$$h_{\max} = 0,25D.$$

Для золотникового клапана показанного на рисунке 3.4, с прямоугольным сечением окон

$$F=nbh,$$

где n – число окон;

b и h – ширина и высота окна, м.

Поворотные заслонки показанные на рисунке 3.4, и круглой или прямоугольной формы предназначены в основном для регулирования расхода газообразных сред при малых перепадах давления на регулирующем органе.

Зависимость площади проходного сечения от угла поворота заслонки имеет вид

$$F=0,78D_v^2(1-\cos \varphi),$$

где D_v – диаметр условного прохода круглой или равной ей по площади прямоугольной заслонки, численно равный внутреннему диаметру круглой заслонки, м;

φ – угол поворота заслонки, изменяющийся от 0 до φ_{\max} .

4 Математическое описание физико-химических и тепловых процессов

4.1 Основные виды моделей и систем управления

Моделирование основано на двух основополагающих признаках:

- на принципе практической ограниченности фундаментальных законов природы;
- на принципе подобия, означающем, что явления различной физической природы могут описываться одинаковыми математическими зависимостями.

Процедуру построения модели принято называть идентификацией, при этом данный термин относится к построению аналитических математических моделей динамических объектов.

Для облегчения работы с разнообразными объектами управления их разбивают на группы: статические и динамические; линейные и нелинейные; непрерывные и дискретные; стационарные и нестационарные; с сосредоточенными и распределенными параметрами.

Наиболее полная информация о ТОУ содержится в их математических моделях. Под моделью обычно понимается выраженная в той или иной форме информация о наиболее существенных характеристиках ТОУ. По способу представления данной информации выделяют следующие типы моделей:

- словесные, или вербальные модели;
- физические модели (уменьшенные копии реальных объектов, иногда другой физической природы, позволяющие имитировать процессы в исследуемом объекте);
- математические модели (информация об исследуемом объекте или системе представляется в виде математических терминов).

В свою очередь математические модели делятся на: графические; табличные; алгоритмические; аналитические.

В частности, аналитические модели представляют собой отражение взаимосвязей между переменными объекта в виде математической формулы или группы таких формул.

По характеру поведения и связей между функциональными элементами системы делятся на детерминированные, стохастические (вероятностные) и игровые.

Детерминированной является система, в которой ее элементы взаимодействуют точно определенным образом, а поведение предсказуемо, если известны текущие состояния и целевая функция.

Стохастической называют систему, в которой характер связей и поведение подчиняются некоторым случайным законам, т.е. определяются определенной вероятностью, математическим ожиданием и дисперсией.

Игровой является система, осуществляющая разумный выбор поведения, следующий из оценки ситуации и возможных способов действий (стратегий) по принятым критериям.

По степени сложности системы подразделяются на *простые, большие и сложные* в зависимости от многообразия элементов и сложности связей. При большом числе элементов и простых связях имеют место *большие системы*.

По характеру связей с внешней средой различают *открытые и закрытые* системы.

По определению целевой функции системы делятся на *целенаправленные*, когда цель задается извне (для закрытых систем) и *самоорганизующиеся*, когда цель определена изнутри (для открытых систем).

По количеству выходных координат объекта управления, системы делятся на *одномерные и многомерные*. Многомерными системами или системами многосвяznego управления называют АСУ, в которых имеется несколько (больше одной) управляемых величин. Они, в свою очередь, делятся на системы *связанного и несвязанного* управления (регулирования).

Система несвязанного управления имеет несколько управляющих устройств, каждое из которых осуществляет управление своей выходной координатой объекта. При этом все эти устройства не имеют взаимных связей.

В системе связанного управления отдельные управляющие устройства связаны друг с другом внешними связями. Входящая в состав многомерной системы управления отдельная система управления называется *автономной*, если управляемая выходная координата объекта не зависит от значений остальных его координат.

По стабильности параметров системы во времени системы делятся на *стационарные и нестационарные*.

Стационарной называется система, все параметры которой не изменяются во времени. Реакция такой системы на одно и то же воздействие не зависит от времени приложения этого воздействия. Нестационарная система – это система с переменными параметрами.

Реальная сложная система любой физической или социальной природы может сочетать в себе различные признаки и характеризоваться множеством элементов с детерминированно-

стохастическим характером связей, иерархической многовариантной структурой, многокомпонентной целевой функцией и начальной неопределенностью.

В общем случае математическую модель системы непрерывного действия представляют дифференциальным уравнением. Если оно нулевого порядка, т.е. алгебраическое, то соответствующую систему управления называют статической или безынерционной. Систему управления, описываемую дифференциальным уравнением более высокого порядка, называют динамической.

Коэффициенты уравнения, описывающего линейную систему, могут быть либо постоянными (для стационарных систем), либо зависеть от времени (для нестационарных систем), но они не могут зависеть от входного воздействия, так как такое уравнение будет уже описывать нелинейную систему.

Модели делятся на:

а) статистические, которые подчиняются вероятностным законам.

б) аналитические, построенные на основе математических соотношений между входными и выходными переменными.

в) синтаксические, когда каждому состоянию объекта соответствует определенный символ.

г) имитационные, основанные на модульном подходе, когда каждый объект в системе описывается своей моделью, а вся совокупность объектов описывают систему в целом.

Состояние объекта определяют конкретными значениями параметров внутренней среды. В общем случае параметры не являются постоянными величинами и могут зависеть от ряда факторов, поэтому реальные элементы обычно нелинейны. Кроме того, параметры могут быть сосредоточенными или распределенными, что также отражается на составлении и решении уравнений динамики. Элементы с сосредоточенными параметрами описываются ОДУ с постоянными коэффициентами и их передаточные функции представляют рациональную дробь.

4.2 Структурно-топологический анализ сложных систем

При исследовании больших и сложных технологических систем системный анализ связан, в первую очередь, с формализованным описанием их организационной структуры, структуры материальных и информационных потоков, целевых функций, параметров состояния и поведения системы в различных производственных ситуациях с целью оптимального управления.

В соответствии с этим системный анализ больших и сложных систем включает в себя:

а) формулировку цели исследования и постановку задачи по реализации или достижению этой цели;

б) определение критериев эффективности функционирования системы и ее параметрическое описание;

в) структурный анализ системы с описанием структуры (топологии) системы, оценкой сложности и декомпозицией (распределением) целевой функции по отдельным компонентам;

г) математическое моделирование системы и проведение машинного эксперимента с определением ее устойчивости, живучести и работоспособности при различных условиях и возмущениях;

д) принятие оптимальных решений, т.е. выбор стратегии или пути наилучшего достижения цели при наименьших затратах сил, времени и средств в сложившихся условиях.

Основными формами описания структурных свойств системы являются структурные блок-схемы, графы и матрицы.

Структурная схема представляет собой графическое изображение устройства, дающее общее представление о форме, расположении и числе наиболее важных его частей и его взаимных связях.

Для каждой системы можно поставить в соответствие множество структур с разным количеством уровней детализации, которая определяется назначением структуры, так и самой системой. При перемещении на нижние уровни детализация всегда увеличивается, но назначение системы становится понятным при перемещении на верхний уровень. Существуют системы структурированные, слабо структурированные и неструктурированные. В соответствии с этим для каждого класса систем разрабатываются соответствующие математические модели. В структурном анализе выделяют приемы декомпозиции и агрегирование. Прием декомпозиции разрешает выделить подсистемы, а второй прием агрегирование – разрешает объединить некоторые подсистемы, чтобы образовать технологический объект управления с заданными свойствами. В результате структурного анализа принимается решение относительно архитектуры системного управления, расположение терминальных точек (датчики, регулирующие органы, рабочие места).

Топологическая модель отражает взаимные связи между объектами, не зависящие от геометрических свойств.

Граф – это пара чисел $G(q, p)$ или $G(p, q)$, где p – множество вершин и q – множество ребер (дуг, ветвей). Две вершины i, j ,

соединенные ребром графа, называются *смежными*. При этом ребро (i, j) *инцидентно*, если имеет прямое отношение, к вершинам i и j , а вершины i и j , в свою очередь, инцидентны ребру (i, j) .

Если все ребра графа задают направление (ориентацию от i к j или от j к i), то граф называется *направленным* или *ориентированным*. В противном случае имеет место *неориентированный* граф $G(p, q)$.

Геометрически графы изображаются в виде диаграмм, на которых вершины отображаются точками или окружностями, а ребра – отрезками, соединяющими вершины. Ориентированное ребро (i, j) задается отрезком со стрелкой, направленной из i -й вершины в j -ю.

При представлении структуры системы в виде графа в одном случае элементы системы соответствуют вершинам, а связи – ребрам графа (*вершинный граф*); в другом случае ребра графа соответствуют элементам системы, а вершины – коммуникационным связям (отношениям) – *реберный граф*. Графы, обладающие одинаковой структурой, называются *эквивалентными*. Граф называется *связным*, если для любой пары вершин существует соединяющий их путь. *Несвязный граф* состоит из нескольких отдельных связных графов (его компонентов или подграфов).

Большая технологическая (производственная) система может быть представлена в виде *направленного графа*, вершины которого отражают технологические операции и процессы, а ветви (ребра) – направленные материальные потоки сырья, промежуточных и конечных продуктов. Каждая вершина может иметь один вход и несколько выходов (разветвление потоков) и наоборот (свертка); быть изолированной, входной или выходной вершинами, через которые следует процесс взаимодействия с внешней средой.

Теория графов позволяет разработать общие формальные приемы исследований конкретных физических систем, независимо от их сложности и природы.

Информацию, содержащуюся в графе, можно представить в алгебраической форме *матрицей отношений* $S_{ij}; i, j = 1, n$ элементы которой отражают характеристику связей между i -м и j -м элементами системы.

Такая связь матрицы и графа позволяет перевести структурные особенности системы на язык чисел и алгебраических преобразований.

Если $S_{ij}=1$ при наличии ребра связи (i, j) или $S_{ij}=0$ при отсутствии ребра связи (i, j) , то матрица описывает факт существования отношений между элементами в виде распределения нулей и единиц,

упорядоченных по строкам и столбцам, и называется *матрицей смежности*.

4.3 Структурная схема объекта управления

Важным этапом в разработке системы автоматизации является анализ основных аппаратов как объектов регулирования, т. е. выявление всех существенных входных и выходных переменных и анализ статических и динамических характеристик каналов возмущения и регулирования. На рисунке 4.1 показана структурная схема объекта регулирования.

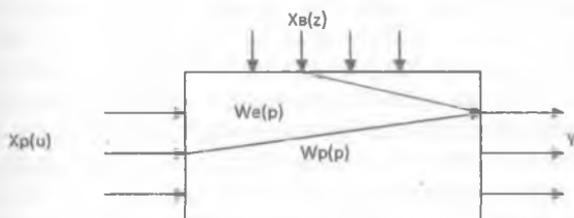


Рисунок 4.1 – Структурная схема объекта регулирования

Исходными данными при анализе систем управления служат математическая модель процесса и (как первое приближение) статическая модель в виде уравнений материального и теплового балансов.

На основе этих уравнений с учетом реальных условий работы аппарата все существенные факторы, влияющие на процесс, разбиваются на следующие группы:

а) Переменные, характеризующие состояние процесса (совокупность их будем обозначать вектором u). Эти переменные в процессе регулирования необходимо поддерживать на заданном уровне или изменять по заданному закону. Точность стабилизации переменных состояния может быть различной, в зависимости от требований, диктуемых технологией, и возможностей системы регулирования. Как правило, переменные, входящие в вектор u , измеряют непосредственно, но иногда их можно вычислить, используя модель объекта по другим непосредственно измеряемым переменным. Вектор u часто называют вектором регулируемых величин.

б) Переменные, изменением которых система регулирования может воздействовать на объект с целью управления. Совокупность

этих переменных обозначают вектором x_p (или u) регулирующих воздействий. Обычно регулируемыми воздействиями служат изменения расходов материальных потоков или потоков энергии.

в) Переменные, изменения которых не связаны с воздействием системы регулирования. Эти изменения отражают влияние на регулируемый объект внешних условий, изменения характеристик самого объекта и т. п. Их называют возмущающими воздействиями и обозначают вектором x_s или z . Вектор возмущающих воздействий, в свою очередь, можно разбить на две составляющие – первую можно измерить, а вторую – нельзя. Возможность измерения возмущающего воздействия позволяет ввести в систему регулирования дополнительный сигнал, что улучшает возможности системы регулирования.

Например, для изотермического химического реактора непрерывного действия, регулируемые переменными являются температура реакционной смеси, состав потока на выходе из аппарата; регулируемыми воздействиями могут быть изменение расхода пара в рубашку реактора, изменение расхода катализатора и расхода реакционной смеси; возмущающими воздействиями являются изменения состава сырья, давления греющего пара, причем если давление греющего пара нетрудно измерить, то состав сырья во многих случаях может быть измерен с низкой точностью или недостаточно оперативно.

Анализ технологического процесса как объекта автоматического регулирования предполагает оценку его статических и динамических свойств по каждому из каналов от любого возможного управляющего воздействия к любому возможному регулируемому параметру, а также оценку аналогичных характеристик по каналам связи регулируемых переменных с составляющими вектора возмущений. В ходе такого анализа необходимо выбрать структуру системы регулирования, т. е. решить, с использованием какого регулирующего воздействия следует управлять тем или иным параметром состояния. В результате во многих случаях (отнюдь не всегда) удастся выделить контуры регулирования для каждой из регулируемых величин, т. е. получить совокупность одноконтурных систем регулирования.

