Министерство образования и науки Республики Казахстан

Некоммерческое акционерное общество
Алматинский университет энергетики и связи

Д. К. Еренчинов, К. К. Еренчинов, Г. Д. Базил

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ. ЧАСТЬ 1. ПРОЦЕССЫ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

Алматы
2019

УДК 681.5 (075.8)
ББК 32.96 я73
Е 70

Рецензенты:
доктор технических наук, сеньор-лектор кафедры автоматизации и управления КазНИТУ им. К. И. Сатпаева
К. А. Исаков,

кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и управления КазНИТУ им. К. И. Сатпаева
А. А. Бейсембаев,

кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой телекоммуникационных сетей и систем НАО АУЭС
А. С. Байкенов

Рекомендовано к изданию Ученым советом Алматинского университета энергетики и связи (Протокол № 4 от 15.03.2019 г.). Печатается по дополнительному плану выпуска ведомственной литературы АУЭС на 2019 год, позиция 39.

Еренчинов Д. К., Еренчинов К.К., Базил Г. Д.
Е 70 Автоматизированные системы управления производственными процессами. Часть 1. Процессы как объекты управления: Учебное пособие (для студентов и магистрантов специальности «Автоматизация и управление»)/ Д. К. Еренчинов, К.К. Еренчинов, Г.Д. Базил. – Алматы: АУЭС, 2019. – 217 с.: с илл 71.

ISBN 978-601-7889-91-3

В данном учебном пособии рассматриваются вопросы промышленного производства как процесса в условиях рыночной экономики, систематизированы термины основных и производных от них понятий образования и содержания процесса, даны определения, раскрывающие особенности и характеристики процессов, способствующих более глубокому их пониманию как объектов управления.

В пособии приведено описание различных технологических процессов как объектов управления.

Рекомендуется для студентов бакалавриата и магистрантов, обучающихся по специальности: «Автоматизация и управление» по дисциплинам «Автоматизация объектов ТЭС», «Автоматизированные системы управления производственными процессами».

УДК 681.5 (075.8)
ББК 32.96 я73

ISBN 978-601-7889-91-3

© АУЭС, 2019
Еренчинов Д. К.,
Еренчинов К. К.,
Базил Г. Д., 2019

Предисловие

В настоящее время в связи с развитием информационных и технических систем, а также интеграцией различных сфер деятельности и управления, определение термина «процесс» в целом приобретает более обобщенный характер; постепенно стирается грань между абсолютно несовместимыми сферами деятельности, где в каждой из них процесс в той или иной форме присутствует. Учитывая данные обстоятельства, в учебном пособии сделана попытка дать определение процессу, его свойствам и видам, при этом особое внимание уделено технологическим процессам.

Основная цель данного пособия – дать студентам систематизированное изложение понятия процесса, его роли в организационных, информационных и автоматических системах управления предприятиями.

В целом пособие состоит из 11 глав и контрольных вопросов к каждой из них для закрепления изученного материала.

В первой главе рассматривается понятие самого процесса в целом и его разновидности. Даны основные определения процесса, его технология и свойства процесса. Во второй главе рассматривается организация как процесс, как система и явление, так как она способствует взаимодействию объектов для достижения какой-либо общей цели. В третьей главе уже описывается промышленное производство.

Четвертая, пятая и шестая главы посвящены анализу технологических процессов, их структуре и основным свойствам, физико-химическим характеристикам, а также даны основные понятия теории управления.

В седьмой главе рассматриваются объекты управления с точки зрения их статических и динамических характеристик.

Математическое моделирование процессов приведено в главе восемь.

Девятая глава посвящена автоматизации и управлению процессами. Особое внимание уделено процессному подходу к управлению объектами и к менеджменту как органу управления предприятием, где каждый сотрудник должен непосредственно участвовать в управлении качеством в конкретных бизнес-процессах, обеспечивая их жизнедеятельность.

В заключительной, десятой главе, приведены примеры описания технологических процессов как объекта управления, с целью закрепления и более глубокого понимания технологических процессов.

Содержание учебного пособия основано на материалах курсов лекций, читаемых авторами в течение нескольких последних лет на кафедре «Автоматизация и управление», а также научных исследованиях Тематической научно-исследовательской лаборатории «АСУТП» НАО Алматинского университета энергетики и связи. Авторы надеются, что данное пособие окажется полезным не только студентам бакалавриата и магистрантам по специальности «Автоматизация и управление», но и инженерам, занимающихся вопросами автоматизации технологических процессов.

1 Процессы, объекты, системы

1.1 Что такое процесс?

Процесс:

– категория философского дискурса[1], характеризующая совокупность необратимых, взаимосвязанных, длительных изменений как спонтанных, так и управляемых, как самоорганизованных, так и организуемых, результатом которых является некое новшество или нововведение (новые морфологические формы организмов, новые разновидности, социальные, научные, культурные и пр. инновации);

– это устойчивая, целенаправленная совокупность взаимосвязанных действий, которые по определённой технологии преобразуют «входы» в «выходы» для получения заранее определённых продуктов, результатов или услуг, представляющих ценность для потребителя;

– (в кибернетике) последовательная смена состояний, стадий изменения (развития) системы или иного объекта.

Термин «процесс» от латинского – processus:

а) движение вперед, продвижение;

б) течение, ход.

До середины XIX в. слово «процесс» функционировало так же, как химический термин (СА 1847, III, 566).

С 30-х годов XIX в. под влиянием французского «procés» – процесс, приобретает общее значение «ход развития чего-л.».

В основе любого процесса лежит определенная технология, к компонентам которой относятся:

– цель реализации процесса;

– предмет, подлежащий технологическим изменениям;

– способы и методы воздействия;

– средства технологического воздействия;

– упорядоченность и организация, противопоставленные стихийным процессам.

1.2 Качество процессов

Что такое качество?

Качество – философская категория, выражающая неотделимую от бытия процесса его существенную определенность, благодаря которой он является именно этим, а не иным процессом:

[1] дискурс – от лат. discursus «бегание взад-вперед, движение, круговорот, беседа, разговор» многозначный термин, используется в лингвистике, литературоведении, семиотике, социологии, философии, этнологии, антропологии.

– отражает устойчивое взаимоотношение составных элементов процесса, которое характеризует его специфику, дающую возможность отличать один процесс от других (БСЭ);

– это соответствие требованиям (Кросби);

– это накопленные количественные изменения, достигшие определенного предела;

– система важнейших необходимых свойств предметов. Выяснение качества определяет суть познания. Познание сущности – выявление структурных связей. Качество обладает целостностью.

– это внешняя и внутренняя определенность, система характерных черт предметов, теряя которую предметы перестаю быть тем, что они есть.

Философия качества по Аристотелю (III в. До н.э.): «То, что существует само по себе, образует качество».

Качество по Гегелю (XIX век): «Качество есть в себе количество, а количество – в себе качество».

Качество по Энгельсу (XIX): «Существуют не качества, а вещи, обладающие качествами, и при том бесконечно многими качествами».

Количество и качество – едины и противоположны, и образуют взаимосвязанные стороны объекта.

Стадии развития философии качества.

В истории философии качества существуют четыре пересекающиеся фазы, которые развивались под *давлением противоречия* между внутренними и внешними целями производителя:

– повышение эффективности процессов производства и увеличение прибыли компании (внутренняя цель) – направлено на *постоянное уменьшение затрат*;

– обеспечение качества выпускаемой продукции и, соответственно, укреплением положения производителя на рынке (внешняя цель) – связано *с постоянным увеличением затрат*.

Это противоречие на каждой стадии развития производства, рынка и общества имело свою специфику.

Качество товара – совокупность свойств и характеристик или услуг, которые придают им способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности.

С точки зрения *маркетинговой философии уровень качества товара* определяется способностью этого товара удовлетворять определенные потребности конечного пользователя.

Характеристики качества: экологичность, эстетичность, эргономичность, безопасность, технические и экономические характеристики, надёжность и долговечность, соответствие предполагаемому назначению.

Качество товара зависит от:

– сырья и материалов;

– уровня технического развития фирмы;

– прогрессивности применяемой технологии;
– организации труда и производства;
– квалификации кадров.

Первичные и вторичные качества.

Первичные качества (объём, форма, движение):
– находятся в самих вещах;
– объективны, но не только умопостигаемы.

Вторичные качества (вкус, цвет, запах):
– возникают в восприятии;
– субъективны, но не целиком и иллюзорны.

Основоположники современной философии качества.

Уильям Эдуард Деминг (1900-1993) – США, «отец менеджмента качества», «философия управления – 14 принципов менеджмента качества по Демингу».

Джозеф Мозес Джуран – США, идея качества в духе «соответствия требованиям потребителей», «спираль качества Джурана», 10 этапов повышения качества.

Филипп Кросби предложил программу «Ноль дефектов».

Каору Исикава – известный японский экономист, специалист в области управления качеством, главный продолжатель идей Э. Деминга и Дж. Джурана.

Арманд Фейгенбаум – всемирно известный американский специалист, автор теории комплексного управления качеством, академик МАК.

Генити Тагути – известный японский статистик, лауреат самых престижных наград в области качества (премия им. Деминга присуждалась ему 4 раза).

1.3 Технология процесса

1.3.1 Что такое технология?

Технология (от греч. techne – искусство, мастерство, умение и греч. logos – изучение):

– это самостоятельная наука, изучающая способы и процессы получения и переработки продуктов природы в предметы потребления и средства производства;

– это преобразующая человеческая деятельность, направленная на удовлетворение нужд и потребностей людей, решение их проблем. Она включает процессы преобразования вещества, энергии и информации, опирается на знания и оказывает влияние на природу и общество, создает новый рукотворный мир;

– совокупность методов и инструментов для достижения желаемого результата;

– процесс преобразования ресурсов в блага, прямо или косвенно служащих удовлетворению потребностей общества;

– совокупность методов, процессов и материалов, используемых в какой-либо отрасли деятельности, а также научное описание способов производства;

– (в узком смысле) – последовательность приемов и операций по преобразованию сырья (материалов), энергии и информации в конечный продукт (изделие), имеющий личную или общественную значимость;

– (в широком смысле) – любая преобразующая, творческая, продуктивная деятельность человека, направленная на создание культуры как второй природы, а не только связанная с материальным производством.

Технология есть то, при помощи чего человек преобразует природу, самого себя, общество.

Технология – есть содержание, а техника (оборудование) – форма, они составляют диалектическое единство всякого производства (Б. А. Прудковский). Данное диалектическое единство вытекает из второго закона философии: «Единство и борьба противоположностей», являющемся одним из основополагающих законов философии, сформулированном в XIX веке представителями немецкой философии (Гегель, Маркс, Шеллинг и Энгельс). Этот закон дает представление о диалектическом познании человеком окружающего мира, о сути и законах, происходящих в окружающем мире событий.

Функции технологии. Вопрос о технологической функции имеет особый смысл. Каждая трудовая функция, в то же время технологическая функция:

– преобразующая (основная): качественно-количественное изменение (сохранение) формы и содержания предмета технологического воздействия;

– энергетическая: получение и трансформация энергии;

– транспортная: целевое движение предмета технологического воздействия;

– контрольно-измерительная: отражение всех параметров движения (изменения) предмета и получения необходимой информации;

– логическая: переработка и использование поступающей информации и принятие решений о переводе технологического процесса в необходимое новое состояние.

Данная классификация технологических функций обладает рядом достоинств. Прежде всего, она показывает, какой широтой технологических возможностей обладает сам человек и как он реализует себя в технологическом процессе.

В реальной технологической системе какие-то технологические функции могут отсутствовать, другие дублироваться, но в общем это уже не влияет на целостную картину технологии. Предложенное понимание и классификация технологических функций открывает новые и более широкие мировоззренческие и методологические возможности в теоретическом освоении технологии.

Общие признаки технологии:

– зависимость от социально-экономической системы (тип функционирования производства и общества);

– массовость применения (охват большого количества людей);

– стандартизация всех основных элементов деятельности;

– рационализация процесса деятельности;

– гарантия получения запланированного результата;

– воспроизводимость деятельности;

– экономическая эффективность (снижение затрат на достижение результата, увеличение прибыли);

– наличие идеологической основы (идейного концепта).

Жизненный цикл технологии.

Жизненный цикл технологии – это совокупность стадий от зарождения технологических нововведений до их утилизации[1].

Жизненный цикл технологии состоит из 5 этапов:

1) Новейшая технология – любая новая технология, которая имеет высокий потенциал.

2) Передовая технология – технология, которая зарекомендовала себя, но ещё достаточно новая, имеет небольшое распространение на рынке.

3) Современная технология –признанная технология, является стандартом, повышается спрос на эту технологию.

4) Не новая технология – по-прежнему полезная технология, но уже существует более новая технология, поэтому спрос начинает падать.

5) Устаревшая технология – технология устаревает и заменяется более совершенной, очень малый спрос или полный отказ от этой технологии в пользу новой.

В современных условиях рыночных отношений технология производственного процесса должна обеспечить:

– постоянное обновление и совершенствование технологии, что является важным условием технического прогресса;

– переход от прерывистых (дискретных, циклических) процессов к непрерывным поточным процессам, обеспечивающим увеличение масштабов производства и эффективное использование машин и оборудования;

– внедрение «замкнутой» (безотходной) технологии с целью наиболее полного использования сырья, материалов, энергии, топлива, ликвидации отходов производства, оздоровления окружающей среды;

– повышение эффективности извлечения полезных ископаемых, их обогащения и переработки, комплексности использования сырья;

– высокую степень разделения процесса на стадии (фазы);

– системную полноту (целостность) процесса, которая должна включать весь набор элементов, обеспечивающих необходимую завершенность действий человека в достижении поставленной цели;

[1] утилизация – использование ресурсов, не находящих прямого применения по назначению, вторичных ресурсов, отходов производства и потребления.

– регулярность процесса и однозначность его фаз, позволяющие применять средние величины при определении характеристик этих фаз, следовательно, их стандартизации и унификации;

– неразрывность связи с процессом – совокупностью действий, выполняемых во времени;

– функционирование в производственно-технологических системах, созданных для обеспечения реализации определенных потребностей.

1.3.2 Технология и экономика.

Технология – основная часть производства, непосредственно решающая задачу выпуска продукции; *экономика* – вспомогательная часть производственного процесса, выполняющая функции управления и обеспечения технологии всем необходимым.

Изменения в области:

– экономики производства позволяют повысить эффективность производства, но только до предела, ограниченного возможностями существующей технологии;

– технологии ведут к неограниченному росту эффективности производственного процесса.

На этом основании можно утверждать, что технология – основное звено производственного процесса. В ней кроется источник роста общественного благосостояния.

Успехи экономики напрямую связаны с уровнем знаний о технологии производства, а также с умелым их использованием.

Технология и экономика как науки имеют объекты изучения, соответствующие их функциям в производственном процессе. Технология изучает процессы непосредственного изготовления продуктов, экономика – процессы, которые необходимы для успешной реализации технологии производства. Следовательно, технология и экономика как науки решают одну задачу по производству продукции, имеют один объект изучения (производство), но исследуют его с разных сторон.

Следует отметить, что:

– для создания технологий необходимы соответствующие ресурсы. Ресурсы, вовлеченные в производство продукции, называются факторами производства;

– каждая технология требует обязательного наличия всей совокупности факторов производства, которые являются взаимодополняющими (комплиментными);

– новые технологии создаются с помощью труда на основе предыдущих технологий;

– улучшение технологий приводит к новым методам производства на основе новых машин и оборудования, а также более квалифицированного труда.