5 Идентификация технологического объекта управления

5.1 Свойства объектов регулирования

Объекты регулирования характеризуются рядом свойств: емкостью, самовыравниванием, запаздыванием, временем разгона и скоростью разгона.

Под *емкостью объекта* подразумевается запас вещества или энергии, содержащейся в нем при заданном значении выходного (регулируемого) параметра. Емкость объекта характеризуется коэффициентом емкости, т. е. количеством регулирующего агента, подводимого к объекту или отводимого от него и необходимого для изменения величины параметра на единицу его измерения.

При регулировании давления коэффициентом емкости будет отношение объема жидкости или газа, находящегося в регулируемом объекте, к значению регулируемого давления. В объектах, где регулируется температура, коэффициентом емкости будет отношение количества тепла, аккумулированного в объекте, к регулируемому значению температуры, или то количество тепла, которое, необходимо ввести в объект или вывести из него, чтобы температура регулируемой среды изменилась на 1° . Так как в одном и том же объекте могут протекать различные процессы, то емкость и коэффициент емкости этого объекта могут быть различными. При одинаковых возмущениях, чем меньше коэффициент емкости, тем быстрее будет изменяться регулируемый параметр и, наоборот, чем больше коэффициент емкости, тем медленнее он будет изменяться.

Емкости отделяют друг от друга различными технологическими устройствами, которые обладают соответствующим сопротивлением. Так, например, при регулировании температуры имеется термическое сопротивление материала аппаратов; при регулировании уровня жидкости в баках – гидравлическое сопротивление соединительных трубопроводов и запорной арматуры.

Объект автоматического регулирования, состоящий из сопротивления и одной емкости, называется *одноемкостным*. Объект с несколькими емкостями, участвующими в процессе, регулирования и разделенными между собой сопротивлениями, называется *многоемкостным*.

Самовыравнивание объекта регулирования – это свойство объекта после возмущения приходит к установившемуся состоянию без воздействия регулятора. Самовыравнивание зависит от свойства объекта и способа его включения в схему технологического процесса. В любом процессе для того, чтобы параметр, определяющий этот

процесс, не изменялся, приток вещества или энергии в объект должен быть равен расходу из объекта.

Изменение параметров в объектах происходит не одновременно с возникновением возмущения (нарушением притока или расхода), а через некоторое время, называемое запаздыванием процесса в объекте. *Запаздывание* – время, требующееся для установления нового значения параметра и необходимое для преодоления инерционности объекта. Запаздывание подразделяется на емкостное, или переходное, и передаточное, или транспортное.

Под емкостным запаздыванием понимают замедление в изменении регулируемой величины при изменении притока или расхода, обусловленное емкостью объекта, тепловым или гидравлическим сопротивлениями. Например, тепло передается через стенки, имеющие изоляцию, при этом чем больше время передачи тепла, тем больше запаздывание.

Передаточное запаздывание – задержка в изменении регулируемого параметра вследствие того, что движение тепла или другого фактора, распространяющегося от места подачи, достигнет места установки – реагирующего (чувствительного) элемента регулятора лишь через некоторый промежуток времени. Наличие запаздывания уменьшает коэффициент устойчивости системы и ухудшает процесс регулирования, поэтому нужно стремиться к максимальному его уменьшению.

Свойствами, аналогичными свойствам объекта регулирования, характеризуются и остальные звенья автоматической системы (регуляторы, регулирующие органы, исполнительные механизмы, преобразователи и т. п.).

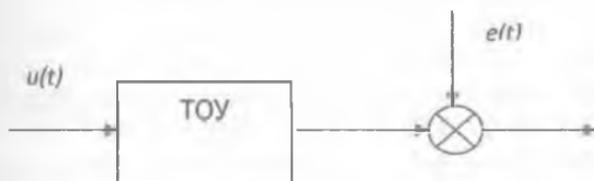
5.2 Аналитические методы получения моделей

Для каждого объекта регулирования существует определенная зависимость между выходными и входными величинами. Эту зависимость можно выразить аналитически на основании материального и энергетического балансов объекта или графически, построив по экспериментальным данным соответствующие кривые. Характер зависимости между выходными и входными величинами определяется статическими и динамическими свойствами объекта.

Статические свойства объекта характеризуют зависимость между входными и выходными величинами в установившихся режимах. График этой зависимости называется статической характеристикой объекта.

Динамические свойства объекта характеризуют зависимость изменения во времени выходных величин под воздействием входных величин при неустановившемся режиме. График этой зависимости называется динамической характеристикой объекта. В сложных объектах регулирования статические и динамические свойства изучают по характеристикам, снятым экспериментально.

Динамический объект — это объект, выход которого зависит не только от текущего значения входных сигналов, но и от их значений в предыдущие моменты времени. Идентифицируемый объект принято представлять в виде, показанном на рисунке 5.1.



t — время; $u(t)$ — контролируемый (иногда управляемый) входной сигнал; $y'(t)$ — теоретический выход объекта; $y(t)$ — наблюдаемый выход объекта; $e(t)$ — случайная аддитивная помеха, отражающая действие неучитываемых факторов (шум наблюдения)

Рисунок 5.1 – Общее представление идентифицируемого объекта

Обычно предполагают, что связь между входным и «теоретическим» выходным сигналами задается в виде некоторого оператора Ψ (оператор – правило преобразования какой-либо функции в другую функцию)

$$y'(t) = \Psi[u(t)]. \quad (5.1)$$

При этом наблюдаемый выход объекта может быть описан соотношением

$$y(t) = \Psi[u(t)] + e(t). \quad (5.2)$$

Принцип суперпозиции позволяет объединить все действующие помехи в одну общую $e(t)$ и приложить ее к выходу линейной модели. При рассмотрении задач идентификации все помехи считают статически независимыми.

Цель идентификации заключается в том, что на основании наблюдений за входным $u(t)$ и выходным $y(t)$ сигналами на каком-то интервале времени определить вид оператора, связывающего входной и теоретический выходной сигналы.

Перед началом экспериментальных исследований проводят априорный анализ перечня входных переменных с целью отбора и включения в состав модели приоритетных (или лимитирующих), оказывающих наиболее сильное воздействие на выходные переменные $y(t)$. В первую очередь в их состав включают управляющие входные переменные, с помощью которых осуществляется регулирующее воздействие на ТОУ.

Понятие «оценка модели ТОУ» означает, что в процессе математической обработки массива данных при необходимости можно менять структуру модели, например вместо линейной модели можно использовать нелинейные различных типов.

Если структура модели не меняется, производится только оценка параметров модели.

Известны два принципиально различающихся подхода к получению оценки модели (5.1) или (5.2): экспериментально-статистический, когда модель представляют в виде формального уравнения (системы уравнений), связывающего входные и выходные переменные в определенном (обычно относительно небольшом) диапазоне изменения переменных, и аналитический, когда модель выводится из физических представлений о сути процессов в ТОУ.

Аналитические методы получения моделей систем базируются на знании фундаментальных закономерностей преобразования энергии из одного вида в другой. Знание зависимости между выходной и входной величинами даст возможность управлять процессом, т. е., изменяя входные величины, поддерживать заданное значение регулируемой (выходной) величины.

Аналитически свойства объекта описывают дифференциальным уравнением. В первом приближении уравнения различных объектов регулирования записывают в виде

$$L \frac{d\varphi}{dt} = Q_n - Q_p,$$

где L — характеризует свойства рассматриваемого объекта (площадь сечения бака при регулировании уровня; теплоемкость обогреваемой массы при регулировании температуры и т. д.);

df/dt – скорость изменения контролируемой или регулируемой величины;

$Q_n - Q_p$ – величина рассогласования между притоком и расходом вещества или энергии, нарушающая равновесие объекта.

Для анализа структур, в элементах которых не происходит накопление и преобразование энергии используются следующие законы:

а) Сумма расходов продукта в любом разветвлении равна нулю

$$\sum_{i=1}^n \frac{dQ_i}{dt} = 0.$$

б) Сумма разностей уровней в любом контуре равна нулю

$$\sum_{i=1}^m L_i = 0.$$

Модель системы в виде уравнений может быть определена любой внутренней структурой. Т.е. связи между каналами могут быть обусловлены непосредственным взаимодействием переменных, прямыми связями входа с различными выходами и обратными связями. Запишем уравнения динамики для многомерной линейной системы, в которой x_1, x_2, x_n – входные параметры, а y_1, y_2, y_n – выходные

$$\dot{x}_1(t) = a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) + \dots + a_{1n}x_n(t) + b_{11}u_1(t) + b_{12}u_2(t) + \dots + b_{1m}u_m(t),$$

$$\dot{x}_2(t) = a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t) + \dots + a_{2n}x_n(t) + b_{21}u_1(t) + b_{22}u_2(t) + \dots + b_{2m}u_m(t),$$

$$\dot{x}_n(t) = a_{n1}x_1(t) + a_{n2}x_2(t) + \dots + a_{nm}x_n(t) + b_{n1}u_1(t) + b_{n2}u_2(t) + \dots + b_{nm}u_m(t)$$

В установившихся режимах работы системы все производные равны нулю и, следовательно, связь между выходной и входной величинами системы устанавливается с помощью уравнения статики, в которое обращается уравнение динамики. При записи уравнений статики система будет аналогична, но вместо $x(t)$ и $y(t)$ будут x_i, y_i .

В целях упрощения математического описания состояния объекта удобно использовать n -мерный вектор-столбец $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, переменные состояния которого представляют собой указанные

значения параметров внутренней среды. Наблюдаемые переменные образуют k -мерный вектор-столбец $Y=[y_1, y_2, \dots, y_k]$, причем $k \leq n$. Управляющие воздействия образуют m -мерный вектор-столбец внешних воздействий $u = [u_1, u_2, \dots, u_m]$, причем $m \leq n$.

Рассмотренное математическое описание приводится к векторно-матричной форме

$$\dot{x}(t) = A x(t) + B u(t), \quad y(t) = C x(t) + D u(t),$$

где x – n -вектор состояния системы, u – m -вектор внешних воздействий, y – k -вектор выхода, A – матрица системы размером $n \times n$, B – матрица входа размером $n \times m$, C – выходная матрица системы $k \times n$, D – проходная матрица системы $k \times m$.

Исследование системы существенно упрощается при использовании преобразования Лапласа к первому уравнению позволяет перейти от дифференциального уравнения к алгебраическому и записать его в операторном виде

$$x - x_0 = A x + B u,$$

где n -вектор x_0 задает начальные условия.

Графическим аналогом уравнений является матричная структурная схема, показанная на рисунке 5.2.

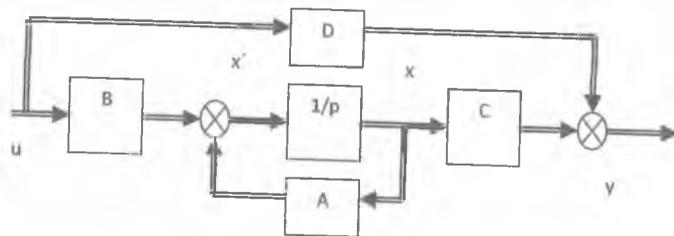


Рисунок 5.2 – Матричная структурная схема объекта

Также систему можно изобразить в виде матричных передаточных функций

$$Y(p) = Q(p) \cdot x(p),$$

где $Q(p)$ – матрица обобщенной передаточной функции, в которой по главной диагонали находятся собственные передаточные

функции, отражающие зависимость выхода от своего входа. Остальные элементы – несобственные ПФ.

Располагая дифференциальным уравнением динамической системы, можно найти ее реакцию на конкретное входное воздействие.

5.3 Экспериментальные методы получения моделей

Если для получения модели аналитические методы идентификации неприемлемы в связи с недостаточным знанием алгоритмов функционирования ОУ либо по причине сложности и экономической нецелесообразности, то применяют экспериментальные методы. Модели, полученные на основе эксперимента не столь универсальны, как аналитические, но более просты по структуре и позволяют применять однотипный математический аппарат.

Экспериментальные методы базируются на пассивном или активном эксперименте. В первом случае исследуются режимы естественной эксплуатации ОУ, во втором задаются такие, которые позволяют наилучшим образом выявить его свойства (изучается реакция на скачкообразные, гармонические или импульсные воздействия). Во время эксперимента измеряются значения интересующих нас технологических параметров и факторов, на них влияющих. Полученная таким образом модель должна с заданной точностью соответствовать реальному объекту в статических и динамических режимах. Полученные переходные или частотные характеристики позволяют определить передаточные коэффициенты, постоянные времени и динамические свойства объекта в целом.

Проведение эксперимента и последующая обработка его результатов для создания модели осложняется тем, что ОУ недетерминированы и многомерны. Поэтому проводят серии повторяющихся экспериментов при подаче одинаковых входных воздействий.

Этапы получения модели технологического ОУ по экспериментальным данным:

а) Планирование объема эксперимента: количества контролируемых параметров, числа измерений и кратности их повторения.

б) Выбор типа ММ (уравнения регрессии).

в) Выполнение эксперимента и обработка данных.

г) Определение количественных характеристик (коэффициентов) принятого типа модели.

д) Проверка значимости полученных коэффициентов по влиянию на них разброса результатов экспериментов.

е) Проверка адекватности модели объекту.

Если две последние проверки дают отрицательный результат, то проводится уточнение объема эксперимента, эксперимент повторяется, уточняется модель объекта.

Целью описания экспериментальных данных являются, во-первых, выбор эмпирической формулы связи между переменными X и Y и, во-вторых, определение коэффициентов выбранной формулы.