Экономическая эффективность технологии оценивается производственной функцией, которая показывает альтернативные способы получения одного и того же количества продукта при помощи использования разных комбинаций ресурсов.

1.3.3 Производственная функция.

Производственный процесс как основное и первоначальное понятие экономики осуществляется на базе факторов производства, т. е. соответствующих исходных материалов, оборудования, помещений, земли, а также специалистами, которые организуют производство.

Производственная функция:

– экономико-математическая количественная зависимость между величинами выпуска (количество продукции) и факторами производства такими, как затраты ресурсов, уровень технологии;

– зависимость максимального объема производимого продукта от затрат используемых факторов;

– характеризует максимально возможный объем производства при любом заданном наборе ресурсов;

– это независимая переменная, которая принимает значения используемого ресурса (фактора производства), а зависимая переменная – значения объемов выпускаемой продукции:

$$Q = \int(x,); \tag{1.1}$$

$$Q = \int(x_1, x_2) = \int(K, L\,); \tag{1.2}$$

$$Q = \int(x_1, x_2, \dots, x_n), \tag{1.3}$$

где Q – максимальный объем производства при заданных затратах;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – объемы применяемых факторов;

K – объем капитального фактора;

L – объем трудового фактора;

$\int$ – характеристика производственной системы, преобразующая ресурс в выпуск.

В приведенных формулах Q есть функция одной, двух и многих переменных.

Подобно линиям уровня целевой функции оптимизационной задачи, для производственной функции (ПФ) существуют аналогичные понятия. *Линия уровня* ПФ принимает постоянное значение. На рисунке 1.1 приведены изокванты двухфакторной ПФ, из которого видно, что вдоль изокванты выпуск продукции постоянный, т. е. прирост выпуска отсутствует. Изокванты – понижающиеся кривые, имеют отрицательный наклон в точках B, A, C.

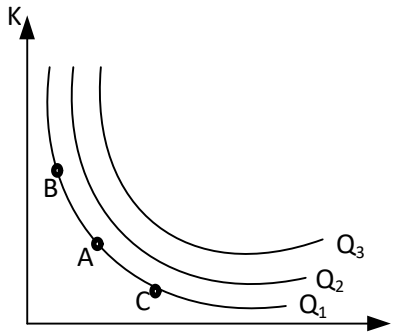


Рисунок 1.1 – Карта изоквант

Сущность ПФ заключается в технологической зависимости между объемом производства и затратами факторов производства.

Свойствами ПФ являются, что:

– технологические и экономические пределы для увеличения объема производства могут быть достигнуты увеличением затрат одного ресурса при прочих равных условиях;

– максимальный объем выпуска при данных объемах ресурсов;

– производственная функция отражает только данную технологию;

– факторы производства могут быть как взаимозаменяемыми (субститутами), так и взаимодополняемыми (комплементарными), без изменения объема выпуска;

– увеличение затрат капитала и труда за известными пределами ведет к уменьшению общего продукта – закон убывающей отдачи факторов;

– изменения в применении факторов производства более эластичны в долгосрочном периоде, чем в краткосрочном.

Типы ПФ:

Определение 1. Производственная функция называется статической, если ее переменные относятся к определенному моменту времени или периоду времени, без учета временных изменений этих параметров.

Определение 2. Производственная функция называется динамической, если ее переменные зависят от времени, а также взаимосвязаны во времени.

Параметры ПФ являются натуральными величинами потока, имеющими размерность «количество/время». Если при оптимально организованном производстве за 1 час 5 рабочих на 3 станках изготавливают 20 деталей, то Q=20 шт/час, L=5 час, K=3 станко-часа. Для краткости размерность параметров опускается.

1.3.4 Информационные технологии.

Информационная технология – это:

– совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение

информации для снижения трудоемкости процессов использования информационных ресурсов, повышения их надежности и оперативности, а также для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления;

– совокупность действий над предметом труда, в качестве которого выступает информация в целях получения конечного результата;

– технологии в области информационной деятельности людей.

Информационные технологии (ИТ, от англ. Information technology (IT) – это класс областей деятельности, относящихся к технологиям управления обработкой огромного потока информации с применением вычислительной техники, и подразделяются на виды, которые приведены на рисунке 1.2.

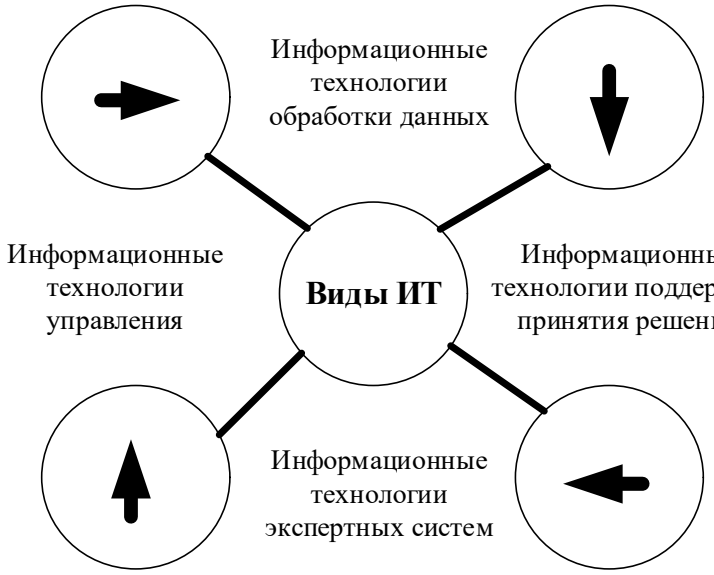


Рисунок 1.2 – Виды информационных технологий

Информационные технологии обработки данных предназначены для решения хорошо структурированных задач, по которым имеются необходимые входные данные, известны алгоритмы и другие стандартные процедуры их обработки. Пример: операция продажи товаров фирмой, в результате которой формируется выходной документ для покупателя в виде чека или квитанции.

Информационная технология управления – это совокупность информации, экономико-математических методов и моделей, технических, программных и других технологических средств с участием специалистов, предназначенная для обработки информации и принятия управленческих решений.

Информационная технология поддержки принятия решений организует взаимодействие человека и компьютера. Выработка решений происходит в результате циклического процесса, в котором участвуют: система поддержки принятия решений в роли вычислительного звена и объекта управления;

человек как управляющее звено, задающее входные данные и оценивающее полученный результат вычислений на компьютере.

Информационные технологии экспертных систем используются с целью получения от эксперта его знаний, загрузив которые в память компьютера, можно использовать их всякий раз, когда в этом возникает необходимость. Экспертные системы представляют собой компьютерные программы, трансформирующие опыт экспертов в какой-либо области знаний в форму эвристических правил.

Классификация информационных технологий включает (рисунок 1.3):

– сетевые информационные технологии;
– технологии работы с текстовой информацией;
– технологии хранения, поиска и сортировки данных;
– технологии числовых расчетов;
– технологии работы с графической информацией;
– мультимедиа технологии.

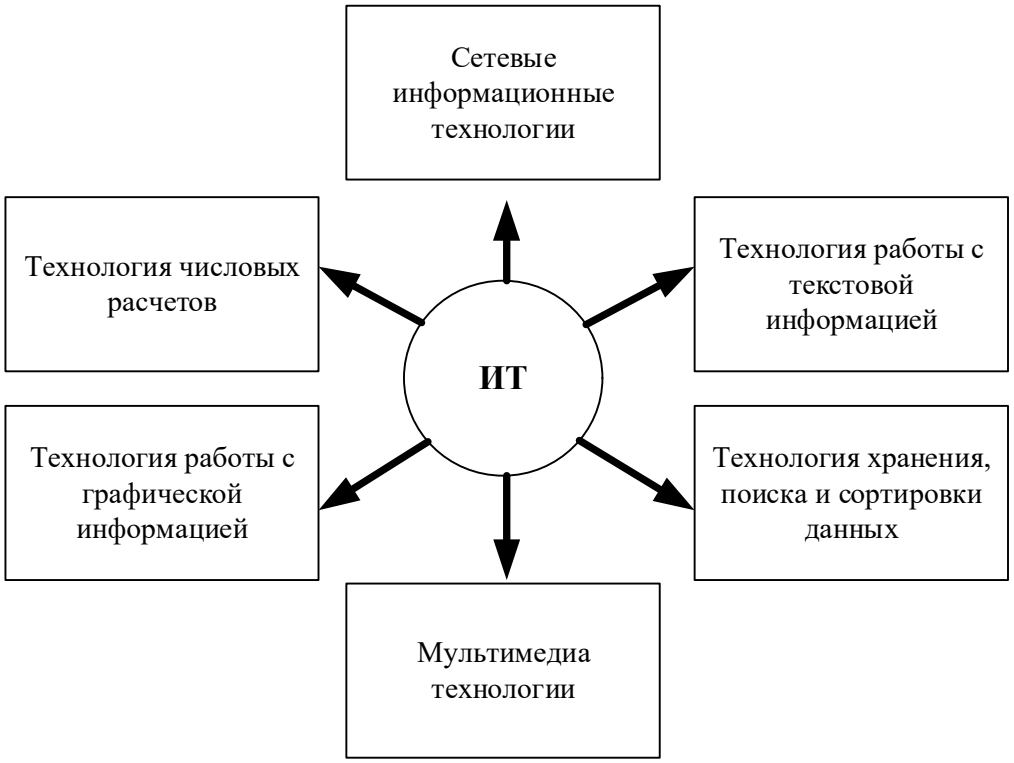


Рисунок 1.3 – Классификация информационных технологий

Основные средства информационных технологий делятся на:

– технические – персональный компьютер, оргтехника, линии связи, оборудование сетей;

– программные – осуществляют функции накопления, обработки, анализа, хранения интерфейса с компьютером;

– информационные – совокупность данных, представленных в определенной форме для компьютерной обработки.

В настоящее время в качестве информационных технологий обработки и управления данными используют OLAP-технологии и технологии интеллектуального анализа данных.

OLAP-технологии представляют собой:

– класс приложений и технологий, предназначенных для оперативной и аналитической обработки многомерных данных (сбор, хранение, анализ) для анализа деятельности компании и прогнозирования будущего состояния с целью поддержки принятия управленческих решений;

– набор технологий для оперативной обработки информации, включающих динамическое построение отчетов в различных разрезах, анализ данных, мониторинг и прогнозирование ключевых показателей бизнеса.

Технология интеллектуального анализа данных (анг. Data Mining) это:

– процесс поиска в больших объемах данных закономерностей, которые объективны, полезны на практике, но не очевидны на первый взгляд;

– средство превратить данные в знания;

– мультидисциплинарная область знаний, нацеленная на «раскопку» полезных данных в больших массивах необработанной информации;

– применение по двум основным направлениям как:

а) массовый продукт для бизнес-приложений;

б) инструмент для проведения уникальных исследований (теории управления, генетики, химии, медицине и др.).

Задачи Data Mining:

1) Прогнозирование – на основе особенностей исторических данных оцениваются пропущенные или же будущие значения целевых численных показателей.

2) Определение отклонений или выбросов – обнаружение и анализ данных, наиболее отличающихся от общего множества данных, выявление так называемых нехарактерных шаблонов.

3) Оценивание – сводится к предсказанию непрерывных значений признака.

4) Анализ связей – нахождение зависимостей в наборе данных.

5) Визуализация – создание графического образа анализируемых данных. Для решения задачи визуализации используются графические методы, показывающие наличие закономерностей в данных.

Методы Data Mining:

– искусственные нейронные сети;

– деревья решений;

– символьные правила;

– методы ближайшего соседа и k-ближайшего соседа;

– линейная регрессия, корреляционно-регрессионный анализ;

– иерархические методы кластерного анализа;

– неиерархические методы кластерного анализа;

– методы поиска ассоциативных правил, в том числе алгоритм Apriori;

– метод ограниченного перебора;
– эволюционное программирование и генетические алгоритмы;
– разнообразные методы визуализации данных и множество других.

Стадии Data Mining:

1) Свободный поиск (Discovery), состоящий из выявления закономерностей условной логики и ассоциативной логики и выявления трендов и колебаний.

2) Прогностическое моделирование (Predicate Modeling), состоящий из предсказания неизвестных значений и прогнозирования развития процессов.

3) Анализ исключений (Forensic Analysis), состоящий из выявления отклонений.

Отличия Data Mining от существующих методов анализа данных:

1) Традиционные методы анализа данных (статистические методы) и OLAP, в основном, ориентированы на проверку заранее сформулированных гипотез (verification-driven data mining) и на «грубый» разведочный анализ, составляющий основу оперативной аналитической обработки данных (OnLine Analytical Processing, OLAP), в то время как одно из основных положений Data Mining – поиск неочевидных закономерностей.

2) Большинство статистических методов для выявления взаимосвязей в данных используют концепцию усреднения по выборке, приводящую к операциям над несуществующими величинами, тогда как Data Mining оперирует реальными данными.

3) Инструменты Data Mining могут находить такие закономерности самостоятельно и также самостоятельно строить гипотезы о взаимосвязях. Поскольку именно формулировка гипотезы относительно зависимостей является самой сложной задачей, преимущество Data Mining, по сравнению с другими методами анализа является очевидным.

4) OLAP больше подходит для понимания ретроспективных данных, Data Mining опирается на ретроспективные данные для получения ответов на вопросы о будущем.

1.3.5 Сопоставление информационных и материальных технологий.

Цель технологии материального производства – выпуск продукции, удовлетворяющей потребности человека или системы.

Цель информационной технологии – производство информации для её последующего анализа и принятия на его основе решения по выполнению какого-либо действия.

Компоненты материального производства:

1) Подготовка сырья и материалов.
2) Производство материального продукта.
3) Сбыт производственных продуктов потребителям.

Компоненты информационного производства:

1) Сбор данных и первичной информации.
2) Обработка данных и получение результатной информации.

3) Передача результатной информации пользователю для принятия на её основе решения.

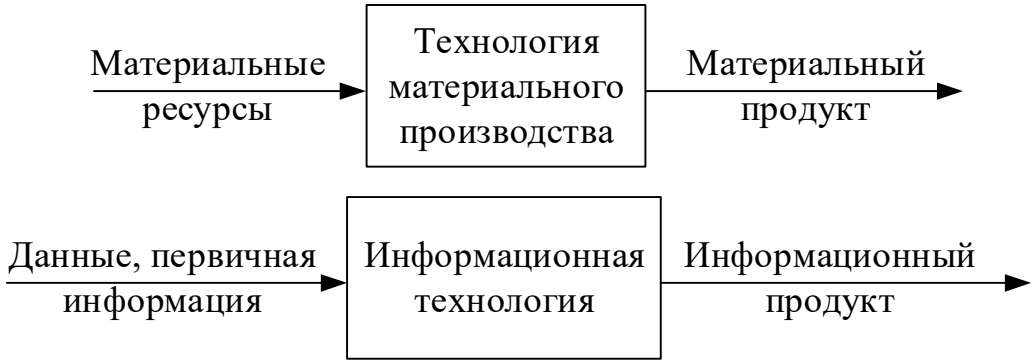


Рисунок 1.4 – Сопоставление информационных и материальных технологий

Анализ целей и компонентов приведенных технологий показывает, что технологии материального и информационного производств идентичны по своим функциям и совокупностью действий над предметом труда (сырья и информации), преобразуя их в конечный выходной продукт.