Определение вида формулы производится или по виду графической зависимости, или исходя из физических соображений. Если преобладают сомнения относительно выбора кривой, то используется полиномиальная модель в виде разложения в ряд Тейлора. Для одномерных объектов модель описывается полиномом вида

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_nx^n$$

Степень полинома определяют по разностям снятых ординат при постоянных приращениях аргумента. Если разности неизменны, то модель описывается полиномом первой степени, если разности второго порядка – полиномом второй степени и т.д. Если при равных приращениях ордината растет примерно в геометрической прогрессии, следует применять модели вида $y = a \cdot v^x$ или $y = a \cdot e^x$.

В ряде случаев некоторые зависимости путем алгебраических преобразований (например, путем логарифмирования) удается привести к линейному уравнению. Некоторые разновидности графических зависимостей и соответствующие им уравнения представлены на рисунке 5.3.

Для многомерных объектов задача сложнее, т.к. увеличение входов требует рассмотрения многомерной поверхности, описываемой уравнением с несколькими аргументами.

Модель может быть нелинейной и иметь сложный рельеф. Поиск оптимальных точек на этой поверхности путем изменения входных величин составляет содержание оптимального управления. Наиболее часто многомерная модель представляется также степенным полиномом, содержащим члены, учитывающие совместное действие факторов.

Метод получения многомерной модели ОУ на основе эксперимента называется факторным экспериментом. Наилучшее приближение прямой (или кривой) к экспериментальным данным не

означает, что реально существующая физическая зависимость наилучшим образом описывается аппроксимирующим уравнением.

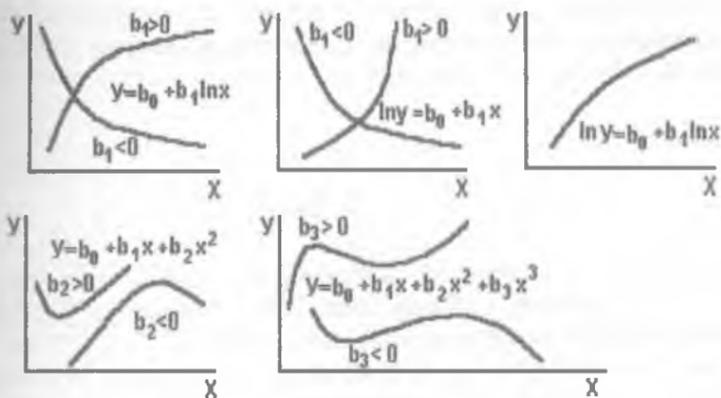


Рисунок 5.3 – Разновидности графических зависимостей двух переменных и возможные уравнения их описания

Во всех случаях для определения коэффициентов применяется метод минимума суммы квадратов отклонений. Т. е. минимизируется функционал $F(a_i) = \min \sum_1^n (y_s - y_p)^2$

Для определения коэффициентов модели составляют систему уравнений типа $\partial F(a_i) / \partial a_i = 0$.

Количественные показатели законов распределения определяются численными характеристиками случайных величин:

- математическим ожиданием M – величиной, вокруг которой группируется большинство случайных значений;
- модой M_0 – наиболее вероятным значением случайной величины;
- медианой M_e – величиной, для которой справедливо равенство

$$P(x < M_e) = P(x > M_e).$$

Разброс случайных величин относительно среднего значения характеризуется тремя величинами:

- отклонением $\delta(x) = x_i - M(x)$;
- дисперсией $S(x) = M(x_i - M(x))^2$;

- среднеквадратичным отклонением $\sigma = \sqrt{S(x)}$.

Понятие корреляции также связано с математическими операциями и дает возможность судить о том, насколько тесно экспериментальные точки ложатся на аппроксимирующую кривую. Количественную тесноту связи между переменными случайными величинами называют коэффициентом корреляции r

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M(x))(y_i - M(y))}{n\sigma(x)\sigma(y)}$$

Физически коэффициент корреляции характеризует ту долю полной колеблемости (полной дисперсии) параметра Y , которая вызвана действием контролируемых переменных x_i .

Чем больше r , тем теснее корреляционная связь, тем сильнее найденная зависимость проявляется среди многообразных, нарушающих ее воздействий, тем точнее по данным значениям x_i можно предсказать значение y .

Значение r находится в пределах $-1 \leq r \leq 1$. Если $r=1$, то связь между переменными является функциональной, то есть, учтены все факторы, от которых в той или иной мере зависит параметр y . Если $r=0$, то корреляционная зависимость между исследуемыми переменными отсутствует. Если же $0 < r < |1|$, то существует более или менее тесная связь между переменными (рис. 5.3).

Заметим, что коэффициент корреляции характеризует тесноту линейной зависимости между переменными. В случае нелинейной зависимости следует пользоваться регрессионным анализом.

Кривая перехода технологического параметра из одного установившегося состояния в другое при ступенчатом возмущении называется *разгонной (переходной) характеристикой* регулируемого параметра.

Например, при скачкообразном изменении притока воды в баке уровень воды начинает расти с постоянной скоростью. Но увеличение количества жидкости в емкости и ее массы увеличивает напор, с которым жидкость проходит через трубу стока и уровень устанавливается на новом значении.

Для исключения из опыта помех (неконтролируемых возмущений) на действующем оборудовании всегда снимают несколько разгонных характеристик, причем точно выдержать одинаковые величины возмущений не всегда удается, а при разных возмущениях установившиеся значения будут различными. Чтобы

принести разгонные характеристики к одному возмущению, их перестраивают. За начало отсчета принимают момент внесения возмущения, а затем несколько текущих значений уровня делят на величину возмущения. Процесс построения показан на рисунке 5.4. Полученная таким образом характеристика называется временной и обозначается $h(t)$

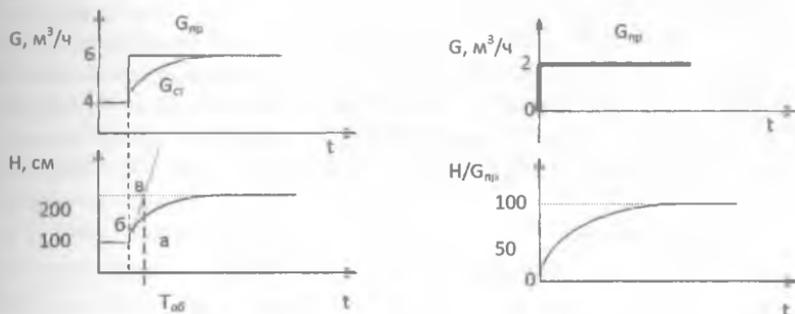


Рисунок 5.4 – Получение временной характеристики

Кривая разгона объекта является важной динамической характеристикой и может быть определена опытным путем. При снятии кривой разгона объекта рекомендуется создавать возмущения в таких пределах, какие позволяют оборудование и технологический процесс.

По внешнему виду наиболее распространенные временные характеристики объектов можно классифицировать по двум видам – характеристики с самовыравниванием и без самовыравнивания, причем и те, и другие рассматриваются для одно- и многоемкостных объектов.

С помощью временных характеристик можно определять основные параметры характеристики, необходимые для настройки регулятора на процесс: коэффициент усиления объекта k_{oc} и постоянную времени объекта $T_{об}$.

Отношение выходной величины к входной в установившемся режиме k называют передаточным коэффициентом объекта или звена (коэффициентом усиления звена). Коэффициент усиления может быть безразмерной или размерной величиной и может быть определен как установившееся значение временной характеристики $h(\infty)$.

Постоянную времени объекта $T_{об}$ определяют как проекцию касательной на ось времени. Постоянная времени равна такому промежутку времени, который необходим для того, чтобы после

возмущения регулируемая величина достигла нового установившегося значения при сохранении начальной скорости ее изменения. Время разгона объекта характеризует инерционность объекта: чем больше время разгона $T_{об}$, тем медленнее изменяется регулируемая величина при нанесении возмущения. Величину, обратную времени разгона, называют скоростью разгона объекта. Она представляет собой скорость изменения регулируемой величины при максимальном возмущении.

Одноемкостное звено с самовыравниванием на рисунке 5.5, а, представляет собой характеристику инерционного звена, поэтому основные параметры характеристики, необходимые для настройки регулятора на процесс (коэффициент усиления объекта $k_{об}$ и постоянная времени объекта $T_{об}$), определяют так же, как и для инерционного звена.

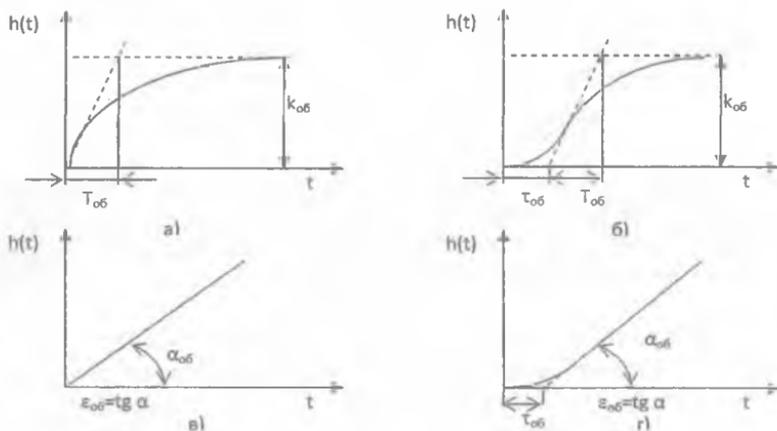


Рисунок 5.5 – Типовые временные характеристики

Характеристика с самовыравниванием многоемкостного объекта на рисунке 5.5, б имеет точку перегиба а. На участке оа кривая вогнута, а на участке са выпуклая. Точка перегиба лежит в центре линейного отрезка ас. К точке перегиба кривой проводят касательную. Касательная на оси времени отсекает отрезок, который обозначается $T_{об}$.

Таким построением характеристика приводится к характеристике двух последовательно соединенных звеньев – транспортного запаздывания и инерционного звена. Говорят, что характеристика

объекта аппроксимируется (заменяется) характеристикой транспортного запаздывания и инерционного звена.

Характеристика одноемкостного объекта без самовыравнивания, показанная на рисунке 5.5, в, является характеристикой интегрирующего звена. Единственный параметр характеристики $\epsilon_{об}$ равен $tg a$.

Многоемкостный объект без самовыравнивания на рисунке 5.5, г аппроксимируется характеристикой последовательно включенных звеньев транспортного запаздывания и интегрирующего звена. Определение основных параметров характеристики $\tau_{об}$ и $\epsilon_{об}$ видно из построения касательной. Частотные характеристики типовых многоемкостных объектов, аппроксимированных элементарными звеньями, совпадают с частотными характеристиками схем соединений соответствующих звеньев.

Многоемкостному объекту с самовыравниванием соответствуют частотные характеристики последовательно включенных инерционного звена и звена транспортного запаздывания. Многоемкостному объекту без самовыравнивания соответствуют характеристики последовательно включенных звеньев.

6 Типовые схемы автоматического регулирования технологических переменных

6.1 Регулирование расхода жидких и газообразных сред

Системы регулирования расхода характеризуются малой инерционностью и частой пульсацией параметра.

САР расхода предназначены для стабилизации возмущения по материальным потокам. Часто САР расхода используют:

- как внутренний контур в каскадных системах регулирования в дроссельных системах,
- для обеспечения состава смеси,
- для поддержания материального баланса в тепловом аппарате системы регулирования,
- соотношения расходов нескольких веществ в одноконтурных или каскадных схемах.

Обычно управление расходом – это дросселирование потока вещества с помощью клапана или шиберя; изменение напора в трубопроводе за счет изменения частоты вращения привода насоса или степени байпасирования (отведения части потока через дополнительные каналы).

Выбор закона регулирования зависит от требуемого качества стабилизации параметра

Принципы реализации регуляторов расхода жидких и газообразных сред показаны на рисунке 6.1.

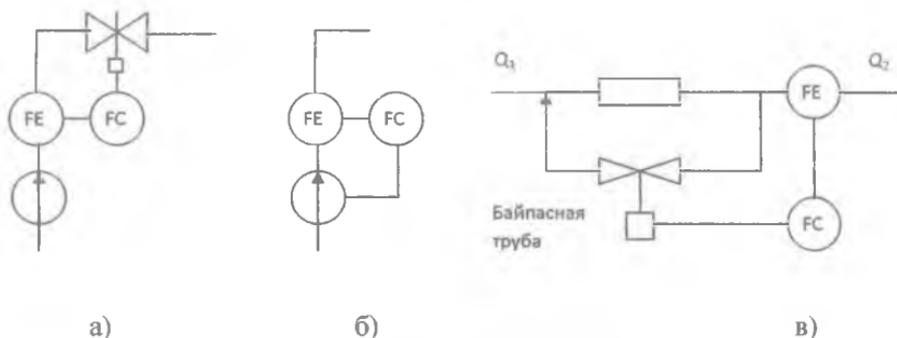


Рисунок 6.1 – Схемы автоматического регулирования расхода

а) Дросселирование потока вещества через РО, установленный на трубопроводе показано на рисунке 6.1 а.

б) Изменение параметров напоров на трубопроводе с помощью регулируемого источника энергии (например, изменением числа оборотов двигателя насоса) показано на рисунке 6.1, б.

в) Байпасирование, т.е. перебор избытка вещества из основного трубопровода в свободную линию показано на рисунке 6.1 в.

В практике автоматизации ТП встречаются случаи, когда требуется стабилизация соотношения расходов двух или более сред.

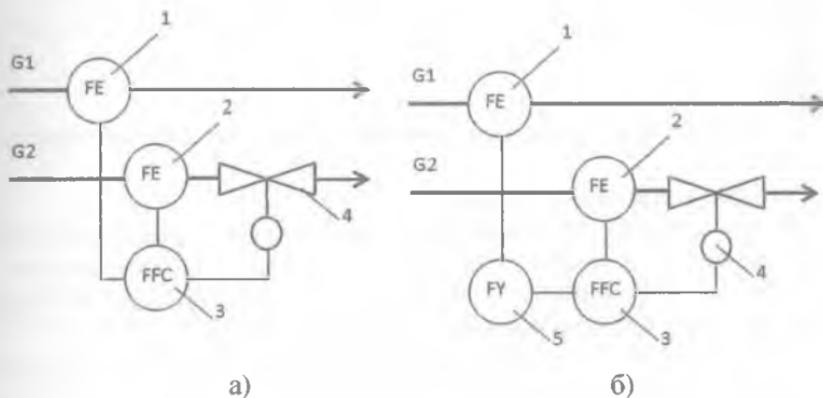
Регулирование соотношения расходов двух веществ можно осуществлять по одной из трех схем.

а) При не заданной общей производительности расход одного вещества G_1 может меняться произвольно. В схеме, показанной на рисунке 6.2, а, поток G_1 – ведущий, а поток $G_2 = \gamma G_1$ – ведомый, где γ – коэффициент соотношения расходов, который устанавливают в процессе статической настройки регулятора.

При изменении ведущего потока G_1 регулятор FFC пропорционально изменяет ведомый поток G_2 .

б) При заданном ведущем расходе G_1 кроме САР соотношения применяют и САР ведущего расхода. При такой схеме, показанной на рисунке 6.2, б, в случае изменения задания расхода G_1 меняется и расход G_2 .

в) САР соотношения расходов является внутренним контуром в каскадной системе регулирования третьего технологического параметра (например, температуры). Схема показана на рисунке 6.3.



1,2 – датчики расхода, 3 – регулятор соотношения расходов, 4 – регулирующий орган, 5 – вычислительное устройство

Рисунок 6.2– Схемы регулирования соотношения расходов

6 Типовые схемы автоматического регулирования технологических переменных

6.1 Регулирование расхода жидких и газообразных сред

Системы регулирования расхода характеризуются малой инерционностью и частой пульсацией параметра.

САР расхода предназначены для стабилизации возмущения по материальным потокам. Часто САР расхода используют:

- как внутренний контур в каскадных системах регулирования в дроссельных системах,
- для обеспечения состава смеси,
- для поддержания материального баланса в тепловом аппарате системы регулирования,
- соотношения расходов нескольких веществ в одноконтурных или каскадных схемах.

Обычно управление расходом – это дросселирование потока вещества с помощью клапана или шиберя; изменение напора в трубопроводе за счет изменения частоты вращения привода насоса или степени байпасирования (отведения части потока через дополнительные каналы).

Выбор закона регулирования зависит от требуемого качества стабилизации параметра

Принципы реализации регуляторов расхода жидких и газообразных сред показаны на рисунке 6.1.

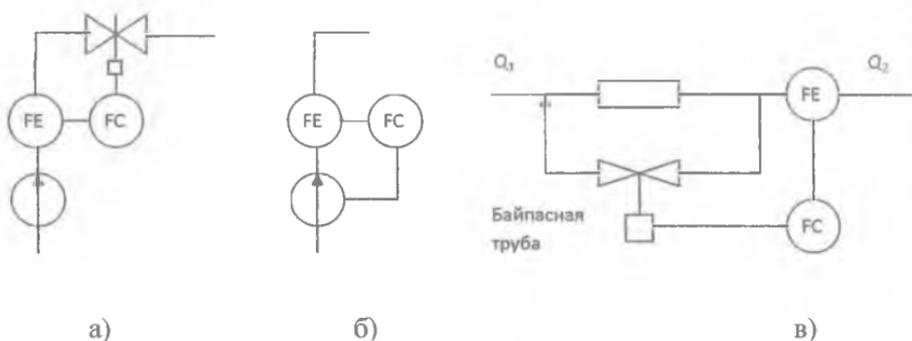


Рисунок 6.1 – Схемы автоматического регулирования расхода

- а) Дросселирование потока вещества через РО, установленный на трубопроводе показано на рисунке 6.1 а.

б) Изменение параметров напоров на трубопроводе с помощью регулируемого источника энергии (например, изменением числа оборотов двигателя насоса) показано на рисунке 6.1, б.

в) Байпасирование, т.е. переборк избытка вещества из основного трубопровода в свободную линию показано на рисунке 6.1 в.

В практике автоматизации ТП встречаются случаи, когда требуется стабилизация соотношения расходов двух или более сред.

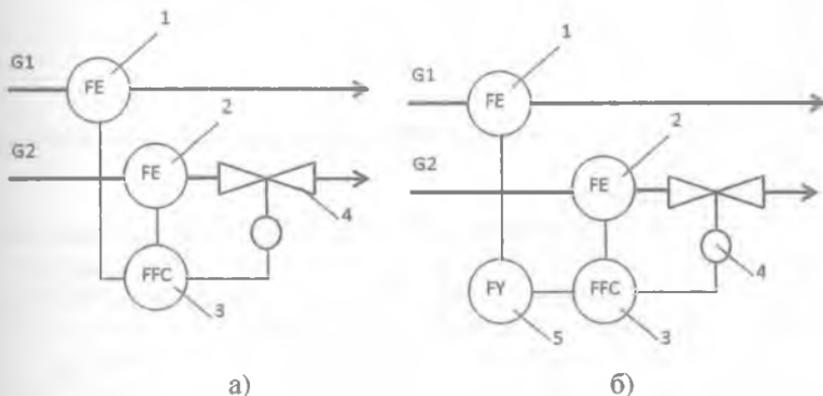
Регулирование соотношения расходов двух веществ можно осуществлять по одной из трех схем.

а) При не заданной общей производительности расход одного вещества G_1 может меняться произвольно. В схеме, показанной на рисунке 6.2, а, поток G_1 – ведущий, а поток $G_2 = \gamma G_1$ – ведомый, где γ – коэффициент соотношения расходов, который устанавливают в процессе статической настройки регулятора.

При изменении ведущего потока G_1 регулятор FFC пропорционально изменяет ведомый поток G_2 .

б) При заданном ведущем расходе G_1 кроме САР соотношения применяют и САР ведущего расхода. При такой схеме, показанной на рисунке 6.2, б, в случае изменения задания расхода G_1 меняется и расход G_2 .

в) САР соотношения расходов является внутренним контуром в каскадной системе регулирования третьего технологического параметра (например, температуры). Схема показана на рисунке 6.3.



1,2 – датчики расхода, 3 – регулятор соотношения расходов, 4 – регулирующий орган, 5 – вычислительное устройство

Рисунок 6.2– Схемы регулирования соотношения расходов

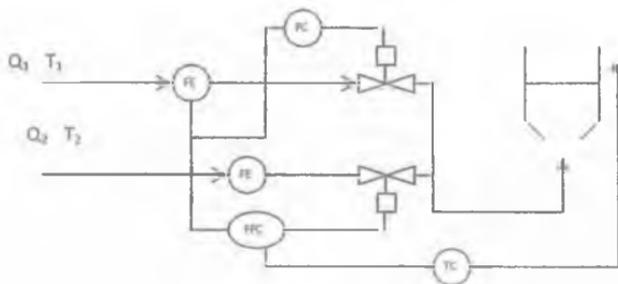


Рисунок 6.3 – Каскадная схема регулирования температуры соотношением расходов

6.2 Регулирование расхода сыпучих веществ

а) Осуществляется изменением степени открытия регулировочной заслонки на выходе из бункера рисунок 6.4, а.

б) Регулирование расхода сыпучих веществ осуществляется изменением скорости движения ленты транспортера рисунок 6.4, б.

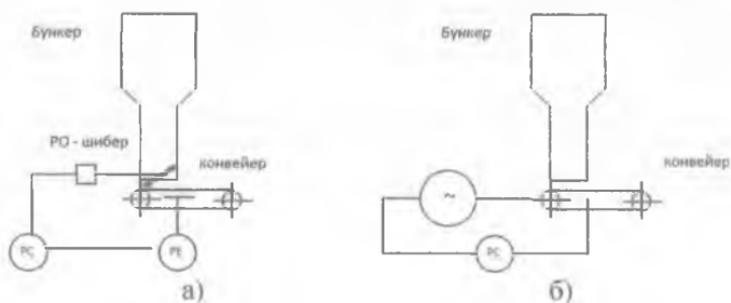


Рисунок 6.4 – Схемы регулирования расхода сыпучих веществ

6.3 Регулирование уровня

Уровень является косвенным показателем гидродинамического равновесия в аппарате. Постоянство уровня свидетельствует о соблюдении материального баланса, когда приток жидкости равен стоку и скорость изменения уровня равна нулю.

Системы регулирования уровня имеют те же особенности, что и системы регулирования расхода. В общем случае поведение уровня описывается дифференциальным уравнением

$$S \frac{dL}{dt} = G_{\text{вх}} - G_{\text{вых}} \pm G_{\text{обр}}, \quad (6.1)$$

где S – площадь горизонтального сечения емкости;
 L – уровень;
 $G_{\text{вх}}, G_{\text{вых}}$ – расход среды на входе и выходе;
 $G_{\text{обр}}$ – количество среды, увеличивающейся или уменьшающейся в емкости (может быть равно 0) в единицу времени t .

Постоянство уровня свидетельствует о равенстве количеств подаваемой и расходуемой жидкости. Это условие может быть обеспечено воздействием:

- а) на подачу (рисунок 6.5, а)
- б) на расход (рисунок 6.5, б) жидкости.

в) на соотношение расходов на входе и выходе. При этом используют для стабилизации параметра результаты измерений подачи и расхода жидкости (рисунок 6.5, в). Импульс по уровню жидкости – корректирующий, он исключает накопление ошибки вследствие неизбежных погрешностей, возникающих при изменении подачи и расхода.

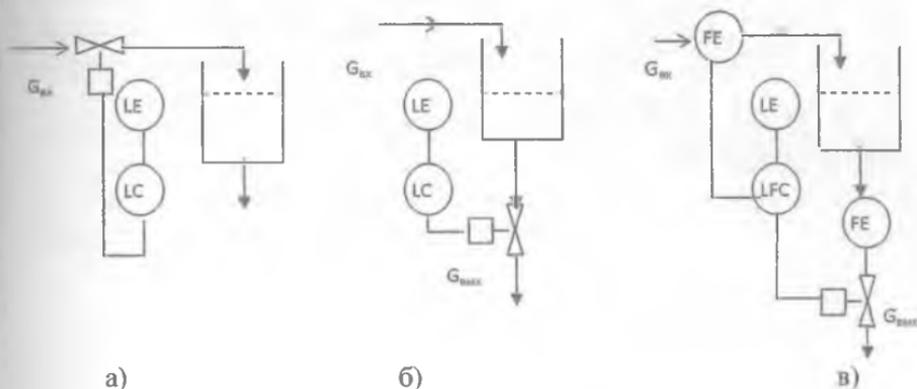


Рисунок 6.5 – Схемы регулирования уровня

Выбор закона регулирования также зависит от требуемого качества стабилизации параметра и требуемой точности. При этом возможно использование следующих видов регуляторов:

а) Позиционных, когда уровень в аппарате поддерживается в заданных, достаточно широких пределах. Такие системы устанавливаются на сборниках жидкости или в промежуточных емкостях. При достижении предельного значения уровня происходит автоматическое переключение на запасную емкость (рисунок 6.6).

б) Непрерывного действия, когда обеспечивается стабилизация уровня на заданном значении.

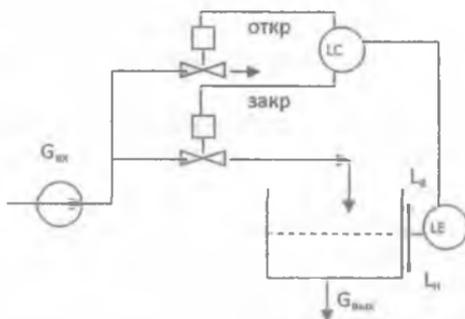


Рисунок 6.6 – Схема позиционного регулирования уровня

6.4 Регулирование давления

Давление является показателем соотношения расходов по газовой фазе на входе в аппарат и на выходе из него. Постоянство давления, как и постоянство уровня, свидетельствует о материальном балансе объекта.

В общем случае изменение давления описывается уравнением, аналогичным формуле (6.1)

$$V \frac{dp}{dt} = G_{вх} - G_{вых} \pm G_{обр}, \quad (6.2)$$

где V – объем аппарата,
 p – давление.

Аналогичность уравнений (6.1) и (6.2) свидетельствует о том, что способы регулирования давления аналогичны способам регулирования уровня.

Давление в технологической установке регулируют в каком-либо одном аппарате, а по всей системе оно устанавливается в соответствии с гидравлическим сопротивлением линии и аппарата.