1.4 Свойства процесса

Свойствами процессов являются:

– *результативность* – соответствие результатов процесса нуждам и ожиданиям потребителей;

– *определенность* – отражает степень, с которой реальный процесс соответствует описанию;

– *управляемость* – степень, в которой производится управление выполнением процесса производства требуемых продуктов/услуг, отвечающих определенным целевым показателям;

– *эффективность* – отражающая, насколько оптимально используются ресурсы при достижении необходимого результата процесса;

– *повторяемость* – способность процесса создавать выходные потоки с одинаковыми характеристиками при повторных его реализациях;

– *гибкость (адаптируемость)* – способность процесса приспосабливаться к изменениям внешних условий, перестраиваться так, чтобы не снижались результативность и эффективность;

– *стоимость* – определяемая совокупная цена выполнения функций процесса и передачи результатов от одной функции к другой.

Основные характеристики процесса:

– *цель* – формируется из результата процесса, его скорости и стоимости;

– *входы в процесс* – это материальные или нематериальные ресурсы, которые нужны, чтобы процесс выполнялся;

– *выходы* – это продукты и услуги, которые являются результатами процесса;

– *механизмы и оборудование* – ресурсы, обеспечивающие выполнение процесса;

– *управление* – условие выполнения процесса (документация, на основании которой осуществляется выполнение процесса);

– *исполнители процесса* – сотрудники компании, выполняющие определенные функции в процессе;

– *клиенты* – потребители результатов процесса;

– *поставщики* – лица или организации, обеспечивающие процесс ресурсами;

– *владелец процесса* – это лицо, которое обладает достаточными полномочиями, властью, ресурсами, чтобы обеспечить успешное выполнение процесса и достижение его цели. Владелец процесса имеет полномочия изменять его, улучшать и совершенствовать;

– *длительность процесса/скорость процесса* – время процесса от старта до получения результата заказчиком/внутренним клиентом;

– *цикл процесса* – частота запуска процесса (ежедневно, раз в 2 недели, раз в год).

Ключевыми характеристиками процесса являются входы и выходы процесса, механизмы и оборудование, а также управление процессом (рисунок 1.4).

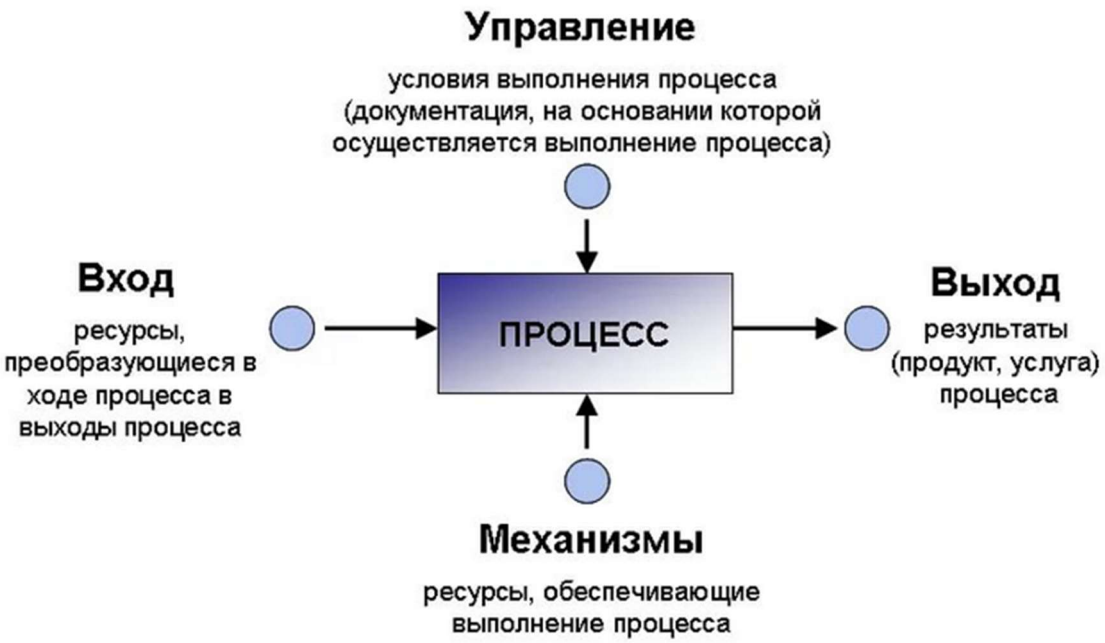


Рисунок 1.4 – Ключевые характеристики процесса

1.5 Разновидности процессов

В современном мире разрабатывается и исполняется множество различных целенаправленных процессов, некоторые из которых приведены ниже:

– физические процессы;
– процессы в теории систем и кибернетике;
– процессы в информатике;
– производственные процессы;
– бизнес-процессы;
– автоматические процессы;
– программируемый процесс;
– профессионально-технический процесс;
– научно-технический процесс;
– научно-исследовательский процесс;
– социальные процессы;
– хаотические процессы;
– случайные процессы;
– стационарные и нестационарные процессы;
– эргодический процесс.

Ниже рассматриваются краткие характеристики данных процессов:

а) физические процессы:

– термодинамический процесс – это изменение состояния термодинамической системы, которое сопровождается изменением хотя бы одного из параметров. Это процессы:

– адиабатный – протекающий без теплообмена с окружающей средой;
– изохорный – протекающий при постоянном объеме;
– изобарный – протекающий при постоянном давлении;
– изотермический – протекающий при постоянной температуре;
– изоэнтропийный – протекающий при постоянной энтропии;
– изоэнтальпийный – протекающий при постоянной энтальпии;
– политропный – протекающий при постоянной теплоемкости;

б) современная физика подразделяет физику по изучаемым объектам и процессам. Большинство процессов рассматривают на разных уровнях – макро- и микроскопическом.

Подразделение физики по изучаемым процессам с очевидностью показывает, что в современной физике имеют дело не с разрозненной совокупностью множества, не связанных или почти не связанных друг с другом законов, а с немногим числом фундаментальных законов или фундаментальных физических теорий, охватывающих огромные области явлений. В этих теориях в наиболее полной и общей форме отражаются объективные процессы природы;

в) в теории систем и кибернетике – процесс — движение, изменение системы. Каждая система осуществляет свой процесс;

г) в информатике – процесс – выполняемая программа компьютерной системы;

д) в производстве – процесс — устойчивая и целенаправленная совокупность взаимосвязанных действий, которые по определённой технологии преобразуют входы в выходы для получения заранее определённых продуктов, результатов или услуг, представляющих ценность для потребителя;

е) бизнес-процесс — это совокупность взаимосвязанных мероприятий или задач, направленных на создание определённого продукта или услуги для потребителей. В качестве графического описания деятельности применяются блок-схемы бизнес-процессов;

ж) автоматические процессы – все действия выполняются без каких-либо отклонений, в автоматическом режиме;

и) хаотические процессы – причинно-следственные связи имеют статистический, вероятностный характер;

к) программируемый процесс – определенная последовательность процессов обработки информации в соответствии с заданной программой;

л) профессионально-технический процесс – определенная последовательность процессов обработки деталей, изделий, узлов определенным технологическим процессом;

м) научно-технический процесс – определенная последовательность процессов обработки технологического объекта (информации, деталей, изделий, узлов) согласно заданному технологическому процессу и с применением средств интеллектуальной обработки информации;

н) научно-исследовательский процесс – это целенаправленный процесс производства новых знаний, которые раскрывают новые явления в обществе и природе для использования их в практической деятельности людей.

Между этими основными классами процессов существует ряд промежуточных.

п) социальный процесс – серия явлений или взаимодействий, происходящих в организации, структуре групп и меняющих отношения между людьми или между составными элементами сообщества. Социальные процессы находятся во всех обществах и выступают как упорядоченная форма социального взаимодействия.

р) информационные процессы разделяют на процессы циркуляции и переработки информации, которые, в свою очередь, подразделяются на процессы сбора, передачи, обработки, хранения и направления к пользователю.

Целесообразно рассматривать цикл – «данные – информация – знания», четко разграничивая семантику, компонент цикла и отношения между ними, что позволяет представить общую основу информационной технологии и ее сущность в различных предметных областях.

с) случайный процесс (случайная функция) в теории вероятностей – семейство случайных величин, индексированных некоторым параметром, чаще всего играющим роль времени или координаты.

Случайные процессы классифицируются на стационарные и нестационарные процессы.

Стационарный случайный процесс:

– это случайный процесс, у которого все вероятностные характеристики не зависят от времени, то есть математическое ожидание и дисперсия:

$$m_x = \text{const};$$

$$D_x = \text{const};$$

– это процесс, который протекает во времени приблизительно однородно, т.е. существенно не изменяются его вероятностные характеристики. Он имеет место в установившемся режиме работы системы при неизменных внешних условиях.

Случайный процесс называется стационарным в:

– *широком* смысле, если:

$$m_x(t) = m_x = \text{const};$$

$$D_x(t) = D_x = \text{const};$$

$$K_x(t_1,t_2) = K_x(t_2 - t_1) = K_x(\tau).$$

В качестве примеров стационарных случайных процессов можно привести:

– колебания самолета на установившемся режиме горизонтального полета;

– колебания напряжения в электрической осветительной сети;

– случайные шумы в радиоприемнике;

– процесс качки корабля и т.п.

Есть также термин — *квазистационарный*, дающий некоторое приближение к стационарности, обычно применяется в тех случаях, когда характерное время установления равновесия в системе много меньше характерного времени изменения равновесных параметров системы, определяемых воздействием на систему.

Нестационарный процесс – процесс, протекающий в условиях неоднородности внешней среды, при котором быстро изменяются условия функционирования системы, оказывающие существенное влияние на её характеристики;

т) эргодическими называются процессы, для которых среднее по совокупности реализаций совпадает со средним по времени при интервале

усреднения $T \to \infty$. Для эргодического процесса усреднение по ансамблю может быть заменено усреднением во времени.

Эргодическое свойство случайного процесса – это, когда по одной достаточно продолжительной реализации случайного процесса, можно судить о случайном процессе в целом.

Достаточным условием эргодичности случайного процесса является условие:

$$\lim k_x(\tau) = 0$$

при $\tau \to \infty$, т.е. при увеличении сдвига между сечениями корреляционная функция затухает.

Случайный процесс эргодичен, если с вероятностью, равной единице, все его статистические характеристики можно предсказать по одной реализации из ансамбля (гармоничности) процесса с помощью усреднения по времени. Иными словами, средние значения по времени почти всех возможных реализаций процесса с вероятностью единицы сходятся к одной и той же постоянной величине (среднему значению по ансамблю). Другими словами, среднее по времени равно среднему по реализациям. Благодаря свойству эргодичности, значительно упрощается математический анализ случайных процессов.

Различают также дискретные и непрерывные, апериодические и циклические процессы (в последних одни и те же состояния повторяются во времени в одной и той же последовательности), конечные (с известным или неизвестным временем протекания) и бесконечные (в некотором абстрактном смысле), управляемые и неуправляемые, линейные (однонаправленные) и разветвленные процессы. Приведенные и другие типы процессов выделяют в зависимости от задач, которые решаются при изучении или использовании процессов.

1.6 Состояние процессов

Состояние – категория научного познания, характеризующая способность движущейся материи к проявлению в различных формах с присущими им существенными свойствами и отношениями. «...Всё и вся бывает как «в себе», так и «для других» в отношении к другому, превращаясь из одного состояния в другое,» – отмечал В. И. Ленин. С помощью категории состояния выражается процесс изменения и развития вещей и явлений, который, в конечном итоге, сводится к изменению их свойств и отношений.

В современной науке состояние служит интегральной характеристикой различных систем. Через понятие состояния определяются исходные принципы и понятия теории информации и кибернетики. Например, информация связана с устранением неопределённости в состоянии системы и определяется разнообразием её возможных состояний.

Состояние — совокупность основных параметров и характеристик какого-либо объекта, явления или процесса в определенный момент (или интервал) времени. Бытие этого объекта, явления или процесса выступает как развертывание, последовательная смена его состояний. Понятие «состояния» имеет исключительно широкое применение. Так говорят о газообразном состоянии вещества, о состоянии движения тела, о болезненном состоянии человека, о состоянии морали в обществе и т. п.

Особенно существенно понятие «состояния» для *характеристики динамических систем.* Оно предстает как реализация в некоторый момент времени параметров (свойств), определяющих поведение и развитие системы. Законы динамики систем и есть законы взаимосвязи состояний во времени. Связь состояний принято характеризовать как выражение принципа причинности: некоторое исходное состояние системы в сочетании с внешними воздействиями, которые испытывает система в рассматриваемый промежуток времени, есть причина его последующих состояний. *Понятие состояния является центральным при изучении изменений, движения и развития объектов и систем. Решение конкретных исследовательских задач основывается, с одной стороны, на знании и применении соответствующих законов, а с другой, — на задании начальных условий. Задание начальных условий и есть, по существу, задание некоторого исходного состояния исследуемой системы, что необходимо для ее дальнейшего анализа.*

При определении начального (исходного) состояния нужно учитывать законы взаимосвязей параметров систем, наличие которых приводит к тому, что для описания исходного состояния необходимо задать значения только независимых параметров. Следует, однако, учитывать, что между параметрами систем существуют и субординационные, иерархические зависимости. *Для описания состояний, особенно сложных, многоуровневых систем, необходимо задать и структуру, структурные характеристики.* Так, в статистических системах состояния определяются не путем задания характеристик отдельных элементов или индивидуальных состояний каждого элемента, а на языке вероятностных распределений — *через характеристику вида, типа распределений.* В сложных системах состояния определяются на основе более общих характеристик, относящихся к более высоким уровням организации систем. Тем самым представления о состояниях соотносятся с анализом глубинных свойств исследуемых систем.

Понятие «состояния» является одним из ключевых для характеристики нелинейных систем и взаимодействий. Свойства нелинейных систем зависят от их состояния. Их важнейшая особенность — нарушение в них принципа суперпозиции[1]*:* результат одного из воздействий в присутствии другого оказывается не таким, каким он был бы, если бы это другое воздействие отсутствовало.

[1] Суперпозиция – наложение процессов (например, волн) и, как следствие, возникновение конструктивной и деструктивной интерференции.

Иначе говоря, *аддитивность*[1] *причин приводит к аддитивности следствий.* В нелинейных же системах общий результат ряда воздействий на систему (ее итоговое состояние) определяется не простым суммированием наличных воздействий, но и *их взаимовлиянием.* Нелинейными являются практически все физические системы; еще более это характерно для химических, биологических и социальных систем, которым присущи качественные преобразования. Поведение систем с возрастанием их сложности все сильнее определяется их внутренней динамикой, которая порождает процессы самоорганизации. Состояния систем изменяются под влиянием не только внешних воздействий, но и по внутренним основаниям (рисунок 1.5). Усиление этих внутренних оснований находит выражение в том, что первостепенное внимание начинает уделяться таким понятиям и представлениям, как неустойчивость, неравновесность, необратимость, самоусиление процессов, бифуркация (раздвоение), многовариантность путей изменения и развития.