6.5 Регулирование температуры

Температура – показатель термодинамического состояния системы и используется как выходная координата при регулировании тепловых процессов. Динамические характеристики системы регулирования температуры зависят от физико-химических

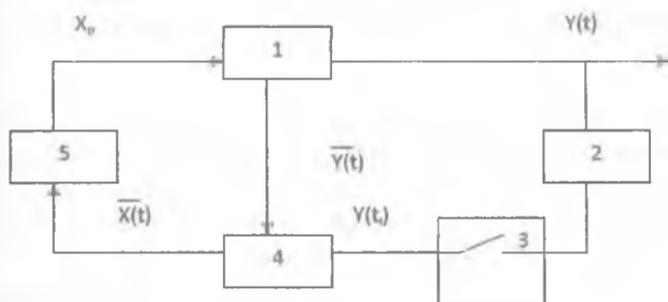
параметров процесс а и конструкции аппарата. Особенность такой системы – значительная инерционность объекта и нередко измерительного преобразователя.

Принципы реализации регуляторов температуры аналогичны принципам реализации регуляторов уровня (рисунок 6.5) с учетом управления расходом энергии в объекте.

Выбор закона регулирования зависит от инерционности объекта: чем она больше, тем закон регулирования сложнее. Постоянная времени измерительного преобразователя может быть снижена за счет увеличения скорости движения теплоносителя, уменьшения толщины стенок защитного чехла (гильзы) и т. д.

6.6 Регулирование параметров состава и качества продукта

При регулировании состава или качества продукта возможна ситуация, когда параметр (например, влажность зерна) измеряют дискретно. В этой ситуации неизбежны потеря информации и снижение точности динамического процесса регулирования. Рекомендуемая схема регулятора, стабилизирующего некоторый промежуточный параметр $Y(t)$, значение которого зависит от основного регулируемого параметра – показателя качества продукта $Y(t_i)$, показана на рисунке 6.7. Вычислительное устройство 4, используя математическую модель связи между параметрами $Y(t)$ и $Y(t_i)$, непрерывно оценивает показатель качества. Экстраполяционный фильтр 3 выдает оценочный параметр качества продукта $\bar{Y}(t)$ в промежутках между двумя измерениями.



1 – объект, 2 – анализатор качества, 3 – экстраполяционный фильтр, 4 – вычислительное устройство, 5 – регулятор

Рисунок 6.7 – Схема регулирования параметров состава и качества продукта

7 Компьютерные и микропроцессорные системы контроля и управления

7.1 Управление процессом с использованием управляющего компьютера

Многие проекты автоматизированных систем контроля и управления (СКУ) для большого спектра областей применения позволяют выделить обобщенную схему их реализации, представленную на рисунке 7.1

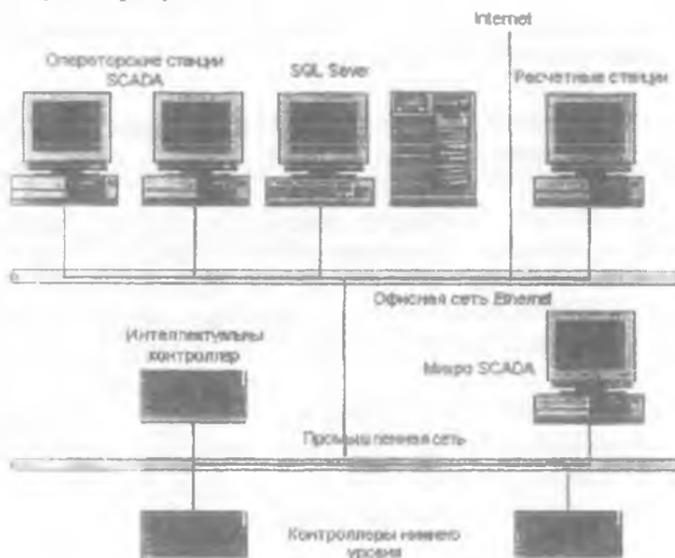


Рисунок 7.1 – Обобщенная схема системы контроля и управления

Как правило, это двухуровневые системы, так как именно на этих уровнях реализуется непосредственное управление технологическими процессами. Специфика каждой конкретной системы управления определяется используемой на каждом уровне программно - аппаратной платформой.

Нижний уровень – уровень объекта (контроллерный) – включает различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, электроприводы и исполнительные механизмы для реализации регулирующих и управляющих воздействий. Датчики поставляют информацию локальным программируемым логическим контроллерам (PLC – Programming Logical Controoller), которые могут выполнять следующие функции:

- сбор и обработка информации о параметрах технологического процесса;
- управление электроприводами и другими исполнительными механизмами;
- решение задач автоматического логического управления и др.

Так как информация в контроллерах предварительно обрабатывается и частично используется на месте, существенно снижаются требования к пропускной способности каналов связи.

Для критичных с точки зрения времени реакции объектов рекомендуется использовать контроллеры с операционными системами реального времени (ОСРВ). Контроллеры под управлением ОСРВ функционируют в режиме жесткого реального времени.

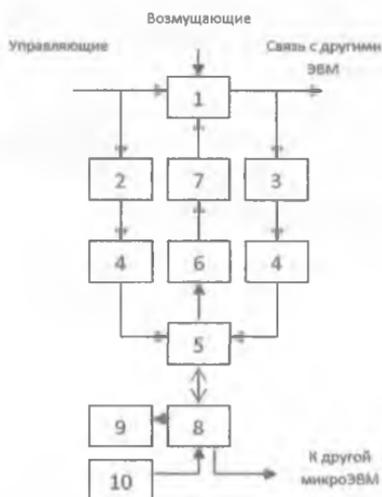
Информация с локальных контроллеров может направляться в сеть диспетчерского пункта непосредственно, а также через контроллеры верхнего уровня (см. рисунок 7.1). В зависимости от поставленной задачи контроллеры верхнего уровня (концентраторы, интеллектуальные или коммуникационные контроллеры) реализуют различные функции:

- сбор данных с локальных контроллеров;
- обработка данных, включая масштабирование;
- поддержание единого времени в системе;
- синхронизация работы подсистем;
- организация архивов по выбранным параметрам;
- обмен информацией между локальными контроллерами и верхним уровнем;
- работа в автономном режиме при нарушениях связи с верхним уровнем;
- резервирование каналов передачи данных и др.

Верхний уровень - диспетчерский пункт (ДП) - включает, прежде всего, одну или несколько станций управления, представляющих собой автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера/оператора. Здесь же может быть размещен сервер базы данных, рабочие места (компьютеры) для специалистов и т. д. Часто в качестве рабочих станций используются ПЭВМ типа IBM PC различных конфигураций.

В системах с *централизованной* технической структурой АСУ ТП вся информация, необходимая для управления АТК, поступает в единый центр - операторский пункт, где установлены практически все технические средства АСУ ТП, за исключением источников информации и исполнительных устройств. Такие системы

целесообразны для сравнительно небольших по мощности и компактных АТК, они наиболее просты и имеют ряд преимуществ. Недостатками являются: необходимость избыточного числа элементов АСУ ТП для обеспечения высокой надежности; большие затраты кабеля. В связи с внедрением микропроцессорной техники всё большее распространение получает *распределённая* техническая структура АСУ ТП, т.е. расчленённая на ряд автономных подсистем - локальных технологических станций управления, территориально распределённых по технологическим участкам управления. Каждая локальная подсистема представляет собой однотипно выполненную централизованную структуру, ядром которой является управляющая микро-ЭВМ. Локальные подсистемы через свои микро-ЭВМ объединены в единую систему сетью передачи данных. К сети подключается необходимое для управления АТК число терминалов для оперативного персонала. Структурная схема микропроцессорной системы управления на базе микроЭВМ показана на рисунке 7.2.

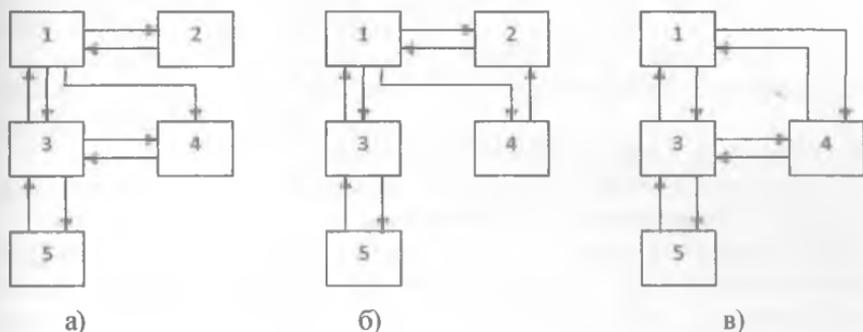


1 – технологический объект управления; 2 – измерительные преобразователи управляющих воздействий; 3 – измерительные преобразователи выходных параметров ОУ; 4 – измерительные контроллеры; 5 – управляющая микроЭВМ; 6 – интерфейсные блоки связи с объектом; 7 – исполнительные механизмы; 8 – интерфейсные блоки связи с периферией; 9 – дисплей; 10 – пульт оператора

Рисунок 7.2 – Структурная схема микропроцессорной системы управления с микроЭВМ

Оперативный персонал АСУ ТП может работать в контуре управления или вне него. При работе в контуре управления ОП реализует все функции управления или часть их, используют рекомендации по рациональному управлению ТОУ, выработанные КТС. Такой режим функционирования АСУ ТП называют информационно – советующим, он показан на рисунке 7.3, а. Если оперативный персонал работает вне контура управления, он задает АСУ ТП режим работы и осуществляет контроль за его соблюдением. В этом случае, зависимости от состава КТС, АСУ ТП может функционировать в двух режимах:

- комбинированном режиме, показанном на рисунке 7.3, б;
- в режиме непосредственного цифрового управления, показанном на рисунке 7.3, в, при котором УВК непосредственно воздействует на исполнительные устройства, изменяя управляющие воздействия на ТОУ.



1 – технологический объект управления; 2 – локальные автоматические системы; 3 – пункт контроля и управления; 4 –управляющая микро-ЭВМ; 5– оператор; а) информационно-советующий режим; б) режим супервизорного управления; в) режим непосредственного цифрового управления

Рисунок 7.3 – Режимы работы микроЭВМ в системах управления ТП

7.2 Организация связи УВМ с объектом управления

Специфическим компонентом КТС является УВК, в состав которого входят собственно вычислительный комплекс (ВК), устройства связи ВК с объектом (УСО) и с оперативным персоналом. Стандартный интерфейс, включающий в себя аппаратную часть и программное обеспечение, определяющее алгоритм обмена информацией, играет важную роль в унификации узлов

информационных систем, обеспечивающей взаимозаменяемость отдельных устройств и наращиваемость системы. Обобщенная структурная схема средств отображения информации (СОИ) показана на рисунке 7.4. От источника (ИИ) информация поступает в СОИ через интерфейс (УИ) по параллельным или последовательным каналам связи. С помощью интерфейса осуществляется механическое, электрическое и алгоритмическое согласование между собой выходных цепей ИИ и входных цепей СОИ. В интерфейс входят линии связи, устройства согласования сигналов по уровню и мощности, а также устройства формирования управляющих сигналов, обеспечивающих заданный алгоритм обмена информацией.

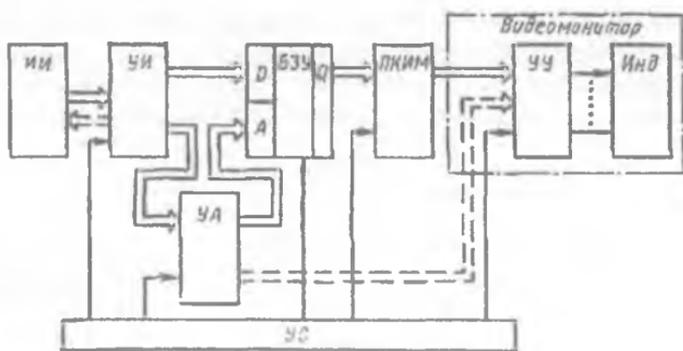


Рисунок 7.4 – Обобщенная структурная схема СОИ

Источником информации могут быть информационно-измерительные устройства, клавиатура ввода буквенно-цифровой информации, ЭВМ, устройства формирования фото-, кино- и телевизионных изображений и т. д. Следует отметить, что в системах с ЭВМ возможен двусторонний обмен информацией: как от ЭВМ к СОИ, так и наоборот, что позволяет организовать диалоговый режим работы. При таком режиме оператор с помощью специальных устройств редактирует информацию, выведенную на СОИ с ЭВМ, а затем вновь вводит ее в ЭВМ. Диалоговый режим широко используется в системах автоматического проектирования и в системах автоматизации научных исследований.

Буферное запоминающее устройство (БЗУ) служит для промежуточного хранения информации, получаемой от ИИ, что позволяет согласовать работу СОИ и ИИ по скорости, а также организовать режим регенерации изображения без обращения к

источнику информации. Информационная модель в БЗУ хранится в виде совокупности кодов элементов информационной модели, расположенных в той последовательности, в которой они должны находиться на информационном поле. Так, при формировании текстовой информационной модели в БЗУ заносятся стандартные коды знаков в последовательности, определяемой текстом.

Преобразователь кодов информационной модели (ПКИМ) осуществляет преобразование кодов элементов информационной модели, заданных алфавитом источника информации, в код, определяемый алфавитом индикатора.

Преобразователи кодов информационной модели для синтеза знаков в СОИ с ЭЛТ называют знакогенераторами.

Устройство адресации (УА) задает положение (адрес) элемента информационной модели на информационном поле.

Индикатор является прибором, осуществляющим непосредственное преобразование электрических сигналов в видимое изображение.

Устройство управления (УУ) осуществляет энергетические и другие преобразования сигналов с выхода ПКИМ, необходимые для управления работой индикатора.

Устройство синхронизации (УС) обеспечивает синхронизацию работы всех узлов СОИ между собой и с источником информации.