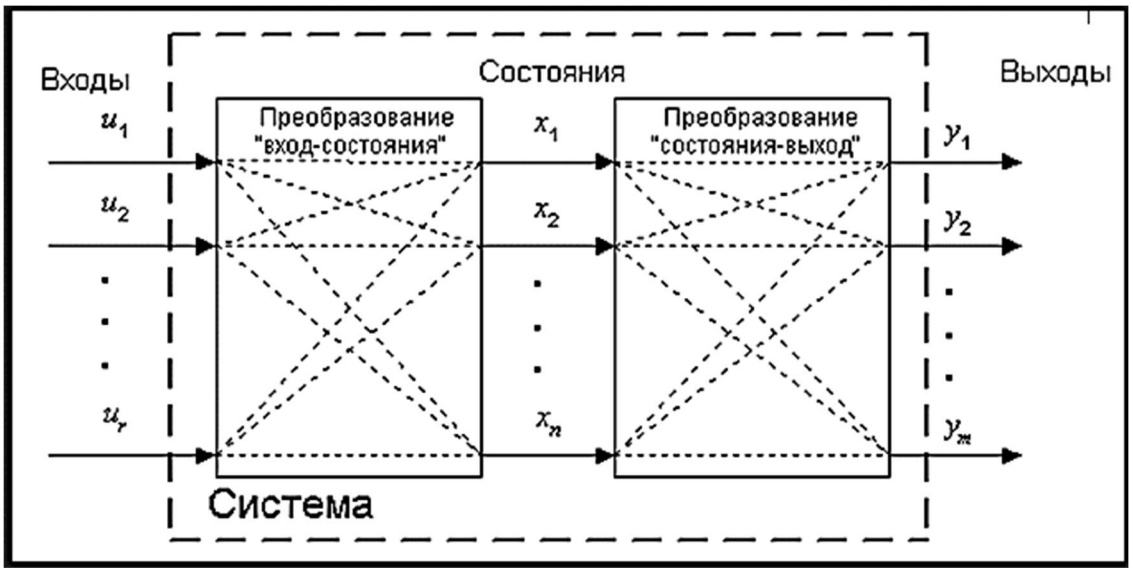


Рисунок 1.5 – Состояние системы

1.6.1 Пространство состояний.

В теории автоматического управления для описания динамической системы наиболее широко применяются два основных подхода:

1) Метод структурных схем – система представляется в виде схемы, содержащей основные функциональные звенья (апериодические, интегральные, пропорциональные и прочие блоки). Взаимодействие между звеньями осуществляется по принципу «вход-выход».

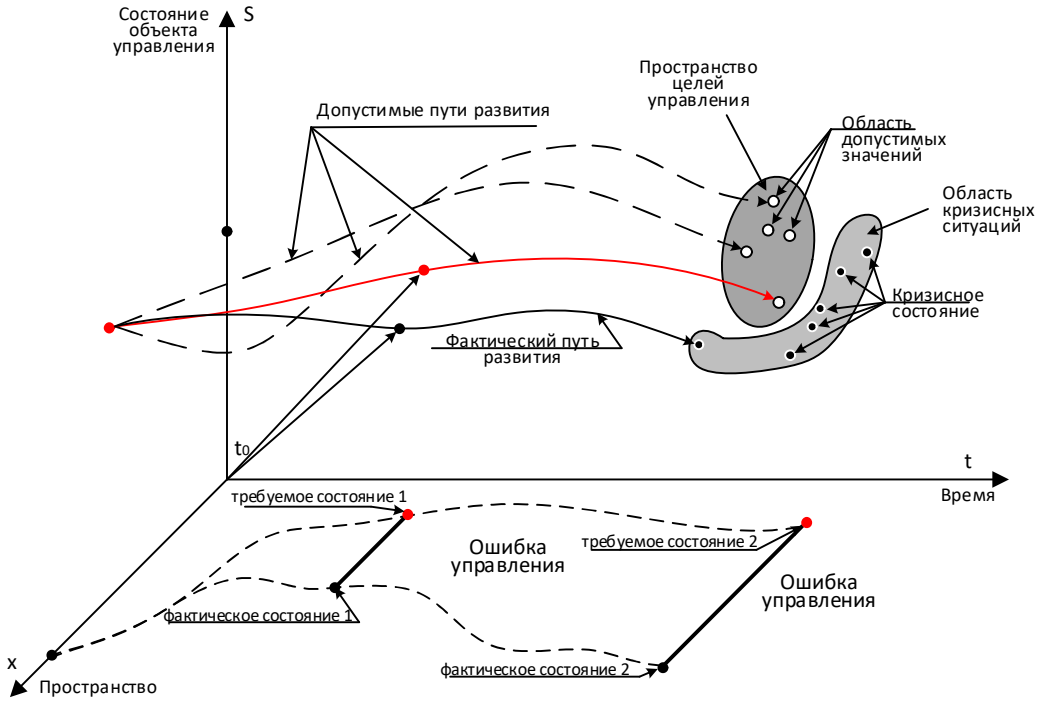
2) Метод пространства состояний – один из основных методов описания динамической системы.

[1] Аддитивность (лат. additivus — прибавляемый) — свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, в некотором классе возможных разбиений объекта на части.

Состояние любой системы с заданной точностью можно охарактеризовать совокупностью значений величин m, определяющих ее поведение, т.е. вектором состояния системы.

Одной из форм описания состояния системы – пространство состояний системы. Область пространства состояний, в которой находится изображающая точка, называется областью допустимых состояний.

Состоянию системы соответствует точка в определенном евклидовом пространстве, а поведение системы во времени характеризуется траекторией, описываемой этой точкой (рисунок 1.6).



КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ:	Оптимальный процесс управления:
$B_ф - B_{тс} = B_0$	$B_0 = minmax$ (ресурсы, время, характеристики объекта)

Рисунок 1.6 – Пространство состояний

В пространстве состояний создаётся модель динамической системы, включающая набор переменных входа, выхода и состояния (рисунок 1.7), связанных между собой дифференциальными уравнениями первого порядка, которые записываются в матричной форме. В отличие от описания в виде передаточной функции и других методов частотной области, пространство состояний позволяет работать с линейными системами и нулевыми начальными условиями.

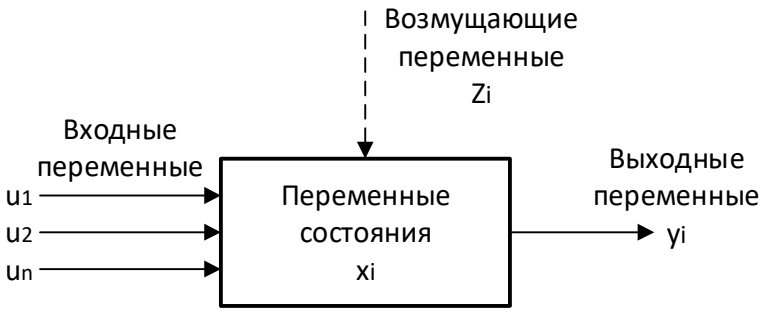


Рисунок 1.7 – Характеристика системы на основе входных, выходных и возмущающих переменных, а также переменных состояния

Пространство состояний объекта управления:

– приложим к объекту конкретные воздействия Z(t) и X(t) и решим уравнение при начальных условиях Y(t0);

– полученному решению Y(t, Z(t), X(t), y(t0)), t≥ t0, которое зависит от всех воздействий и начальных условий, при каждом t в пространстве состояний будет соответствовать определенная точка;

– кривую, соединяющую эти точки, называют траекторией движения объекта;

– условно можно принять, что изображающая точка во времени движется в пространстве состояний, а оставляемый ею след и представляет собой траекторию движения объекта.

Переменные состояния, описывающие систему, не являются единственными, и всегда можно выбрать альтернативную комбинацию таких переменных.

В реальной системе всегда можно образовать несколько комбинаций переменных состояния, которые определяют энергию, запасенную в системе, и, следовательно, адекватно описывают ее динамику. На практике в качестве переменных состояния часто выбирают такие физические переменные, которые легко могут быть измерены.

Простым примером переменной состояния может служить положение выключателя электролампочки. Выключатель может быть в одном из двух положений — «включено» или «выключено», поэтому его состоянию соответствует одно из двух возможных значений. Если мы знаем, в каком состоянии (положении) находится выключатель в момент времени t_0, и, если прикладываем к нему воздействие, то всегда можем определить будущее состояние элемента.

Метод уравнений состояния, или *метод переменных состояний,* относится к более универсальным методам и в настоящее время широко используется для анализа и синтеза процессов в электронных и электрических цепях, теории автоматического регулирования, при анализе и синтезе адаптивных и самонастраивающихся систем управления. Метод основан на формировании и решении двух матричных уравнений.

Связь между переменными состояния и переменными «вход-выход» можно описать следующим примером.

Дана система дифференциальных уравнений:

$$\left.\begin{array}{c} T_1\dot{x}_1 = f - (x_1 - x_2), \\ T_2\dot{x}_2 = x_1 - x_2, \\ y = x_2 \end{array}\right\} \text{или} \quad \left.\begin{array}{c} \dot{x}_1 = -\frac{1}{T_1}x_1 + \frac{1}{T_1}x_2 + \frac{1}{T_1}f, \\ \dot{x}_2 = \frac{1}{T_2}x_1 - \frac{1}{T_2}x_2, \\ y = x_2 \end{array}\right\}.$$

В векторно-матричной записи получим:

$$\dot{x} = Ax + Bf;$$

$$y = Hx,$$

где $A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_1} & \frac{1}{T_1} \\ \frac{1}{T_2} & -\frac{1}{T_2} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1} \\ 0 \end{bmatrix}, H = [0,1].$

1.6.2 Фазовые траектории и фазовый портрет.

Динамическая система – математический объект, соответствующий реальным физическим, химическим, биологическим и др. системам, эволюция во времени, которая на любом интервале времени однозначно определяется начальным состоянием.

Таким математическим объектом может быть система автономных дифференциальных уравнений. Эволюцию динамической системы можно наблюдать в пространстве состояний системы, так называемой фазовой плоскостью с осями координат, на которых отложены значения переменных *x* и *y*, каждая точка плоскости соответствует определенному состоянию системы.

Метод фазового пространства (фазовой плоскости), разработанный для решения задач механики (в конце XIX века в работах А. Пуанкаре и А.М. Ляпунова), широко используется в радиотехнике и в теории автоматического управления, а в последнее время в биологии, экономике и медицине.

Совокупность точек на фазовой плоскости, положение которых соответствует состояниям системы в процессе изменения во времени переменных x(t), y(t), согласно заданному уравнению исследуемой системы, представляется *фазовой траекторией*.

Среди этих траекторий имеется некоторое число основных, которые и определяют качественные свойства системы. К ним относятся прежде всего точки равновесия, отвечающие стационарным режимам системы, и замкнутые траектории (предельные циклы), отвечающие режимам периодических колебаний. Таким образом, по А.А. Андронову «фазовая плоскость, разбитая на траектории, дает легко обозримый «портрет» динамической системы, она

дает возможность сразу, одним взглядом, охватить всю совокупность движений, могущих возникнуть при всевозможных начальных условиях.».

Совокупность фазовых траекторий при различных начальных значениях переменных дает *фазовый портрет* системы.

Фазовый портрет показывает, как величины, описывающие состояние системы, зависят друг от друга. В случае электричества – это заряд и ток; механического движения – это координаты и скорость.

Скорость движения $x=dx/dt=v$ откладывается по оси ординат, а отклонение x – по оси абсцисс фазовой плоскости. Каждому движению в момент времени t соответствует изображающая точка на указанной плоскости с координатами x, v, однозначно определяемая мгновенными значениями отклонения x и скорости $\dot{x}=v$. Изображающая точка с течением времени перемещается, описывая фазовую траекторию (рисунок 1.8). В этом представлении время играет роль параметра: уравнение фазовой траектории задано зависимостью между координатой и скоростью $v=v(x)$.

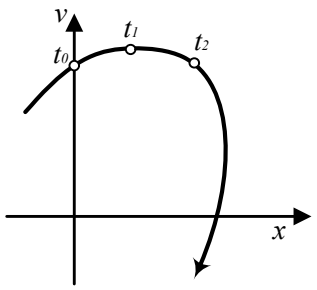


Рисунок 1.8 – Фазовая траектория, т.е. траектория движения в плоскости x, v

Недостатком фазового портрета является невозможность непосредственного представления процесса во времени, но этот недостаток компенсируется большим преимуществом: здесь из чисто геометрического представления фазовой траектории или семейства фазовых траекторий можно сделать важные заключения о свойствах колебаний.

Достоинство фазового портрета в том, что его можно построить, не решая динамического уравнения системы.

Рассмотрим линейную однородную систему с постоянными коэффициентами:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax + by \\ \frac{dy}{dt} = cx + dy. \end{cases} \tag{1.4}$$

Через любую точку плоскости проходит одна и только одна фазовая кривая (траектория). В системе (1.4) возможны три типа фазовых траекторий:

– точка;

– замкнутая кривая;

– незамкнутая кривая.

Точка на фазовой плоскости соответствует стационарному решению (положению равновесия, точке покоя) системы (1.4), замкнутая кривая – периодическому решению, а незамкнутая – непериодическому.

Положение равновесия системы (1.4) находится решением системы:

$$\begin{cases} ax + by = 0 \\ cx + dy = 0. \end{cases} \tag{1.5}$$

Система (1.4) имеет единственное нулевое положение равновесия, если определитель матрицы системы:

$$detA = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = ad - cb \neq 0.$$

Если же $detA = 0$, то, кроме нулевого положения равновесия, есть и другие, так как в этом случае система (1.5) имеет бесконечное множество решений.

Качественное поведение фазовых траекторий (тип положения равновесия) определяется собственными числами матрицы системы.

Собственные числа матрицы системы найдем, решая уравнение:

$$\lambda^2 - (a + d)\lambda + ad - bc = 0. \tag{1.6}$$

Заметим, что $(a + d) = trA$ (след матрицы) и $ad - bc = detA$.

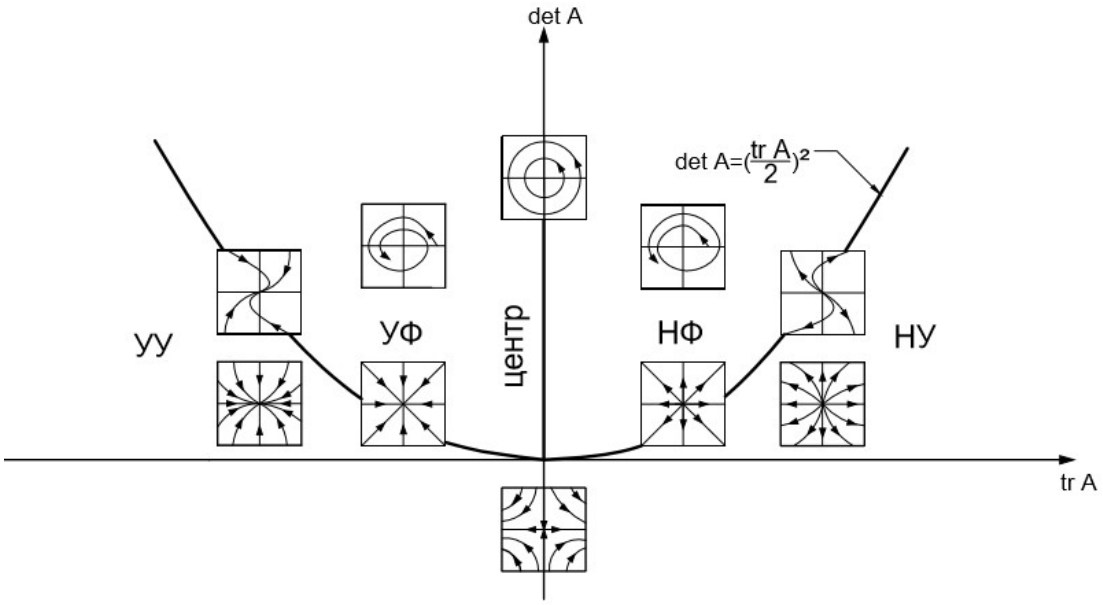
Классификация точек покоя в случае, когда $detA \neq 0$ приведена в таблице1.1.