При формировании сложной информационной модели информация, получаемая от различных источников, должна пройти предварительную подготовку и обработку по определенному алгоритму. Следовательно, кроме технических средств для отображения информации необходимо создать соответствующее программное обеспечение. Комплекс средств отображения информации и средств математического обеспечения, включающих в себя алгоритмы обработки информации, образует систему отображения информации. СОИ, обеспечивающие связь человека с ЭВМ, называют терминальными СОИ (или дисплеями).

Устройства связи с объектом состоят из устройств ввода аналоговых и дискретных сигналов и устройства вывода.

Подсистема аналогового ввода УСО предназначена для дискретизации входных аналоговых сигналов по времени и уровню, а также кодирования результатов обычно целым числом.

Подсистема аналогового вывода предназначена для преобразования серии чисел X_{ij} поступающих из ЭВМ на УСО, в непрерывный аналоговый сигнал $X(t)$ путем экстраполяции уровня

выходного сигнала по времени до прихода следующего входного числа X_{i+1} .

7.3 Каналы связей АСУ ТП

Рассмотрим основные каналы связей АСУ ТП. Связи управляющего устройства с оператором. Связь управляющего устройства с оператором может быть прямая (оператор – управляющее устройство) и обратная (управляющее устройство – оператор).

Прямая связь. Оператор вводит в управляющее устройство априорную и исходную информацию, содержащую в себе сведения о цели и программе функционирования технологического агрегата, характеристики его предельных возможностей и допустимых отклонений от требуемых значений параметров готового продукта. К ним относятся различные константы (числа); регламентированные циклические последовательности команд и условия, разрешающие их подачу; функциональные зависимости (целевые функции), связывающие обобщенный критерий качества процесса с характеристиками режимов отдельных механизмов. Содержание сведений определяется конкретной технологической задачей, а форма представления должна быть пригодна для ввода их в управляющее устройство.

Обратная связь. Такая связь служит для информирования оператора о ходе технологического процесса и о принятых управляющим устройством решениях путем постоянного или периодического (по запросу) вывода необходимой информации в форме, легко воспринимаемой органами чувств оператора – обычно зрением и слухом – как обладающими наиболее высокой информационной пропускной способностью.

Если управляющее устройство управляет технологическим объектом, а оператор только осуществляет контроль, то его обязанности сводятся к наблюдению за ходом процесса. Здесь достаточно непрерывной индикации лишь наиболее важных показателей, характеризующих качество процесса.

Если оператор управляет технологическим объектом, а управляющее устройство работает в режиме советчика, т.е. только вырабатывает управляющую информацию, то оператор должен получить от управляющего устройства рекомендации на управление и реализовать их.

Возможен так называемый информационный режим, когда управление технологическим объектом осуществляют операторы

нижних уровней, а ЭВМ лишь собирает информацию, обрабатывает ее и передает операторам высших уровней (технологические и производственные службы предприятия).

Связи управляющего устройства с технологическим объектом управления. Эта связь может быть прямая (управляющее устройство – технологический объект управления) и обратная (технологическое устройство – управляющее устройство).

Прямая связь. По этому каналу исполнительным элементам технологического объекта передаются воздействия от управляющего устройства. Основные задачи этого канала – преобразование управляющего сигнала в управляющее воздействие, пригодное по своей природе и виду для подачи его на управляющий вход исполнительного органа технологического объекта управления.

Перед управляющим устройством возникают задачи усиления мощности сигнала, согласования выходов управляющего устройства и входов исполнительных органов; формирования сигнала управления для каждого исполнительного устройства и подачи его на технологический объект управления после логического анализа технологической ситуации.

Специфической задачей разработки канала прямой связи является согласование его пропускной способности с быстродействием УВМ, обусловленным динамическими показателями технологического объекта управления.

Обратная связь. Получение информации о текущем состоянии технологического объекта необходимо для выработки управляющей информации. Источниками текущей информации являются различные обратные связи, контролирующие значения выходных параметров и возмущений. Канал обратной связи включает в себя первичные преобразователи контролируемого параметра в сигнал (датчики) и вторичные преобразователя сигнала датчика в сигнал, форма которого позволяет ввести его в управляющее устройство. При этом используются преобразования непрерывных (аналоговых) сигналов в непрерывные и непрерывных в цифровые.

7.4 Системы диспетчерского контроля и управления

Большинство функций АСУ ТП реализуются программно, поэтому важнейшим компонентом АСУ ТП является её программное обеспечение (ПО), т.е. совокупность программ, обеспечивающих реализацию функций АСУ ТП.

Программное обеспечение АСУ ТП делится: общее и специальное. Общее ПО поставляется в комплекте со средствами

вычислительной техники. Специальное ПО разрабатывается при создании конкретной АСУ ТП и включает программы, реализующие её информационные и управляющие функции.

Программное обеспечение создается на базе математического обеспечения (МО). МО – совокупность математических методов, моделей и алгоритмов для решения задач и обработки информации с применением вычислительной техники. Для реализации информационных и управляющих функций АСУ ТП создают специальное МО, в состав которого входят:

- алгоритм сбора, обработки и представления информации;
- алгоритмы управления с математическими моделями соответствующих объектов управления;
- алгоритмы локальной автоматизации.

Разработка, отладка и исполнение программ управления локальными контроллерами осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения, широко представленного на рынке.

К этому классу инструментального ПО относятся пакеты типа ISaGRAF (CJ International France), InControl (Wonderware, USA), Paradym 31 (Intellution, USA), имеющие открытую архитектуру.

Станции управления предназначены для отображения хода технологического процесса и оперативного управления. Эти задачи и призваны решать SCADA-системы. SCADA – это специализированное программное обеспечение, ориентированное на обеспечение интерфейса между диспетчером и системой управления, а также коммуникацию с внешним миром.

Внедрение SCADA систем приводит к существенному удешевлению эксплуатации вторичного оборудования на крупных объектах, путем переноса индикации и накопления технологической информации на пульт диспетчера АРМ.

Несмотря на большое разнообразие SCADA систем на рынке, большинство из них имеет примерно одинаковый набор функциональных возможностей, позволяющих выполнять основные требования, предъявляемые к верхнему уровню АСУ ТП. Набор стандартных функций в SCADA системах обусловлен общим кругом задач при разработке систем автоматизации. Определим состав основных функций, позволяющих выполнить полноценный проект по автоматизации:

- а) Графический интерфейс, который позволяет упростить задачу построения и отображения технологического процесса (ТП). К графической части можно отнести возможность упрощенного или

детализированного отображения объектов ТП, средств измерения физических параметров технологических объектов. Кроме того, позволяет отображать кнопки, индикаторы, панели стрелочных или цифровых индикаторов, регуляторов и других вторичных приборов, которые раньше располагались на панели шкафа автоматизации. Поддержка библиотек изображений и видео, позволяющая выводить графическую информацию сторонних разработчиков на графическую панель SCADA-системы, такие как элементы мнемосхем, динамические объекты.

б) SCADA-системы позволяют вести архив измерений, событий и аварийных ситуаций, происходящих на ТО, с отображением изменений информации в окне временного тренда.

в) Упрощенный язык составления алгоритмов управления ТП, математических вычислений.

г) Драйвера устройств и оборудования согласованной работы со SCADA системой, находящихся на нижнем и среднем уровнях АСУ ТП, такие как датчики, вторичное оборудование контроллеры.

д) Поддержка других языков программирования высокого уровня (Visual C++, VBA, VB).

е) И одна из важнейших функций SCADA систем – средства защиты от несанкционированного доступа к файлам и компонентам.

На рынке АСУ ТП существует достаточно большой выбор SCADA-систем, рассмотрим наиболее популярные и уже зарекомендовавшие себя:

- EAM (Enterprise Asset Management) - управление основными фондами предприятия - ремонтом и техническим обслуживанием;

- MES (Manufacturing Execution System) - управление производством;

- HRM (Human Resources Management) - управление работами персонала.

Master SCADA – система визуализации АСУ ТП, MES, задач учета и диспетчеризации объектов промышленности, ЖКХ и зданий. Для оценки возможностей SCADA системы существует ознакомительная бесплатная версия на 32 точки и учебник по созданию АСУ ТП. Из других функций Master SCADA доступны следующие возможности:

а) Взаимодействие с другими программами с помощью современных технологий (OPC, OLE, DCOM, ActiveX, OLE DB, ODBC и др.)

б) Функция использования в операторской панели АСУ ТП

документов любого типа и поддержка обмена данными с ними.

в) Master SCADA имеет неограниченное расширение функциональности за счет использования продуктов сторонних разработчиков.

г) Наличие открытого интерфейса для создания пользователем любых базовых элементов.

д) Единая среда разработки всего проекта.

е) Раздельное конфигурирование структуры системы и логической структуры объекта.

ж) Открытость и следование стандартам.

з) Интуитивная легкость освоения.

и) Мощная трехмерная графика и мультимедиа.

к) Неограниченная гибкость вычислительных возможностей.

л) Объектный подход.

м) Бесплатная инструментальная SCADA-система.

н) Бесплатная исполнительная система на 32 точки.

о) Галерея мнемосхем с объектов.

п) Master SCADA в картинках.

р) Видео примеры разработки проектов.

TRACE MODE® – это первая интегрированная информационная система для управления промышленным производством, объединяющая в едином целом, продукты класса SOFTLOGIC-SCADA / HMI-MES-EAM-HRM. SCADA система TRACE MODE разработана в 1992 году и к настоящему времени имеет более 7000 внедрений на объектах АСУ ТП. На данный момент актуальной версией является SCADA система TRACE MODE® 6.

Проекты, разработанные на базе TRACE MODE, имеют инсталляции в энергетической, металлургической, атомной, нефтяной, газовой, химической, космической и других отраслях промышленности. Нашли применение при разработке АСУ ЖКХ и сельском хозяйстве России.

В состав системы входят бесплатные драйверы для более чем двух тысяч контроллеров и YCO. Для программирования алгоритмов управления технологическими процессами в SCADA системе TRACE MODE 6 поддерживаются все 5 языков международного стандарта IEC 61131-3. Такие как – Techno FBD, Techno LD, Techno SFC и процедурные – Techno ST, Techno IL.

SIMP Light miniSCADA – реализованные в системе инновационные решения, позволяют максимально сократить сроки на разработку, настройку и дальнейшую эксплуатацию проектов по АСУ ТП. SCADA система не требует от разработчика специфических

знаний в области программирования и разработки систем верхнего уровня. Достаточно только сконфигурировать систему под разрабатываемые задачи, имея лишь базовые знания пользователя ПК.

SIMP Light miniSCADA имеет поддержку большого количества моделей контроллеров и устройств сбора данных. Является одной из недорогих сред разработки визуализации.

SIMATIC WinCC – мощная среда разработки верхнего уровня управления АСУ ТП с централизованным контролем и сбором данных. Система SIMATIC WinCC (Windows Control Center) - это компьютерная система человеко-машинного интерфейса, работающая под управлением операционных систем Windows и предоставляющая широкие функциональные возможности для построения систем управления различного назначения и уровней автоматизации.

Citect SCADA – программный продукт, представляющий собой полнофункциональную систему визуализации и мониторинга, управления и сбора данных. ПО Citect SCADA включает в себя все функциональные блоки (тренды, алармы, отчеты, драйвера, протоколы) представляя собой единое средство разработки проекта. В отличие от ПК -совместимых АСУ ТП Citect SCADA разрабатывалась как высокоэффективное средство управления интегрированными системами предприятия. Технологии Internet Explorer'a позволяют реализовывать удаленный мониторинг системы и управление технологическим процессом.

Дополнительное расширение возможностей Citect SCADA:

- CitectFacilities – специальное приложение для автоматизации зданий и систем жизнеобеспечения сооружений и объектов ЖКХ.

- CitectSCADA Reports – Мощная система сбора данных и генерации отчетов на основе MS SQL Server 2005 и встроенной службы Reporting Services.

SCADA система InTouch – это достаточно мощная среда разработки визуализации и управления для промышленной автоматизации технологических процессов и диспетчерского контроля. SCADA система InTouch применяется для создания DCS (распределенных систем управления) и других АСУ ТП. Актуальной, на данный момент является версия InTouch 9.

Программный пакет InTouch 9.5:

а) Повышение эффективности работы производства.

б) Увеличение возможностей инженерного проектирования и рост технической производительности.

в) Упрощение и ускорение процедуры изменения, обновления и модификации в рамках множества приложений благодаря технологии

Wonderware SmartSymbols.

г) Визуализация и управление производственными процессами посредством удобных в использовании среды разработки и набора графических средств.

д) Создание и развертывание гибких приложений. Возможности расширения.

е) Высокая способность связи.

ж) Соответствие требованиям FDA 21 CFR Part 11.

з) Преимущества интеграции программных и аппаратных решений.

и) Программный пакет InTouch: сертификат и право использования логотипа Microsoft "Designed For Windows® XP".

SCADA система PcVue – полнофункциональный продукт для решения задач распределенного мониторинга и управления. Интеллектуальный Генератор (Smart Generator) создает приложения PcVue из различных программных продуктов, включая AutoCad, CoDeSys и ISaGRAF. В совокупности с компонентом WebVue PcVue предлагает решение для детальной настройки, которая доступна из обычного Web-браузера через интранет или Интернет. Система поддерживает возможность расширения за счет добавления модулей и средств для того.

PcVue обеспечивает гибкое решение для контроля промышленных процессов, энергоносителей и инфраструктуры. Он охватывает требования от однопользовательских приложений до сложных клиент-серверных проектов с резервированием.