Таблица 1.1

Корни уравнения	Тип точки покоя
$\lambda_1, \lambda_2 -$ вещественные, одного знака $(\lambda_1 \cdot \lambda_2 > 0)$	Узел
$\lambda_1, \lambda_2 -$ вещественные, разного знака $\lambda_1 \cdot \lambda_2 < 0$	Седло
$\lambda_1, \lambda_2 -$ комплексные $Re\lambda_1 = Re\lambda_2 \neq 0$	Фокус
$\lambda_1, \lambda_2 -$ комплексные $Re\lambda_1 = Re\lambda_2 = 0$	Центр

Из фазовых портретов, приведенных в таблице 1, следует, что зависимости $detA = \left(\frac{trA}{2}\right)^2$ и $detA = 0$ являются бифуркационными и разбивают плоскость ($detA$, trA) на три области с качественно различными фазовыми портретами. На рисунке 1.9 жирными линиями отмечены

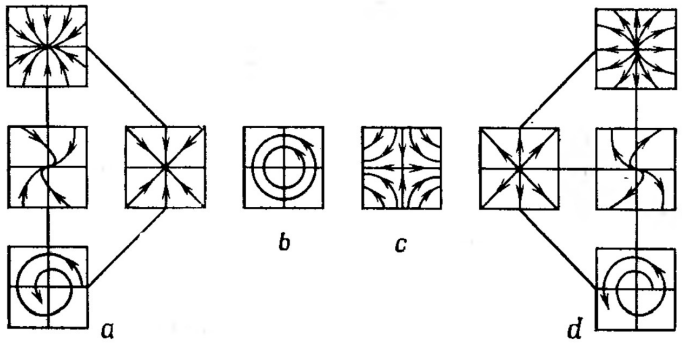
бифуркационные границы, и в образовавшихся областях приведены фазовые портреты.



НУ – неустойчивый узел; УУ – устойчивый узел; НФ – неустойчивый фокус; УФ – устойчивый фокус.

Рисунок 1.9 – Характер зависимости фазовых портретов системы (1.6) от следа и определителя матрицы А

Из литературных источников следует, что любая (простая) линейная система на плоскости качественно эквивалентна одной из систем, десять фазовых портретов которых изображены на рисунке 1.10, и представляют собой алгебраические типы линейных систем.



a – устойчивые; b – центр; c – седло; d – неустойчивые.

Рисунок 1.10 – Различные качественные типы фазовых портретов для линейных систем

1.6.3 Состояние многозадачной системы

В многозадачной (многопроцессной) системе процесс может находиться в одном из пяти основных состояний (рисунок 1.11): запуск, готовность, выполнение, ожидание, завершение.

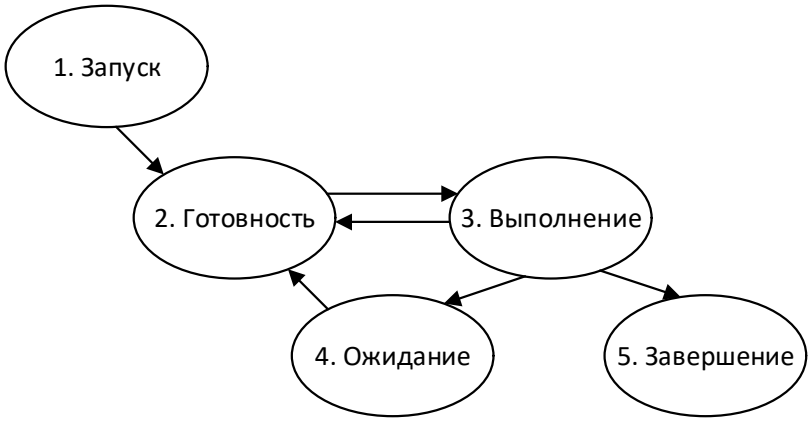


Рисунок 1.11 – Классическая схема состояний процесса

Выполнение – активное состояние процесса, во время которого процесс обладает всеми необходимыми ресурсами и непосредственно выполняется процессором;

Ожидание – пассивное состояние процесса. Процесс заблокирован, он не может выполняться по своим внутренним причинам, он ждет осуществления некоторого события, например, завершения операции «ввода-вывода», получения сообщения от другого процесса, освобождения какого-либо необходимого ему ресурса;

Готовность – также пассивное состояние процесса, но в этом случае процесс заблокирован в связи с внешними по отношению к нему обстоятельствами: процесс имеет все требуемые для него ресурсы, он готов выполняться, однако процессор занят выполнением другого процесса.

В ходе жизненного цикла каждый процесс переходит из одного состояния в другое в соответствии с алгоритмом планирования процессов, реализуемым в данной операционной системе. Типичный граф состояний процесса показан на рисунке 1.12.

В состоянии *выполнение* в однопроцессорной системе может находиться только один процесс, а в каждом из состояний *ожидание* и *готовность* – несколько процессов, эти процессы образуют очереди соответственно ожидающих и готовых процессов. Жизненный цикл процесса начинается с состояния *готовность*, когда процесс готов к выполнению и ждет своей очереди. При активизации процесс переходит в состояние *выполнение* и находится в нем до тех пор, пока либо он сам освободит процессор, перейдя в состояние *ожидания* какого-нибудь события, либо будет насильно «вытеснен» из процессора, например, вследствие исчерпания отведенного данному процессу кванта процессорного времени. В последнем случае процесс

возвращается в состояние *готовность*. В это же состояние процесс переходит из состояния *ожидание*, после того как ожидаемое событие произойдет.

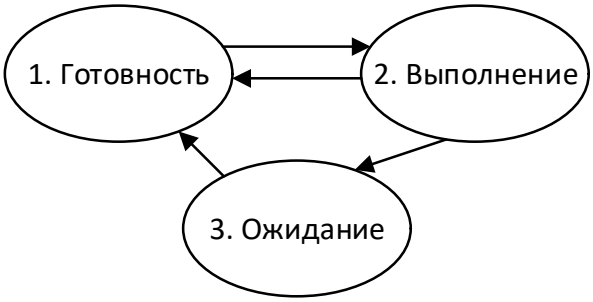


Рисунок 1.12 – Модель трех состояний

В ОС РВ время перехода процесса из одного состояния в другое должно быть детерминировано. Функции контроля за временем (deadline) возлагаются на планировщика.

Операции над процессами.

Над процессами можно производить следующие операции:

1) Создавать процесс – это переход из состояния рождения в состояние готовности.
2) Уничтожать процесс – это переход из состояния выполнения в состояние «смерти».
3) Восстанавливать процесс – переход из состояния готовности в состояние выполнения.
4) Изменять приоритет процесса – переход из выполнения в готовность.
5) Блокировать процесс – переход в состояние ожидания из состояния выполнения.
6) Пробуждать процесс – переход из состояния ожидания в состояние готовности.
7) Запускать процесс (или его выбор) – переход из состояния готовности в состояние выполнения.

Для создания процесса операционной системе необходимо:

1) Присвоить процессу имя.
2) Добавить информацию о процессе в список процессов.
3) Определить приоритет процесса.
4) Сформировать блок управления процессом.
5) Предоставить процессу нужные ему ресурсы.

Иерархия процессов.

Процесс не может взяться из ниоткуда: его обязательно должен запустить какой-то процесс. Процесс, запущенный другим процессом, называется дочерним (child) процессом или потомком. Процесс, который запустил новый процесс, называется родительским (parent), родителем или просто – предком. У каждого процесса есть два атрибута – PID (Process ID) – идентификатор процесса и PPID (Parent Process ID) – идентификатор родительского процесса.

Процессы создают иерархию в виде «дерева». Самым «главным» предком, то есть процессом, стоящим на вершине этого дерева, является процесс init (PID=1).

1.7 Идентификация процессов

Обычно организация осуществляет от 6 до 40 и более различных бизнес-процессов. В связи с этим все процессы должны быть идентифицированы. Идентификация необходима для последующего управления процессами с целью обеспечения надлежащего качества как промежуточных результатов, так и итогового (выходного) результата каждого бизнес-процесса и всех его подпроцессов.

Чтобы осуществить идентификацию какого-либо процесса, сначала необходимо его описать. При этом рекомендуется отразить:

– полное наименование процесса;

– код процесса;

– определить процесс, т.е. привести формулировку сущности, содержание процесса;

– цель процесса;

– функции процесса;

– место процесса в ряду других процессов;

– порядок выполнения процесса в виде блок-схемы или алгоритма;

– назвать владельца процесса − лицо, осуществляющее стратегическое планирование и ответственное за ресурсное обеспечение процесса;

– назвать руководителя (менеджера) процесса — лицо, ответственное за оперативное (текущее) планирование, ведение процесса и достижение запланированных результатов;

– нормативы процесса;

– входы процесса;

– выходы процесса;

– ресурсы;

– измеряемые параметры процесса, подлежащие измерению, контролю и управлению;

– плановые показатели эффективности процесса и некоторые другие характеристики.

После описания всех осуществляемых процессов их классифицируют. Официального классификатора и перечня типовых процессов не существует. Поэтому производитель самостоятельно определяет, какие именно процессы задействованы в его бизнес-процессе, классифицирует их и ранжирует по значимости в отношении влияния на качество получаемых результатов (выходов). Общие требования к процессам в отношении их качества и качества выходов сформулированы ГОСТ Р ИСО 9001-2001.

Ранжирование процессов позволяет установить ключевые, т.е. наиболее значимые процессы, которые оказывают наибольшее влияние на результат деятельности (бизнес-процесса).

Кроме ключевых, целесообразно также определить *критические процессы. Критическими являются процессы,* отклонение от технологии которых ведет к существенному ухудшению результата бизнес-процесса. Следовательно, при управлении бизнес-процессом, а также составляющими его процессами, особое внимание должно быть уделено как ключевым, так и критическим процессам (операциям, процедурам и т.д.).

Таким образом, *идентификация процессов* – документированная процедура, определяющая требования и правила их исполнения применительно к определению состава и содержания совокупности видов деятельности по преобразованию входов в выходы и потребных для этого ресурсов и управляющих воздействий.

Идентификация процесса подразумевает однозначное и полное представление обо всех входных элементах, потребных ресурсах, управляющих воздействиях и присущих им показателях (параметрах и характеристиках), оказывающих влияние на выходные показатели реализации (продукта) процесса.

Взаимосвязь процессов в организации можно представить в виде ландшафта процессов.

Ландшафт процессов – схематичное описание процессов (рисунок 1.13), последовательности их реализации и взаимодействий, отображающее состав процессов в соответствии с установленной классификацией процессов (процессы менеджмента, бизнес-процессы, процессы менеджмента ресурсов).

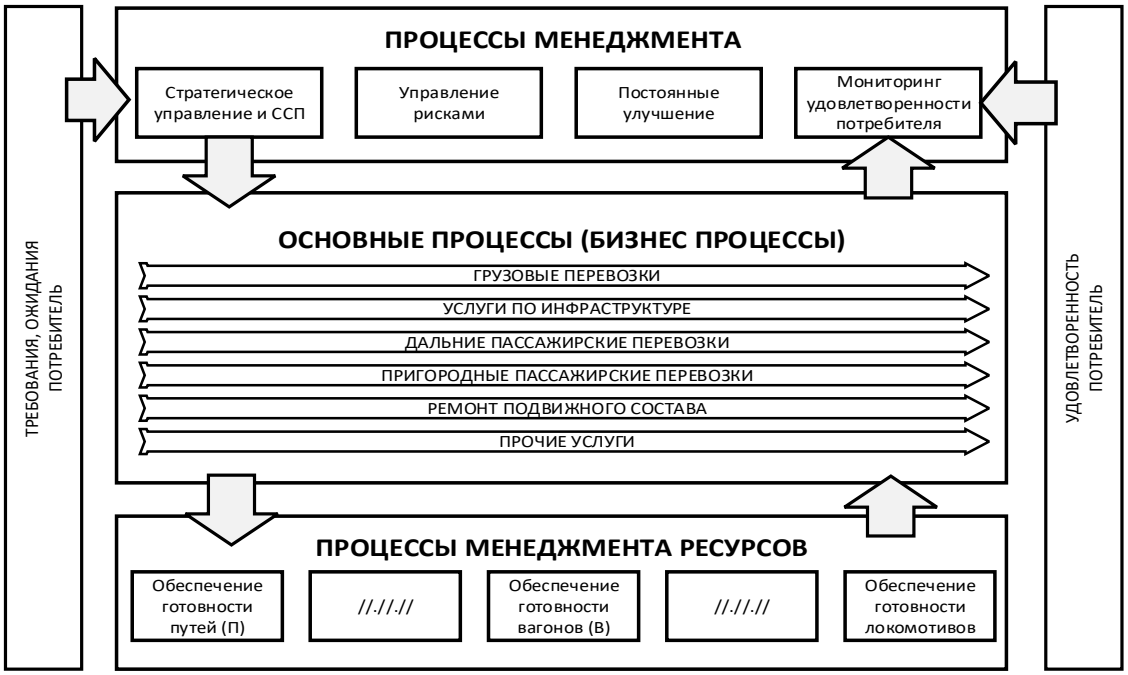


Рисунок 1.13 – Пример оформления процессной модели

После проведения идентификации процесса, определения его взаимосвязей с другими процессами проводят декомпозицию (детализацию) процесса.

Декомпозиция процесса – подпроцессное (операционное) отображение процесса, определяющее последовательность и взаимодействие различных подпроцессов (операций) при реализации процесса.

Подпроцесс – процесс, являющийся составной частью (операцией, переходом) процесса более высокого уровня.

Результаты декомпозиции и идентификации процесса могут быть представлены в виде блок-схемы и карты процесса.

1.8 Что такое объект?

Объект (от лат. objectum – предмет):

– философская категория, выражающая нечто, на что направлена практическая или познавательная деятельность субъекта (наблюдателя);

– это любая часть окружающего мира (предмет – телефон, книга, стол, кошка; процесс – каникулы, учеба, чтение, поездка; явление – гроза, солнечное затмение, снегопад), которая воспринимается человеком как единое целое;

– это то, что создано в результате умственной деятельности человека: стихи, музыка, технологии, производство продукции и т.д.;

– природные явления - молния, радуга, солнечное затмение, снегопад;

– характеризуется целостностью, состоянием, поведением, идентичностью;

– описываются именем объекта, существенными свойствами, назначением объекта и отношениями с другими объектами;

– является совокупностью свойств, методов, событий;

– реальный объект бесконечно сложен, поэтому его можно рассматривать как систему.

Предмет и объект философии.

Объекты философии:

– мир как единое целое, что дает общий взгляд на мир;

– отдельные предметы их свойства и отношения. Процессы. Явления.

Предметом философии являются законы, свойства и формы бытия, действующие во всех областях материального мира и человеческого мышления.

Основными методами философии (путями, средствами, с помощью которых осуществляется философское исследование) являются:

– диалектика;

– метафизика;

– синергетика.

1.8.1 Свойства объекта.

Свойством объекта является проявление его наиболее характерных черт. Объекты обладают следующими свойствами:

1) Существенные – важные для человека (апельсин – вкусный и полезный).

2) Несущественные – неважные для человека (апельсин – круглый и оранжевый).

3) Конкретные значения – параметры, которые имеют *качественные* (нечисловое) значения – признаки, и *количественное* (числовое) – величина.

4) Неконкретные, субъективные (эмоциональные) значения.

1.8.2 Действие как характеристика объекта.

Объекты могут выполнять действия самостоятельно или под воздействием других объектов. Если в выполнении действия участвуют два объекта, то один – производит действие, другой испытывает его воздействие. Действие – это смена состояния объекта.

Состояние – сочетание значений всех или некоторых свойств объекта и совокупный результат поведения объекта: одно из стабильных условий, в которых объект может существовать; в любой момент времени объект может находиться в статическом или динамическом состоянии.

Отношения между объектами:

- объект – объект;
- объект – множество объектов;
- множество объектов – множество объектов.

Связь – это отношение между объектами, когда изменение параметров одного объекта приводит к изменению параметров другого объекта.

Информация об объекте должна быть полезной, понятной, актуальной, полной и достоверной.

1.8.3 Примеры объектов.

Объект исследования – система, процесс или явление, порождающие проблемную ситуацию и избранные для изучения.

Предмет исследования – это часть процесса или явления, взятого исследователем для изучения, аспекты и отношения между целым и его отдельными сторонами.

Объект всегда шире, чем предмет.

Объект проектирования – это любая, ограниченная временем и пространством система, поддающаяся разработке и реализации: техническая, информационная, экономическая, политическая, социально-природная и др.

Информационный объект – это совокупность логически связанной информации; является описанием объектов (предметов, живых существ, явлений, событий). Описание объекта можно хранить на различных материальных носителях – бумаге, магнитных, электронных, лазерных носителях.

Компьютерные объекты – файлы и папки, размер файла, объекты операционной системы.

Объекты информатики – информация, информационный процесс, компьютер, исполнитель, алгоритм.

Объект управления – это управляемое звено системы, воспринимающее управляющее воздействие со стороны субъекта управления.

1.9 Что такое система?

Система (от греч. «systema» – целое, состоящее из частей, соединение):

– множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство. «Сведение множества к единому – в этом первооснова красоты» (Пифагор);

– это сложный объект, состоящий из взаимосвязанных частей (элементов) и существующий как единое целое. Всякая система имеет определенное назначение (функцию, цель). В составе системы имеются элементы и подсистемы, а структуру системы составляют связи и порядок связей;

– может быть элементом более крупной системы (надсистемы).

Система, элемент, структура.

Система – философская категория, обозначающая совокупность элементов, находящихся в устойчивых связях друг с другом и образующих целостность.

Элемент (лат. elementum – стихия) – часть, наряду с другими подобными частями составляющая некоторое целое, например, систему или множество.

Структура:

– строение и внутренняя форма организации устойчивых системы, выступающая как единство устойчивых взаимосвязей между её элементами, а также законов данных взаимосвязей;

– неотъемлемый атрибут всех реально существующих объектов и систем.

Содержание и форма.

Содержание – совокупность элементов, образующих вещь или явление.

Форма – совокупность относительно устойчивых отношений и связей элементов, образующих предмет или явление.

1.9.1 Классификация систем.

По предметной области:

– экологическая система – это весь материальный мир обитания человека;

– физические системы обеспечивают различные взаимодействия тел и полей;

– химические системы осуществляют непрерывный обмен веществ в природе, их преобразование;

– биологические системы координируют жизнедеятельность всех организмов и их отельных органов;

– социальные системы – это идеально-реальный мир, в котором живет человек (общество, государство, семья и т.д.);

– искусственные системы – это системы, созданные человеком в результате научно-технического прогресса.

По свойствам:

– динамические (статические) – выход (не)зависит от предыстории;

– детерминированные (стохастические) – есть (нет) повторяемость, нет (есть) случайности;

– линейные (нелинейные);

– стационарные (нестационарные) – нет (есть) изменения параметров во времени;

– дискретные (непрерывные) – выход системы изменяется во времени дискретно.

1.9.2 Свойства систем.

Главное свойство любой системы – возникновение «системного эффекта» (принципа эмерджентности), т.е. при объединении элементов в систему у системы появляются новые свойства, которыми не обладал ни один из элементов в отдельности.

Общие свойства систем:

– целесообразность – цель, функция, назначение системы;

– целостность – устойчивая взаимозависимость между элементами и системой в целом;

– изолированность – возможность выделять и рассматривать отдельно систему и элементы, образующие ее;

– устойчивость – способность системы функционировать и быть невосприимчивой к внешним возмущающим воздействиям;

– наблюдаемость – все без исключения входы и выходы системы контролируемы и наблюдаемы;

– делимость – в целях анализа система может быть условно разделена на отдельные элементы;

– агрегирование – объединение нескольких систем в единое целое;

– структурность (организованность) – это внутренняя упорядоченность, согласованность взаимодействия элементов системы, определенная структура связей между элементами системы.

Структура может определять:

а) пространственное взаиморасположение элементов (цепочка, кольцо, звезда, сеть);

б) жесткую иерархию или подчиненность элементов (иерархические системы);

в) хронологическую последовательность в системе событий или процессов (линейная, ветвящаяся, циклическая структура).

– иерархичность – наличие нескольких уровней и способов достижения целей соответствующих уровней, что порождает внутриуровневые и междууровневые конфликты в системе;

– связи – это то, что соединяет объекты и свойства в системном процессе в целое. Между элементами системы существуют связи, которые определяют интегративные качества системы. Связи между элементами системы должны быть более мощными, чем связи отдельных элементов с внешней средой;

– многофункциональность – это способность большой системы к реализации некоторого множества функций на заданной структуре, которая проявляется в свойствах гибкости, адаптации, живучести;

– гибкость – это свойство изменять цель функционирования в зависимости от условий функционирования или состояния подсистем;

– адаптивность – изменение целей функционирования при изменении условий функционирования;

– надежность – это свойство системы реализовывать заданные функции в течение определённого периода времени с заданными параметрами качества;

– безопасность – это способность системы не наносить недопустимые воздействия техническим объектам, персоналу, окружающей среде при своем функционировании;

– стойкость – это свойство системы выполнять свои функции при выходе параметров внешней среды за определенные ограничения или допуски;

– уязвимость – способность получать повреждения при воздействии внешних и (или) внутренних поражающих факторов;

– живучесть – это способность изменять цели функционирования при отказе и (или) повреждении элементов системы.

1.9.3 Виды систем.

Информационная система – это комплекс, состоящий из автоматизируемых процессов, технических и программных средств, устройств и персонала, обладающий возможностью удовлетворять установленным потребностям и целям.

Техническая система – это совокупность взаимосвязанных материальных частей (элементов), предназначенная для повышения эффективности деятельности человека (общества) и обладающая хотя бы одним свойством, которым не обладает ни одна из составляющих его частей.

Геоинформационная система – это современная компьютерная технология для картографирования и анализа объектов реального мира, а также событий, происходящих на нашей планете, в нашей жизни и деятельности.

Система автоматизации — это автоматизированная информационная система управлении, главная задача которой выработка и реализация управляющих воздействий на технологический объект управления в соответствии с принятыми критериями управления. Система автоматизации включает в себя технологическое оборудование, средства измерительной техники, средства автоматизации, оперативный персонал (операторы, технологи, диспетчеры), которые, взаимодействуя в реальном масштабе времени, управляют технологическим процессом по заданным алгоритмам.

Состояние системы, при котором ее свойства постоянны во времени и пространстве (отсутствуют потоки вещества и энергии), называют равновесным.

Равновесным (квазистатическим) является процесс, при котором система непрерывно проходит через ряд равновесных состояний вследствие бесконечно малых изменений параметров. Протекает бесконечно медленно.

Неравновесным (нестатическим) является процесс, при котором система выводится из состояния равновесия вследствие конечного изменения параметров, после чего стремится вернуться к нему.

Реальные природные и технологические системы неравновесны.

Контрольные вопросы.

1. Что такое процесс?
2. Что такое качество?
3. Что такое технология?
4. OLAP-технология.
5. Информационная технология.
6. Классификация информационных технологий.
7. Основные средства информационных технологий.
8. Информационные технологии обработки данных.
9. Информационно-коммуникационные технологии.
10. Свойства процессов.
11. Основные характеристики процесса.
12. Разновидности процессов.
13. Состояние процессов.
14. Процесс в многозадачной системе.
15. Операции над процессами.
16. Иерархия процессов.
17. Идентификация процессов.
18. Критические процессы.
19. Свойства объектов.
20. Примеры объектов.
21. Свойства систем.
22. Виды систем.

2 Организация как процесс, система и явление

Термин «организация» происходит от латинского «organizo» – сообщаю стройный вид, устраиваю.

Философия организации – это совокупность внутриорганизационных принципов, моральных и административных норм и правил взаимоотношений персонала, система ценностей и убеждений, воспринимаемая всем персоналом и подчиненная глобальной цели организации.

Семантически понятие «организация» по Ожегову С.И. означает, с одной стороны, организованность, хорошее планомерное, продуманное устройство, внутренняя дисциплина, с другой – общественное объединение или государственное учреждение.

Миссия организации («*девиз организации», «философия организации*», *«идеология организации», «деловое кредо»*) – это выраженное словесно основное социально значимое функциональное назначение организации в долгосрочном периоде.

Миссия (англ. mission) – одно из основополагающих понятий стратегического управления.

2.1 Организация как процесс

Организация как процесс – это:

– форма и порядок соединения труда с вещественными элементами производства в целях обеспечения выпуска высококачественной продукции, достижения высокой производительности труда на основе лучшего использования производственных фондов и трудовых ресурсов;

– деятельность по созданию или усовершенствованию взаимосвязей между частями и элементами с целью внесения упорядоченности в процессы и повышения их эффективности. Например: научная организация труда, организация учебного процесса;

– совокупность действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого. Регулируется законами о труде, процессуальным и уголовным кодексами.

Принципы рациональной организации процессов:

– поточность (конвейер);
– ритмичность;
– согласованность (по плану);
– параллельность;
– непрерывность (все операции должны быть выполнены);
– запас ресурса;
– экономичность и эффективность.

Организацию как процесс разделяют на:

– случайную и целенаправленную;

– последовательную и параллельную;
– ориентированную и программируемую;
– временную и постоянную;
– спонтанную и ожидаемую;
– общую и частичную.

В любой организации реализуются следующие ключевые процессы (рисунок 2.1):

1) Получение ресурсов из внешней среды.
2) Производство продукта.
3) Передача производственного продукта во внешнюю среду.

Цель организации как процесса отражает принятую в организации тенденцию развития, например, «Максимальное удовлетворение интересов и потребностей клиентов в качественной продукции».

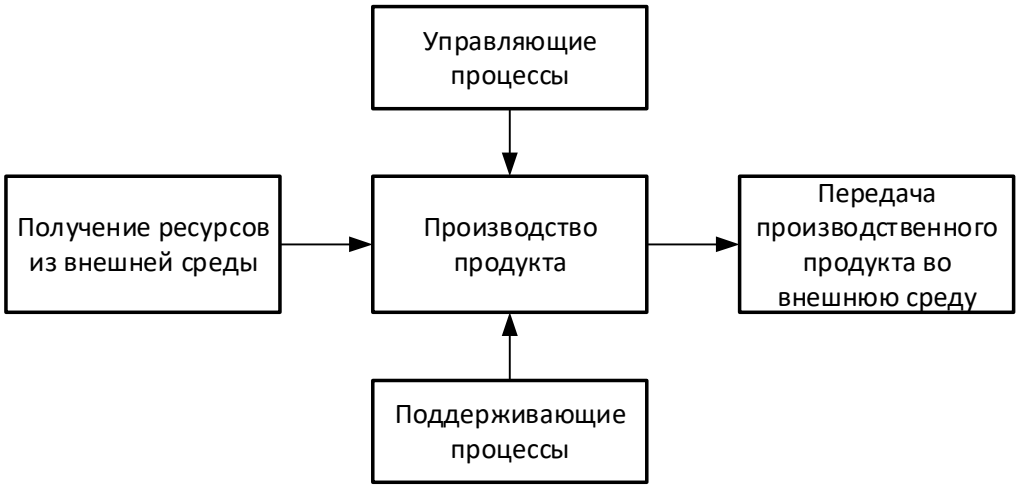


Рисунок 2.1 – Процессы организации

2.2 Организация как система

Организация как система – это:

– *живой организм,* постоянно обменивается информацией и энергией с окружающей средой;

– *открытая система*, элементы которой взаимодействуют друг с другом и с внешними институтами;

– представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых элементов, образующих единое целое;

– разновидность социальных систем, главным элементом которых является человек;

– относится к большому классу организационных систем: она является материальной, искусственной системой, создаваемой человеком по определенному плану для удовлетворения потребностей людей.

Организация как система живёт по законам:

1) Гомеостаза – каждая система стремится сохранить своё положение, каким бы оно ни было.

2) Развития – каждая система должна пройти свой жизненный цикл, включающий последовательную смену событий и стадий.

Жизненный цикл организации – совокупность стадий развития, которые она проходит за период своего существования. Цикл предсказуемых изменений с определенной последовательностью состояний в течение времени.

Можно видеть, что существуют отчетливые этапы, через которые проходит организация и что переходы от одного этапа к другому являются предсказуемыми, а не случайными.

Задача руководителя состоит в том, чтобы понять, каковы причины перехода конкретной организации от одной стадии к другой. Запланирован ли этот переход заранее или является реакцией на изменения, происходящие во внешней среде?

В качестве окружающей среды организации выступают:

1) Политическая система – конституционная основа, форма собственности, законодательство, политическая ситуация.

2) Экономическая система – уровень жизни, капитал, поставщики, потребители, конъюнктура, цены.

3) Социальная система – социальные нормы, этнические нормы, социальные воззрения.

4) Технологическая система – развитие науки, развитие технологий.

5) Ресурсная система – рабочая сила, природные ресурсы, инфраструктура, территориальное положение.

Каждая стадия жизненного цикла имеет специфические особенности.

Внешние условия деятельности организации включают также конкурентную среду, которая представляет собой совокупность организаций, соревнующихся за распределение ресурсов в широком смысле слова.

Поэтому в такой системе предполагается наличие механизма внутреннего функционирования и механизма связи с внешней средой.

Организация как производственная система (рисунок 2.2) является открытой системой, поскольку взаимодействует с внешней средой (рисунок 2.3). Она получает из внешней среды ресурсы в виде сырья, энергии, капитала, рабочей силы, информации и т.д., которые становятся элементами ее внутренней среды. Часть полученных ресурсов с помощью определенных технологий перерабатывается, преобразуется в продукцию и услуги, которые передаются во внешнюю среду.

В процессе производства продукта образуется новая стоимость, т.е. происходит процесс добавления ценности к тому, что перерабатывается. Добавленная стоимость является источником жизнедеятельности и развития любой организации, ориентированной на прибыль.

Внешняя среда организации неопределенна и изменчива.