PcVue отличается эргономикой и инструментами, основанными на объектной технологии, которые минимизируют время разработки приложений, в том числе новейшие инструментальные средства от Microsoft, стандарты пользовательского интерфейса и средства безопасности Windows® XP и Windows 7.

Большинство SCADA-систем имеют бесплатные ознакомительные дистрибутивы, позволяющие оценить возможности и функциональность среды разработки.

8 Задачи и алгоритмы оптимального управления

8.1 Классификация оптимальных систем управления

Оптимальным управлением в АСУ ТП считается такое, которое обеспечивает наиболее выгодный компромисс при минимизации трех компонентов технологического комплекса: материала, энергии, информации.

Определение оптимальности процесса зависит от конкретных условий, в которых он реализуется. Критериями оптимальности могут быть: максимум производительности, минимум себестоимости, требуемое качество продукции, минимум затрат энергии и ряд других. Эти оптимумы, как правило, не совпадают, поэтому в каждом случае приходится выбирать в качестве основного тот или иной критерий либо совокупность их с учетом весовых коэффициентов.

Помимо локального оптимума технологического механизма существует глобальный оптимум технологического агрегата или линии, определяющий иерархическую подчиненность оптимального ведения процесса в интересах оптимальности функционирования участка, цеха, предприятия и даже отрасли. В каждом отдельном случае выбор критериев оптимальности осуществляется в результате тщательного технико-экономического обоснования.

Классификацию оптимальных САУ ТО можно производить по различным признакам. Это обусловлено назначением САУ, сложностью их структуры, различной физической сущностью.

Можно различать оптимальные САУ ТО по характеристикам управляемых объектов, требованиям, предъявляемым к объектам, характеру информации об объекте, которая поступает в управляющее устройство.

По характеристикам управляемых объектов оптимальные системы могут быть разделены на линейные и нелинейные, а также непрерывные, дискретно-непрерывные и дискретные. Входные и выходные координаты в непрерывных системах не квантованы ни по времени, ни по уровню, в дискретно-непрерывных системах – квантованы по времени, но не квантованы по уровню и, наконец, в дискретных* системах – квантованы и по времени, и по уровню.

К характеристикам объекта можно отнести также характеристики возмущающего воздействия, действующего на объект от внешней среды. Возмущающие воздействия называют аддитивными, если они складываются с другими воздействиями, поступающими на вход объекта, и не изменяют характеристик объекта. Если же эти возмущения вызывают изменение

коэффициентов уравнений объекта или их параметров, то такие возмущающие воздействия называются параметрическими. Возмущающие воздействия могут быть также случайными величинами или случайными процессами. В первом случае возмущения могут считаться постоянными в течение одного процесса, протекающего САУ - во втором случае возмущающее воздействие является случайными функциями времени, изменением которых за время одного процесса в САУ нельзя пренебречь.

По требованиям, предъявляемым к объектам, определяется конечная цель управления. В зависимости от типа критерия оптимальности оптимальные САУ подразделяются на несколько видов:

- равномерно-оптимальные системы (когда каждый отдельный процесс является оптимальным);

- статистически-оптимальные системы (когда невозможно реализовать наилучшие режимы работы системы в каждом отдельном процессе, а критерий оптимальности имеет статистический характер из-за наличия случайных воздействий; обычно такие системы в среднем являются наилучшими);

- минимаксно-оптимальные системы (когда какой-либо наихудший результат все же лучше, чем подобный результат в любой другой системе).

По характеру информации об объекте, поступающей в управляющее устройство, оптимальные САУ подразделяются на системы с полной и неполной информацией. Информация об объекте является сводной информацией о состоянии объекта, зависимости между входными и выходными переменными объекта, задающем и возмущающем воздействиях, цели управления (функционале, определяющем критерий оптимальности).

Поскольку в реальных САУ ТО информацию об объекте нельзя считать полной, то в ряде случаев, при синтезе оптимальных систем, необходимо применять статистические методы. Неполнота информации об объекте требует изучения его во время процесса управления с целью обеспечения принятого критерия оптимальности. При неполной информации САУ должна обладать свойством самонастройки (адаптивности) и учитывать изменения информации об объекте.

Управление, при котором достигается и поддерживается максимальное значение, независимо от возмущений называется *статической оптимизацией*. Целевая функция в этом случае не зависит от времени. Управление, когда система выбирает

наивыгоднейшую траекторию перехода из одного состояния в другое, называется *динамической оптимизацией*.

Степень определенности управляемого процесса является одной из особенностей разработки алгоритма оптимизации. Существуют методы оптимизации, которые позволяют осуществить ее даже при отсутствии полной модели процесса. Реализация подобных алгоритмов даже статической оптимизации возможна лишь при применении УВМ с высоким быстродействием.

8.2 Постановка задачи оптимального управления в АСУ ТП

Задача оптимизации решается на стадии системного проектирования комплекса "технология – оборудование – электропривод – система управления". При решении этой задачи предполагается существование связи между характеристиками технологического процесса и критерием его эффективности. Такая связь называется *целевой функцией*. Она связывает управляющие воздействия x_i через управляемые координаты y_i с критерием эффективности хода процесса F , т.е.

$$F = f(y_1, \dots, y_n; x_1, \dots, x_n).$$

Если имеется аналитическая модель вида $y_i = f(x_1, \dots, x_n)$, то целевая функция представляется в виде $F = f(x_1, \dots, x_n)$. Ее получение является главной и наиболее сложной задачей при синтезе алгоритмов оптимального управления.

Целевая функция должна удовлетворять требованиям:

- однозначности. Одна целевая функция должна отражать изменение только одного критерия; при наличии нескольких критериев соответствующие частные целевые функции F_i образуют с весовыми коэффициентами a_i линейную комбинацию – общую целевую функцию $F = \sum a_i F_i$;

- соответствия. Характер целевой функции и количественные характеристики объекта управления нужно выбрать так, чтобы обеспечить наиболее успешную оптимизацию процесса;

- управляемости. В качестве аргументов должны фигурировать только технологические параметры, поддающиеся управлению посредством регулируемых приводов;

- ориентированности на конкретный критерий, определяющий экономическую эффективность;

- экстремальности (выпуклости). Должна быть выбрана целевая функция, имеющая четко выраженную экстремальную область.

Целевая функция не должна иметь разрывов и несколько экстремальных областей. При невозможности реализовать это условие поиск сужается ограниченной локальной областью, имеющей больший экстремум и удовлетворяющей всем остальным условиям существования целевой функции.

В зависимости от выбранного критерия оптимальности САУ ТО разделяют на следующие основные классы:

а) оптимальные по точности (критерий минимума регулируемой ошибки)

$$F = \int_0^T x^2(t) dt = \min,$$

в динамическом режиме

$$F = \int_0^t g(\lambda) f(t - \lambda) d\lambda,$$

где $g(\lambda)$ – импульсная функция;

б) оптимальные по быстрдействию (критерий минимума времени переходного процесса)

$$F = \int_0^t 1 dt = t_2 - t_1 = \min,$$

в) оптимальные по условиям инвариантности (критерий независимости выходных координат системы от внешних воздействий или других ее координат)

$$F = \int_0^T x_i^2(t + \tau) f^2_k(t) dt.$$

Для многомерного объекта, если требуется обеспечить автономность координат x_i x_j

$$F = \int_0^T x_i^2(t + \tau) x_j^2(t) dt,$$

г) оптимальные экспериментальные (критерий минимума отклонения показателя качества от экстремума в установившихся режимах);

д) оптимальные по расходу энергии (критерий минимума расхода энергии на выполнение управляемого процесса).

Совокупность ограничений определяет технологическую область существования целевой функции. Если целевая функция в этой области имеет экстремальный характер, то задача управления заключается в том, чтобы вести процесс в районе, близком к наибольшему экстремуму. Такое управление называют *оптимальным* или *экстремальным*. Если экстремум находится за пределами технологически допустимой области, то задача автоматического управления состоит в том, чтобы ввести процесс в режим, которому соответствует максимальное значение критерия эффективности, соответствующее границе этой области. Такое управление называют *предельным*.

8.3 Методика формирования алгоритма управления

Методика формирования алгоритма управления, излагаемая ниже, предполагает, что модель объекта и целевая функция достаточно хорошо определены, т.е. известны структура и параметры формальных моделей. Функции непрерывны, детерминированны и имеют производные в любой точке. Учитывая, что объект определен хорошо, а реализация обратных связей в данном случае может представлять определенные трудности, предполагаем разомкнутую систему управления.

Методика получения алгоритма состоит из следующих этапов:

а) записывается уравнение или система уравнений модели управляемого объекта. Это могут быть уравнения линейной регрессии вида

$$y_i = \sum_{j=1}^n A_{ji} x_j,$$

б) после выбора критерия эффективности записывается выражение для целевой функции. Например, при оптимизации по качеству целевая функция представляется как сумма квадратов отклонений управляемых технологических параметров от заданных значений

$$F = \sum_{j=1}^m (y_j - y_i)^2,$$

где y_j – заданное значение управляемой координаты;
 m – число управляемых координат;

в) из выражения целевой функции исключаются y_i подстановкой в него модели объекта. Тогда

$$G = \sum_{j=1}^m \psi_j (y_j - \sum_{i=1}^n A_{ij} x_i)^2,$$

где ψ – весовой коэффициент.

В общем случае число управляемых координат не равно числу управляющих воздействий $m \neq n$;

г) приравниваются к нулю частные производные вида $\partial G / \partial x_i$ и решается система уравнений относительно x_i . В результате получаются алгоритмы оптимального управления вида

$$x_{i \text{ опт}} = \sum_{j=1}^m k_j y_j.$$

Определяемые из этих уравнений управляющие воздействия являются оптимальными, так как они определены по заданным значениям y_j и минимизируют отклонение от них реального процесса

Проверка характера экстремума осуществляется по знаку второй производной $\partial^2 G / \partial x_i^2$. При положительном ее значении имеет место максимум, при отрицательном – минимум. Проверка может быть выполнена и по знаку приращения ΔG при подстановке управляемых координат x_i с приращением $\pm e$. Если $\Delta G < 0$, то имеет место максимум, при обратном знаке – минимум целевой функции

Задачи статической оптимизации могут быть сведены к линейным. Для решения таких задач применяется метод линейного программирования и его модификации: симплекс-метод. При решении задачи симплекс-методом ведется перебор базисных решений по специальному алгоритму, минимизирующему время поиска. При решении транспортной задачи линейного программирования используют метод приближения допустимыми планами потенциалов (метод потенциалов) или метод приближения условно оптимальными планами (метод дифференциальных рент).

8.4 Методы поиска экстремума

Наиболее часто модели технологического комплекса представляют собой сложную нелинейную зависимость со многими переменными. Нелинейными являются уравнения ограничений и целевая функция. Может оказаться, что получение надежных уравнений модели либо невозможно, либо технически и

экономически нецелесообразно. Для решения задач нелинейного программирования используют разные группы методов: безпоисковые аналитические, поисковые градиентные и поисковые безградиентные.

В ряде случаев не ставятся жесткие требования к абсолютной оптимизации процесса в связи с тем, что более оправданным является достижение частичного оптимума при малых затратах, чем абсолютного при больших. В этих случаях применяются градиентные методы, получившие широкое развитие.

Сущность методов заключается в том, чтобы представить целевую функцию в виде гиперповерхности n -го порядка в $(n + 1)$ -мерном пространстве. "Рельеф" такой поверхности, называемой поверхностью отклика, сложен и нестабилен. В процессе приложения возмущений к объекту и с течением времени меняются абсолютная высота "вершин" и глубина "впадин" – точек максимума и минимума целевой функции. Меняются также расположение экстремумов и их количество, крутизна "склонов". Ограничения обозначают на этом "рельефе" границы запретных областей.

Управляющее устройство в результате пошагового изменения управляющих переменных должно обеспечить поиск и достижение экстремума целевой функции. Такое управление наиболее удобно осуществлять с помощью ЭВМ.

Эффективность поиска экстремума характеризуется:

- скоростью достижения экстремума поверхности отклика; при многошаговой процедуре поиска и быстропотекающих процессах может оказаться, что система практически все время находится в поиске, а в экстремальной точке работает мало;

- универсальностью, т.е. способностью отыскивать экстремум для "трудных" поверхностей;

- точностью определения истинного оптимума; система должна продолжать поиск при достижении временных оптимумов, обусловленных случайными изменениями неконтролируемых переменных;

- простотой применяемых алгоритмов и вычислительных устройств.

Эти показатели зависят от методики выбора коррекции после каждого шага и ее направления. При этом необходимо, чтобы после каждого шага происходило уменьшение (при минимизации) или увеличение (при максимизации) целевой функции, т.е.

$$F(x)_i > F(x)_{i+1}, \text{ или } F(x)_i < F(x)_{i+1},$$

где $F^i(x)$ – значение целевой функции для выбранных на i -м шаге переменных.

Чтобы достигнуть этого, применяются рекуррентные соотношения, связывающие значения переменной на предыдущем и последующем шагах

$$x_{i+1} = x_i + \lambda_i d_i,$$

где x – значения переменных до и после выполнения шага;
 λ – скалярная величина, определяющая шаг,
 d_i – градиент-вектор, определяющий направление шага.

На рисунке 8.1 изображена двухмерная поверхность отклика с тремя экстремумами. Эффективность шага для достижения экстремума определяется не столько величиной шага, сколько направлением с максимальным градиентом.