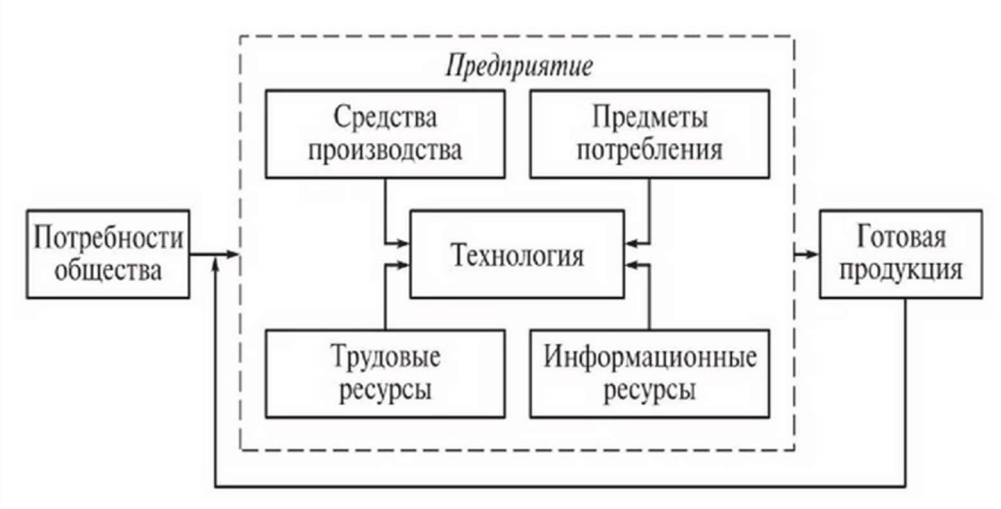


Рисунок 2.2 – Организация как производственная система

Организации свойственны *статика и динамика.*

Статика (от греч. Statike – равновесие) – это уравновешенное состояние организационной системы, в котором она находится независимо от изменений, происходящих во внешней среде. Все показатели деятельности организации остаются неизменными в течение длительного времени. Такие организации без изменений и перспектив развития не могут долго держаться «на плаву».

Динамика (от греч. dynamis – сила) – это развитие организационных систем и их поступательное движение вперед к новым целям под влиянием приложенных к ним воздействий (сил). Для динамически развивающихся организаций характерно стремление постоянно наращивать темпы своего развития, осваивать новые технологии, увеличивать выпуск продукции, расширять круг решаемых задач, осваивать новые рынки с целью получения дополнительной прибыли.

Рисунок 2.3 – Структура организации как системы

Свойства организации как системы.

Организация обладает теми или иными свойствами, характерными для нее с тех или иных позиций.

Во-первых, организация – это система, а значит, для организации характерны общие системные свойства:

– открытость (возможность обмена веществом и энергией);
– самоорганизация и управляемость;
– разнообразие структурных элементов;
– эволюционирование;
– адаптивность (реакция на воздействие);
– структурированность;
– эмерджентность (несводимость целого к сумме отдельных частей);
– неравномерность (скачкообразность развития);
– самосохранение;
– динамичность;
– возможность моделирования.

Во-вторых, организация – это социальная система, а значит, для организации характерны общие организационные свойства.

В-третьих, организация всегда конкретна, а значит, имеют место специфические свойства организации, характерные именно для того или иного рода деятельности.

Это сообщает ей ряд особых качеств:
– способность к целеполаганию;
– уникальность;
– непредсказуемость;
– способность противостоять энтропийным тенденциям;
– способность адаптироваться к изменяющимся условиям.

2.3 Организация как явление

Организация как явление основана на мотивированных документах, касающихся развития компании: бизнес-план, тексты различных задач, лозунги и призывы.

Организация как явление – физическое объединение реальных элементов для выполнения цели и является средой деятельности менеджера.

Организация как социальное явление – совокупность взаимодействующих социальных групп и отношений между ними, возникающих в процессе деятельности по достижению намеченной цели. Взаимодействие людей в организации порождает силу, которая обладает следующими характеристиками:

– имеет совершенно иную природу, чем сила отдельного индивида;
– она больше, чем сумма сил отдельных индивидов;
– эта сила и есть «социальное», которое, превращаясь в самостоятельную силу, начинает затем регулировать поведение людей, собранных в данную организацию, которые ее и создали;
– в организации этой силой можно управлять, ей можно придать направление, например, с ее помощью можно созидать, с ее помощью можно и разрушать созданное, потерять достигнутое, в том числе и саму организацию.

Любая организация имеет свою социальную структуру. По А. Файолю, любая организация состоит из двух частей: материального организма и социального организма. Основная проблема управления организацией – это обеспечение ее эффективного функционирования. А. Файоль видит решение этой проблемы в том, чтобы обеспечить соответствие социальной и материальной структуры организации, ее цели, ресурсам и потребностям.

Социальная структура организации – это совокупность социальных групп и отношений между ними, возникающих в процессе взаимодействия по реализации цели организации.

Отношения между социальными группами в организации основываются, главным образом, на социально-классовых отношениях, господствующих в обществе в целом; в то же время отношения между социальными группами в организации имеют свои специфические особенности. Социально-классовые отношения, существующие в обществе, не составляют простую сумму отношений, функционирующих в организации, хотя социальные группы в организации и отношения между ними одновременно находятся и в обществе.

2.4 Самоорганизация

Самоорганизация:

– процесс упорядочения элементов одного уровня в системе за счёт внутренних факторов, без внешнего специфического воздействия (изменение внешних условий может также быть стимулирующим либо подавляющим воздействием);

– отличается от процесса организации тем, что сущность процесса объясняется уже природой самой системы (а не действием внешних факторов). Организация как система называется самоорганизующейся, если она без дополнительного воздействия извне, обретает определенную пространственную, временную и функциональную структуру;

– как феномен, свойственный открытым системам, и изучается синергетикой;

– (в широком смысле) – тенденция развития природы от менее сложных к более сложным и упорядоченным формам организации материи;

– (в узком смысле) – спонтанный переход открытой неравновесной системы от простых неупорядоченных форм к более сложным упорядоченным;

– основывается на положительной обратной связи, в отличие от динамического равновесия систем, которое опирается на отрицательную обратную связь;

– создание, совершенствование, воспроизводство самой себя без участия внешних сил;

– может рассматриваться и как процесс, и как явление. Как процесс самоорганизация заключается в формировании, поддержании или ликвидации совокупности действий, ведущих к созданию устойчивых связей и отношений

в системе на основе свободного выбора правил и процедур. Как явление самоорганизация представляет собой набор элементов, служащих для реализации программы или цели. В зависимости от объекта выделяют техническую, биологическую и социальную самоорганизацию (рисунок 2.4).

Особенности самоорганизации:

1) Сильный рост флуктуации – предвестник новой структуры.
2) Упорядоченная структура возникает внезапно (пороговый характер).

Условия самоорганизации:

1) Система должна быть открытой и иметь приток энергии и вещества извне.
2) Наличие флуктуации. Процесс возникновения и усиления порядка через флуктуации характеризуется как принцип самоорганизации.
3) Открытая система должна находиться вдали от точки термодинамического равновесия.

Техническая самоорганизация как процесс представляет собой автоматическую смену программы действия при изменении свойств управляемого объекта, цели управления или параметров окружающей среды (например, система самонаведения ракет, самонастройка программных ресурсов современных вычислительных систем). Техническая самоорганизация как явление – это набор альтернативных интеллектуальных адаптивных систем, обеспечивающих заданную работоспособность вне зависимости от условий функционирования (например, набор дублирующих устройств средств связи, пожаротушения и др.). Такая самоорганизация происходит в случае выхода из строя какого-либо устройства. Тогда на смену ему подключается другое дублирующее устройство или новая схема взаимодействия элементов.

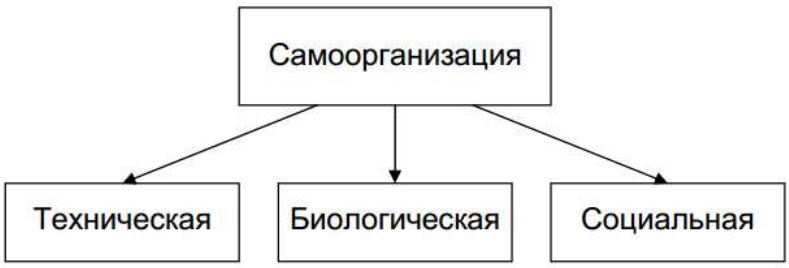


Рисунок 2.4 – Направления самоорганизации

Биологическая самоорганизация как процесс представляет собой действия, основанные на генетической программе сохранения вида, и призвана обеспечить соматическое (телесное) построение объекта. Как явление биологическая самоорганизация – это конкретные изменения в живой природе (мутации) для приспособления к конкретным условиям существования.

Социальная самоорганизация как процесс основана на деятельности по гармонизации общественных отношений, включающей действия по изменению

приоритетов потребностей и интересов, ценностных установок, мотивов и целей человека и коллектива. Носителями социальной самоорганизации являются люди с повышенной социальной ответственностью. Социальная самоорганизация является чертой характера человека, наряду с отзывчивостью, чуткостью, скромностью, смелостью и др. Она может быть врожденной или приобретаемой за счет воспитания и учета моральных норм общества. Социальная самоорганизация реализуется через: самовоспитание, самообучение и самоконтроль (рисунок 2.5).

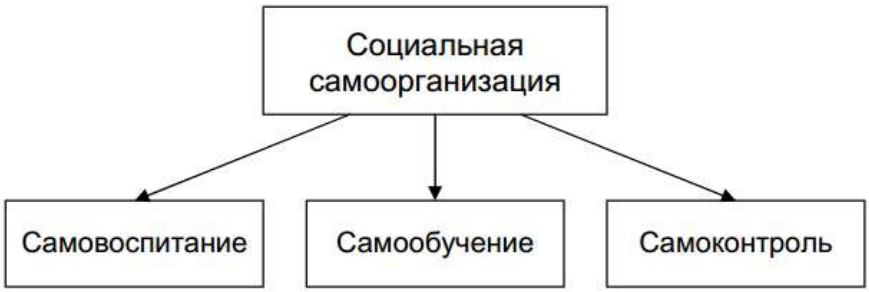


Рисунок 2.5 – Виды социальной самоорганизации

Примерами процессов самоорганизации в:

– природе являются самоопыление растений, рост кристаллов, автоколебательные процессы, турбулентное течение жидкости;

– в обществе – переход от одного классового строя к другому посредством революций, конфликтов между классами.

Самоорганизующейся можно назвать и частную коммерческую фирму, которая, в отличие от государственной, сама выбирает вид деятельности, цели, задачи, свою структуру. На развитие процессов самоорганизации существенное влияние оказывают эволюционные преобразования, происходящие не только в живой и неживой природе, но и в обществе. Если в ходе биологической эволюции происходит наследование и передача чисто генетических свойств и факторов, то в процессе социальной эволюции передаются навыки, знания, правила поведения и другой социальный опыт, т.е. социально-культурные традиции. Вместе с тем, и биологические, и социальные изменения обусловлены состоянием окружающей среды и являются результатом приспособления к ней как живых организмов, так и социальных форм их существования.

Выделяют три типа процессов самоорганизации:

– процессы самозарождения системы (например, развитие многоклеточных организмов из одноклеточных);

– процессы поддержания определенного уровня организации (например, механизм гомеостаза (поддержание внутренней среды живого организма на постоянном уровне);

– процессы совершенствования и саморазвития системы (развитие человека, социальных организаций). Если самоорганизация в природе исключает в принципе организацию и в этом смысле совпадает с организацией, то в обществе, где действуют люди, обладающие сознанием, самоорганизация дополняется внешней организацией, которая направляется сознанием и волей людей.

2.5 Синергетика – теория самоорганизации, саморазвития открытых систем

Синергетика (от греч. synergetikos – совместный, согласованно действующий):

– учение об эффектах совместных действий элементов в открытых сложных системах, которые подчиняются принципу «порядок из хаоса»;

– представляет собой теорию из самоорганизации нелинейных динамических сред, задающая новую матрицу видения объекта в качестве сложного;

– междисциплинарное научное направление, изучающее процессы самоорганизации, устойчивости, распада и возрождения самых разнообразных структур живой и неживой природы, далеких от термодинамического равновесия.

Возникновение синергетики как научного направления датируется 1969 годом, когда немецкий физик Герман Хакен впервые ввел этот термин в своих лекциях в Университете Штутгарта.

Развитие синергетики связывают с именами таких известных ученых, как И. Пригожин (лауреат Нобелевской премии), Г. Хакен, С.П. Курдюмов и др.

Основа синергетики – термодинамика неравновесных процессов, теория случайных процессов, теория нелинейных колебаний и волн.

Математический аппарат синергетики разработан в рамках теории нелинейных дифференциальных уравнений (в этой связи часто используют термины «теория катастроф», «теория хаоса»).

В современных условиях синергетика признана как один из основных методов философии. В философском отношении синергетика примыкает к диалектике и признает:

– самодвижение свойством всей материи;

– качественные скачки и подчеркивает их роль в развитии систем;

– необратимость всех реальных процессов.

Ключевые идеи синергетики – самоорганизация, открытые системы, нелинейность.

Синергетику можно рассматривать как современный этап развития идей кибернетики (Н. Винер, У.Р. Эшби) и системного анализа, в том числе построения общей теории систем (Л. фон Берталанфи).

Основные понятия синергетики:

– самоорганизация;
– открытость;
– диссипативность;
– нелинейность;
– аттрактор;
– бифуркация;
– флуктуация;
– порядок;
– хаос;
– синергия.

Открытость.

Открытые – это такие системы, которые поддерживаются в определенном состоянии за счет непрерывного притока вещества, энергии и информации. Это необратимые системы.

В открытой неравновесной системе флуктуации могут привести к образованию диссипативных структур – самопроизвольному выстраиванию структуры на микроуровне в результате согласованного взаимодействия элементов.

Самоорганизующиеся системы – это системы неравновесные.

Диссипация (лат. - рассеяние) – переход энергии упорядоченного движения в энергию хаотического движения (теплоту):

– необходима для формирования паттернов в открытых системах (И. Пригожин). Паттерн (англ. - pattern) – модель или шаблон, образец или пример, рисунок или узор, система или структура.

Диссипативность:

– особое динамическое состояние неравновесной системы, при котором возможно спонтанное формирование новых структур, переход от хаоса к новому порядку и организации;

– качественно своеобразное макроскопическое проявление процессов, протекающих на микроуровне.

Диссипативная система – это открытая система, которая оперирует вдали от термодинамического равновесия. Иными словами, это устойчивое состояние, возникающее в неравновесной среде при условии диссипации (рассеивания).

Диссипативные структуры:

– пространственно-временные структуры, которые могут возникать вдали от равновесия в нелинейной области при критических значениях параметров системы;

– устойчивые пространственно неоднородные структуры, возникающие в результате развития неустойчивостей в однородной неравновесной диссипативной среде;

– возникают как энергетически более экономные, выгодные образования в сильно неравновесных условиях, поскольку при этом производство энтропии

(неупорядоченности) и соответствующая диссипация энергии минимальны (И. Пригожин).

Этим обусловливается и экономичность матрицы, предпочтительность самоорганизации именно по такому пути.

Разрастание диссипативной структуры связано с понятием фракталов. Главное свойство – подобие (любой малый фрагмент аналогичен более крупной части и объекту в целом).

Нелинейность.

В отличие от стабильных и неравновесных систем, не способных к самоорганизации, нелинейные системы влияют на среду таким образом, что в среде вырабатываются условия, которые вызывают изменения в самой системе.

Нелинейность:

– (в узком смысле) – понятие, обозначающее процессы, описываемые нелинейными уравнениями, которые могут иметь несколько качественно различных решений.

– (в широком смысле) – указание на многовариантность, альтернативность и необратимость возможных путей эволюции системы.

Аттрактор (англ. attract – привлекать, притягивать):

– компактное подмножество фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого стремятся к нему при времени, стремящемся к бесконечности;

– это относительно устойчивое состояние системы, по направлению к которому протекают процессы самоорганизации в нелинейных средах;

– как бы притягивает к себе все множество траекторий развития, возможных после точки бифуркации;

– множество состояний (точнее – точек фазового пространства) динамической системы, к которому она стремится с течением времени.