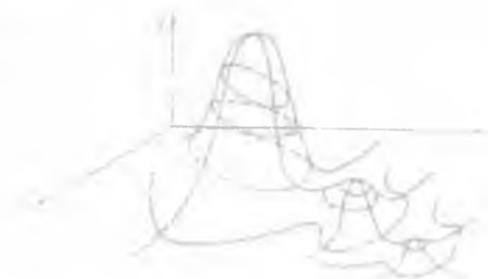


Рисунок 8.1 – Поверхность отклика

Под градиентом функции в точке x [обозначается $grad F(x)$, ∇F] понимается вектор, координаты которого в n -мерном пространстве определяются частными производными функции $F(x)$ в точке x по всем переменным. Градиент определяет направление, по которому крутизна поверхности имеет максимальное значение. В этом смысле стратегия градиентных методов напоминает симплекс-метод.

Составляющие градиента в i точке определяются соотношениями

$$\nabla'_1 F(x) = \frac{dF_1}{dx_1}; \quad \nabla'_2 F(x) = \frac{dF_1}{dx_2}; \quad \nabla'_n F(x) = \frac{dF_1}{dx_n}$$

Его модуль

$$M(\nabla)' = \sqrt{\left(\frac{dF_1}{dx_1}\right)^2 + \left(\frac{dF_1}{dx_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{dF_1}{dx_n}\right)^2}$$

В целом вектор d задается соотношением

$$d = \nabla F(x) = \frac{dF / dx_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (dF / dx_i)^2}}$$

Рабочая процедура поиска экстремума при градиентном методе состоит из следующих этапов:

а) с учетом ограничений, определяющих допустимые значения переменных состояний, находят их начальные условия;

б) для определения количества и характера экстремумов ориентировочно анализируют область существования целевой функции;

в) в процессе управления на каждом шаге определяют градиент и шаг, после чего оценивают эффективность сделанного шага по отношению к предыдущему и производят проверку достижения экстремума.

В зависимости от способа выбора шага и оценки градиента (направления поиска) различают ряд модификаций градиентных методов.

8.5 Самонастраивающиеся автоматические системы

Все рассмотренные ранее системы функционировали в условиях, когда статические и динамические характеристики ОУ, а также и характеристики возмущающих воздействий известны. Такие системы относятся к системам с полной начальной (априорной) информацией об ОУ.

Возможны, однако, случаи, когда характеристики ОУ и действующих на него возмущений неизвестны или изменяются с течением времени непредвиденным образом. Системы управления такими объектами относятся к системам с неполной начальной информацией об ОУ. Эту недостающую информацию приходится получать в процессе работы системы.

Системы, в которых способ функционирования автоматически изменяется для улучшения управления объектом, называют

адаптивными (самоприспосабливающимися). Адаптация такой системы к изменившимся условиям работы осуществляется путем изменения параметров, или изменения параметров и структуры.

Первую систему называют *самонастраивающейся*, а вторую – *самоорганизующейся*.

Если по мере накопления опыта работы системы изменяются параметры, структура и алгоритм управления, то систему называют *самообучающейся*.

Один из видов самонастраивающихся систем – системы *экстремального управления (СЭУ)*.

Самонастраивающиеся автоматические системы – это системы, в которых регулирующие воздействия вырабатываются в результате анализа проб регулируемых параметров. Самонастраивающийся регулятор отыскивает оптимальный для данных условий режим работы установки. Самонастраивающиеся системы регулирования более эффективны, чем рассмотренные выше, так как автоматически «приспосабливаются» к изменяющимся внешним условиям.

Еще более совершенны самоорганизующиеся и самообучающиеся автоматические СУ.

В *самоорганизующихся* СУ происходит автоматическое (непрерывное или периодическое) изменение структуры СУ по команде вычислительного устройства, обеспечивающего экстремум заранее заложенного в систему критерия качества.

В *самообучающихся* СУ структуру и алгоритмы управления постоянно совершенствуют, выбирая те из них, которые лучшим образом обеспечивают выполнение поставленной задачи.

Самонастраивающиеся системы, в которых при изменяющихся внешних условиях поддерживается наибольшее или наименьшее значение, регулируемой величины, называются *системами экстремального управления (СЭУ)*.

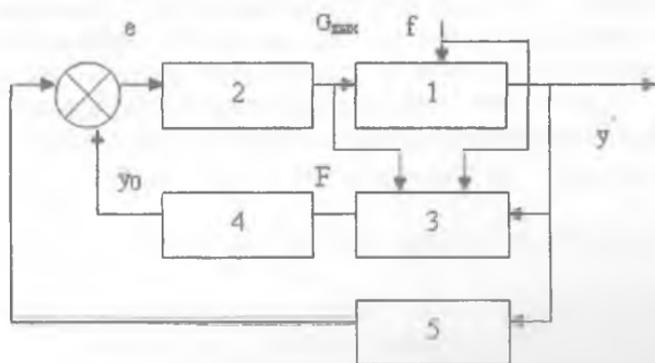
В отличие от рассмотренных ранее систем автоматической стабилизации, в которых заданные значения регулируемой величины были неизменными или изменяющимися по определенной программе, СЭУ дополнительно ведут автоматический поиск требуемого оптимального значения регулируемой величины или некоторого показателя качества при изменяющихся внешних условиях работы объекта.

В общем случае задача СЭУ – поддержание максимального (минимального) значения некоторого показателя, существенно изменяющегося в зависимости от условий работы объекта.

Экстремальное регулирование применяют, например, для поддержания оптимальной скорости движения машинно-тракторного агрегата, обеспечивающей минимальный расход топлива на единицу обработанной площади. Естественно, структурная схема СЭУ должна включать в себя устройство автоматического поиска экстремума.

По способу поиска СЭУ подразделяют на системы с автоколебательным и принудительным поиском. В первом случае поисковые колебания генерируются самой системой, во втором используется автономный источник колебаний.

СЭУ можно разделить также на одно- и многомерные в зависимости от того, сколько переменных входит в экстремальную функцию качества. В одномерных системах экстремум достигается за счет изменения одной независимой переменной. Структурная схема такой СЭУ приведена на рисунке 8.2.



1 – объект управления; 2 – управляющий элемент; 3 – устройство автоматического поиска экстремума; 4 – исполнительный механизм; 5 – измерительное устройство; f – возмущающее воздействие; $G_{\text{экстр}}$ – регулирующее воздействие; e – ошибка управления

Рисунок 8.2 – Схема экстремальной автоматической СУ

Рассмотрим возможные способы функционирования такого устройства для простейшего случая зависимости экстремума характеристики J от одной переменной y .

а) Способ последовательных шагов заключается в организации принудительного изменения величины y на некоторое значение Δy относительно начальной точки A . Новые значения F сравнивают с тем,

которое было, и если эта разность положительная, то u получает новое приращение Δu того же знака. Если новое значение J окажется меньше старого, то знак Δu меняют на обратный и опыт повторяют. В результате система выходит на экстремум F и колеблется вокруг него в пределах, зависящих от значения Δu .

б) Способ производной основан на использовании знака производной dF/du при принудительном (пробном) изменении u . Если находят максимум J , то изменение знака с плюса на минус должно иметь следствием изменение знака Δu .

в) Способ запоминания экстремума характеризуется тем, что система все время работает на увеличение (уменьшение) F , и как только это условие будет выполнено, соответствующий максимум (минимум) F запоминается, и далее система реагирует на отклонение F от этого нового значения.

г) Способ наложения гармонических колебаний заключается в наложении на медленно меняющуюся входную величину гармонических колебаний, в результате чего фаза выходных колебаний при прохождении точки экстремума будет меняться на 180° . Выделяя эти колебания полосовым фильтром, и используя фазовый дискриминатор, можно держать систему вблизи экстремума.

Литература

- 1 Корытин А. М., Петров Н. К. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: Учебник для вузов / А. М. Корытин, Н. К. Петров, С. Н. Радимов, Н. К. Шапарев. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.
- 2 Беркович М. А., Семенов В. А. Основы автоматики энергосистем / М. А. Беркович, В. А. Семенов. – М. : Энергия, 1998. – 432 с.
- 3 Волков Н. И., Миловзоров В. П. Электромашинные устройства автоматики / Н. И. Волков, В. П. Миловзоров – М. : Высш. шк., 2001. – 180 с.
- 4 Буль Б. К., Буль О. Б., Азанов Б. А., Шоффа В. Н. Электромеханические аппараты автоматики / Б. К. Буль, О. Б. Буль, Б. А. Азанов, В. Н. Шоффа – М. : Высш. шк., 2002. – 227 с.
- 5 Исембергенов Н. Т., Сарсенбаев Н. С., Фогель А. А. Элементы и устройства автоматики. Методические указания к лабораторным работам. / Н. Т. Исембергенов, Н. С. Сарсенбаев, А. А. Фогель. – Алматы : КазНТУ, 2005. – 48 с.
- 6 Какуевицкий Л. И., Смирнова Т. В. Справочник реле защиты и автоматики / Л. И. Какуевицкий, Т. В. Смирнова – М. : Энергия, 1992. – 344 с.
- 7 Шавров А. В., Коломиец А. П. Автоматика. / А. В. Шавров, А. П. Коломиец. – М. : Колос, 1999. – 264 с.
- 8 Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 232 с.
- 9 Ключев В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 168 с. Москва.
- 10 Петров Г. Н. Электрические машины, Ч.2. Асинхронные и синхронные машины. – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 416 с.
- 11 Шенброт И. М., Антропов М. В., Давиденко К. Я. Распределенные АСУ технологическими процессами. – М. : Энергоиздат, 1985. – 240 с., ил.
- 12 Бронштейн И. П. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. П. Бронштейн, К. А. Семендяев – 13-е изд., исправл. – М. : Наука, 1986. – 282 с.
- 13 Автоматическое управление в химической промышленности Учебник для вузов / Под ред. В. Г. Дудникова. – М. : Химия, 1987. – 168 с.

Содержание

Введение	3
1 Современный уровень автоматизации ТП в отраслях промышленности	4
1.1 Понятие о системах управления	4
1.2 Задачи в области автоматизации	6
1.3 Функции АСУ ТП и их обеспечение	7
1.4 Классификация промышленного производства	9
2 Переработка технологической информации	12
2.1 Управляемость технологического процесса	12
2.2 Получение информации о технологическом процессе	15
2.3 Преобразования технологической информации. Виды и формы сигналов	19
3 Технические средства автоматизации	22
3.1 Структура технических средств автоматизации	22
3.2 Средства сбора информации о ходе технологического процесса	24
3.3 Средства отображения и хранения информации	30
3.4 Типовые регуляторы	32
3.5 Исполнительные механизмы	36
3.6 Регулирующие органы	39
4 Математическое описание физико-химических и тепловых процессов	44
4.1 Основные виды моделей и систем управления	44
4.2 Структурно-топологический анализ сложных систем	46
4.3 Структурная схема объекта управления	49
5 Идентификация технологического объекта управления	51
5.1 Свойства объектов регулирования	51
5.2 Аналитические методы получения моделей	52
5.3 Экспериментальные методы получения моделей	57
6 Типовые схемы автоматического регулирования технологических переменных	64
6.1 Регулирование расхода жидких и газообразных сред	64
6.2 Регулирование расхода сыпучих веществ	66
6.3 Регулирование уровня	66
6.4 Регулирование давления	68
6.5 Регулирование температуры	68
6.6 Регулирование параметров состава и качества продукта	69
7 Компьютерные и микропроцессорные системы контроля и управления	70

7.1	Управление процессом с использованием управляющего компьютера	70
7.2	Организация связи УВМ с объектом управления	73
7.3	Каналы связей АСУ ТП	76
7.4	Системы диспетчерского контроля и управления	77
8	Задачи и алгоритмы оптимального управления	83
8.1	Классификация оптимальных систем управления	83
8.2	Постановка задачи оптимального управления в АСУ ТП	85
8.3	Методика формирования алгоритма управления	87
8.4	Методы поиска экстремума	88
8.5	Самонастраивающиеся автоматические системы	91
	Литература	95

О. А. Андреева

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ**

Учебно-методическое пособие

Технический редактор З. Ж. Шокубаева
Ответственный секретарь Е. В. Самокиш

Подписано в печать 15.06.2017 г.
Гарнитура Times.
Формат 60х90/16. Бумага офсетная.
Усл.печ. л. 5,58 Тираж 300 экз.
Заказ № 3030

Издательство «КЕРЕКУ»
Павлодарского государственного университета
им. С.Торайгырова
140008, г. Павлодар, ул. Ломова, 64

Утверждаю
Проректор по АР
ПГУ им. С. Торайгырова
Г. Т. Ахметова
20 11 г.



Составитель О. А. Андреева

Кафедра «Электротехника и автоматизация»

Автоматизация технологических комплексов.
Учебно-методическое пособие

Одобрено на заседании кафедры 28 04 20 14 г.
Протокол № 15

Заведующий кафедрой 21 С. К. Жумажанов

Одобрено учебно-методическим советом ЭФ 17 04 20 12 г.
Протокол № 11

Председатель УМС Д. Т. Амренова

Одобрено учебно-методическим советом Павлодарского
государственного университета им. С. Торайгырова 2 04 20 12 г.
Протокол № 10

СОГЛАСОВАНО

Декан ЭФ А. П. Кислов 20 02 20 17 г.

Нормоконтролер

ОАиМК Г. С. Баяхметова 31 05 20 17 г.

ОДОБРЕНО

Начальник УМО А. Б. Темиргалиева 12 04 20 14 г.