Если фазовая точка, символизирующая состояние системы, вошла в область аттрактора, она уже не покинет его никогда.

Точечный аттрактор – аттрактор первой размерности, это *седловая точка*. В ней находятся в равновесии все виды энергии перед тем, как та или иная сила возобладает и направит энергию в ту или иную сторону.

Следующим типом аттрактора является *предельный цикл*, который имеет вид замкнутой кривой линии. Примером такого аттрактора является маятник, на который не влияет сила трения.

Странный аттрактор – один из видов аттракторов, фазовый портрет которого представляет собой некоторую ограниченную область, по которой происходят случайные блуждания. Следуя И. Пригожину, странный аттрактор можно назвать *«хаосом»*. *Странный аттрактор геометрически представляет собой фрактал.*

Фрактал (лат. fractus – дробленный, сломанный, разбитый) – математическое множество, обладающее свойством самоподобия, т. е. однородности в различных шкалах измерения. В математике под фракталами

понимают множество точек в евклидовом пространстве, имеющих дробную метрическую размерность (в смысле Минковского или Хаусдорфа).

Бифуркация (от лат. bifurcus «раздвоенный»):

– всевозможные качественные перестройки или метаморфозы различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят;

– это *точка ветвления* путей эволюции сложной системы: проходя точку бифуркации, система «выбирает» одно из возможных направлений дальнейшего развития;

– (в биологии) раздвоение, вилообразное разделение чего-либо на две ветви;

– (в механике, динамике) разветвление в траектории движения системы в определенной точке либо приобретение нового качества в движениях динамической системы при малом изменении ее параметров. Основы теории бифуркации заложены в начале XX века французским математиком А. Пуанкаре и русским математиком А.М. Ляпуновым, позднее эта теория получила развитие в школе русского радиофизика А.А. Андронова. В настоящее время теория бифуркаций находит применение в физике, химии, биологии и др. науках, в основном, междисциплинарных.

Точка бифуркации и ее свойства.

Точка бифуркации – критическое состояние системы, при котором система становится неустойчивой относительно флуктуаций (колебаний) и возникает неопределенность: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более дифференцированный и высокий уровень упорядоченности.

Свойства точки бифуркации:

– точка бифуркации имеет несколько точек аттрактора (устойчивых режимов работы), по одному из которых пойдет система; при этом заранее невозможно предсказать, какой новый аттрактор займет система;

– точка бифуркации существует кратковременно и разделяет более длительные устойчивые режимы развития.

Диаграмма, отражающая смену термодинамической ситуации в неравновесной системе. Линии на диаграмме символизируют различные типы поведения системы. Точка В – одна из точек бифуркации.

Флуктуация (лат. fluctuatio – беспокойное движение) – случайное отклонение значения физической величины от ее среднего значения.

Флуктуациям подвержены любые физические (и не только) величины, зависящие от случайных факторов. Количественная характеристика флуктуаций основана на методах математической статистики и теории вероятностей.

Мерой флуктуации величины x служит ее дисперсия σ_x^2, то есть средний квадрат отклонения величины x от среднего значения:

$$\sigma_x^2 = \overline{(x - \bar{x})^2}.$$

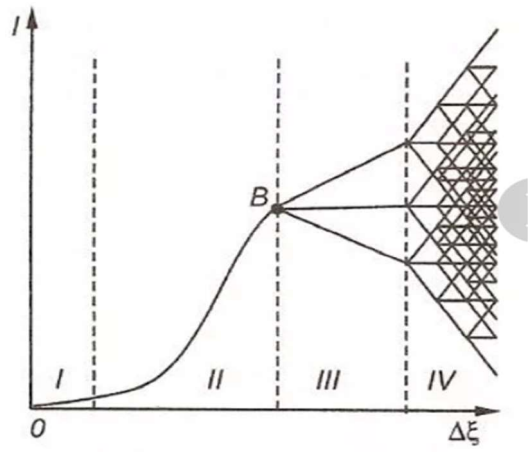


Рисунок 2.6 – Бифуркационная диаграмма

Эквивалентной мерой флуктуаций является среднеквадратическое отклонение, равное корню квадратному дисперсии, или его относительная величина, равная $\delta = \sigma_x / x$.

В открытых нелинейных средах случайное малое воздействие в точке бифуркации вызывает флуктуации, может привести к качественному новому результату. Случайность несет в себе некое творческое, конструктивное начало.

Электрические флуктуации (ЭФ) – хаотические изменения потенциалов, токов и зарядов в электрических цепях и линиях связи. ЭФ вызываются тепловым движением носителей заряда, физическими процессами в веществе, обусловленными дискретной природой электричества, а также случайными изменениями и нестабильностью характеристик цепей. ЭФ возникают в пассивных элементах цепей, в активных элементах (электронных, ионных и полупроводниковых приборах), а также в атмосфере, в которой происходит распространение радиоволн.

Порядок:

– гармоничное, ожидаемое, предсказуемое состояние или расположение чего-либо;

– ясная и четкая организация какой-нибудь сферы деятельности;

– последовательный ход чего-нибудь.

Хаос:

– это главный принцип мироустройства;

– беспорядочное, бесформенное, неопределенное состояние вещей;

– в обыденном смысле понимают как беспорядок, неразбериху, смешение;

– можно представить как «беспорядок множества порядков»;

– поведение, возникающее в сложных нелинейных, динамических системах;

– высшая степень порядка.

Теория хаоса – математический аппарат, описывающий поведение некоторых нелинейных динамических систем, подверженных, при определенных условиях, явлению, известному как хаос (динамический хаос, детерминированный хаос), который характеризуется сильной чувствительностью поведения системы к начальным условиям.

Хаос ≠ дезориентация.

Одним из инструментов теории хаоса, используемых для изучения феноменов, является фрактальная геометрия, способная описать естественные объекты.

Синергия (от греч. synergeia – сотрудничество, содружество, кооперация):

– совместное действие. В биологии – совместное действие каких-либо органов или систем;

– усиливающий эффект взаимодействия двух или более факторов, характеризующийся тем, что совместное действие этих факторов существенно превосходит простую сумму действий каждого из указанных факторов;

– совокупность представлений о механизмах самоорганизации систем;

– система методов организационного проектирования;

– взаимозависимое действие нескольких факторов в одном направлении.

Закон синергии. Любая сложная динамическая система стремится:

– получить максимальный эффект за счет своей целостности;

– максимально использовать возможности кооперирования для достижения эффектов.

Синергетический эффект – это возрастание эффективности деятельности в результате интеграции, слияния отдельных частей в единую систему за счет системного эффекта (эмерджентности).

Примеры социальной эмерджентности: сложение усилий (рисунок 2.7).

Рисунок 2.7 – Картина Ильи Репина «Бурлаки на Волге»

Контрольные вопросы.

1. Понятие организации.
2. Организация как процесс.
3. Принципы рациональной организации процессов.
4. Ключевые процессы организации.
5. Организация как система.
6. Окружающая среда организации.
7. Статика и динамика организации.
8. Свойства организации как системы.
9. Организация как явление.
10. Что такое синергетика.?
11. Типы процессов самоорганизации.
12. Основные понятия синергетики?
13. Что такое бифуркация?
14. Что такое эмерджентность?

3 Промышленное производство как процесс

3.1 Что такое производство?

Производство (англ. production):

– процесс создания материальных жизненных благ – продуктов (изделий, энергии и услуг), необходимых для существования и развития человеческого общества;

– в экономическом смысле процесс создания человеческим трудом хозяйственных благ или предметов, служащих для удовлетворения человеческих потребностей;

– процесс создания полезного продукта (экономического блага);

– деятельность по использованию факторов производства для достижения поставленной цели;

– общественный процесс создания материальных благ и услуг, охватывающий как производительные силы общества, так и производственные отношения людей, т. е. по К. Марксу и Ф. Энгельсу «Всякое производство есть присвоение индивидуумом предметов природы в пределах определенной общественной формы и посредством неё».

Факторы производства – это ресурсы, которые участвуют в процессе производства товаров и услуг.

Основные факторы производства – *труд, земля, капитал и предпринимательские способности*.

Дополнительный фактор – *информация* и др.

Материальное производство как объект философского анализа.

Материально-производственная сфера имеет сложную структуру, включая материальное производство как ядро этой сферы – производственно-

региональный комплекс и материальную инфраструктуру (материальную базу науки, быта, образования и т.д.).

Таким образом, материально-производственная сфера – это сложное, многокачественное образование.

*Технология материального производ*ства – процесс, определяемый совокупностью средств и методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, нормы сырья или материала. Технология изменяет качество или первоначальное состояние материала.

Цель производства (желаемый результат):

– если задан объём используемых ресурсов, то цель – *получение максимального результата;*

– если известен результат, которого необходимо достичь, то цель – минимизация количества используемых ресурсов (факторов производства).

3.2 Состав и структура промышленного производства

В промышленном производстве можно выделить два существенно отличных класса: *добычу* исходного сырья и *переработку* сырья (полуфабриката) в готовый продукт. В процессе переработки готовым продуктом может быть и полуфабрикат, служащий исходным материалом для дальнейшей переработки. В свою очередь, каждый из этих классов-процессов имеет специфические стороны. Так, первый 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 (исходного) материала.

Транспортировка сырья, полуфабрикатов и готовой продукции может рассматриваться в качестве самостоятельного класса. Здесь можно выделить технологические и межпроизводственные или межотраслевые транспортные средства.

На рисунке 3.1 показана структура промышленного производства по указанному выше признаку.

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 технологиями бурения и откачки.

Подкласс получения продукции, связанной с процессами изменения агрегатного или физико-химического состава 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.

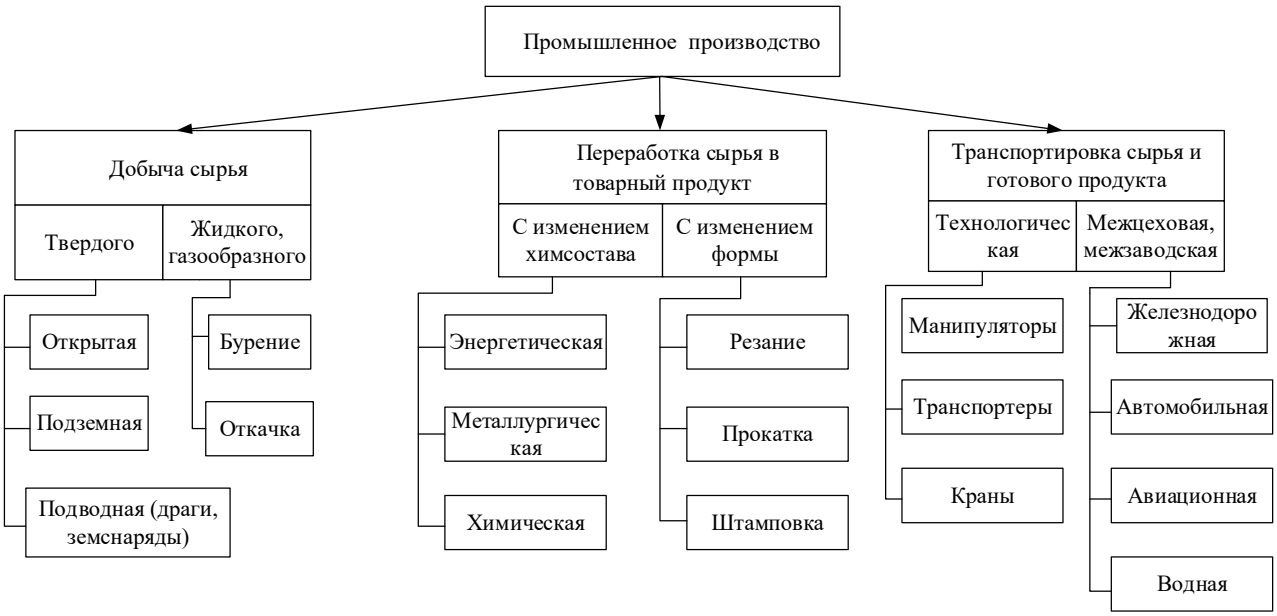


Рисунок 3.1 – Состав и структура промышленного производства

В данном случае технологическими объектами управления являются транспортные, дозирующие и массоизмерительные устройства, подготавливающие технологический процесс изменения агрегатного и физико-химического состава 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.

Объединение ряда производственных механизмов в общий технологический комплекс осуществляется с помощью транспортных средств и механизмов изменения ориентации изделия. Наиболее характерной машиной в таком производстве становится управляемый манипулятор - промышленный робот.

3.3 Производственный процесс

Производственный процесс:

– это совокупность взаимосвязанных и целенаправленных действий персонала предприятия по превращению сырья и материалов в готовую продукцию.

– взаимодействие средств труда, предмета труда и труда (рабочей силы) в соответствии с технологией с целью получения продукта, при этом средство труда, предмет труда и труд представляют собой ресурсы, которые в процессе взаимодействия овеществляются в продукте.

Основными элементами производственного процесса, определяющими характер производства, являются:

– специально подготовленный персонал;

– средства труда (машины, оборудование, здания, сооружения и т.д.);

– предметы труда (сырье, материалы, полуфабрикаты);

– энергия (электрическая, тепловая, механическая, световая, мышечная);

– информация (научно-техническая, коммерческая, оперативно-производственная, правовая, социально-политическая).

Рационально управляемое взаимодействие этих элементов формирует конкретный производственный процесс и составляет его содержание (рисунок 3.2).

Производство продукции является основой деятельности любого предприятия. Технология производственного процесса оказывает определяющее воздействие на организационную структуру предприятия и его производственных подразделений.

Определяющим в производственном процессе является *процесс труда* – целенаправленная деятельность человека, который с помощью средств труда (оборудование, инструмент, оснащение) видоизменяет предметы труда (входное сырье, материалы, полуфабрикаты), превращая их в готовую продукцию.

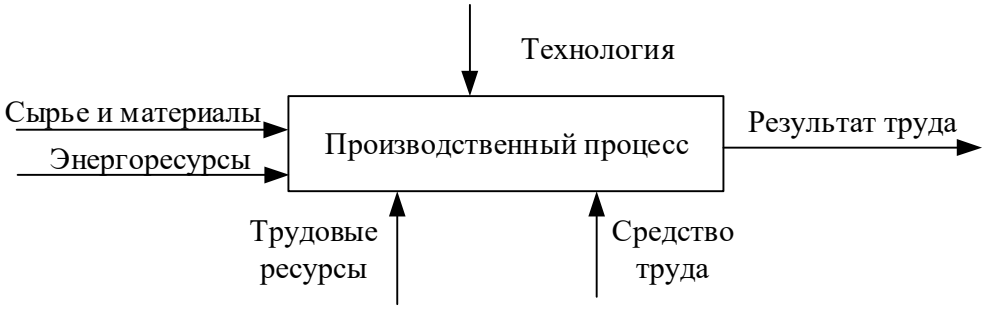


Рисунок 3.2 – Понятие производственного процесса

Естественные процессы осуществляются без непосредственного участия человека под влиянием сил природы (охлаждение, сушение и т.п.), но могут быть интенсифицированы с помощью искусственных условий, созданных специальными устройствами (например, камеры сушения).

Производственный процесс объединяет множество частичных процессов, которые направлены на изготовление готового продукта и которые можно классифицировать по определенным признакам.

В зависимости от роли в общем процессе изготовления готовой продукции различают основные, вспомогательные и обслуживающие производственные процессы (рисунок 3.3).

Основные – это технологические процессы, превращающие сырье и материалы в готовую продукцию, на выпуске которой специализируется предприятие.

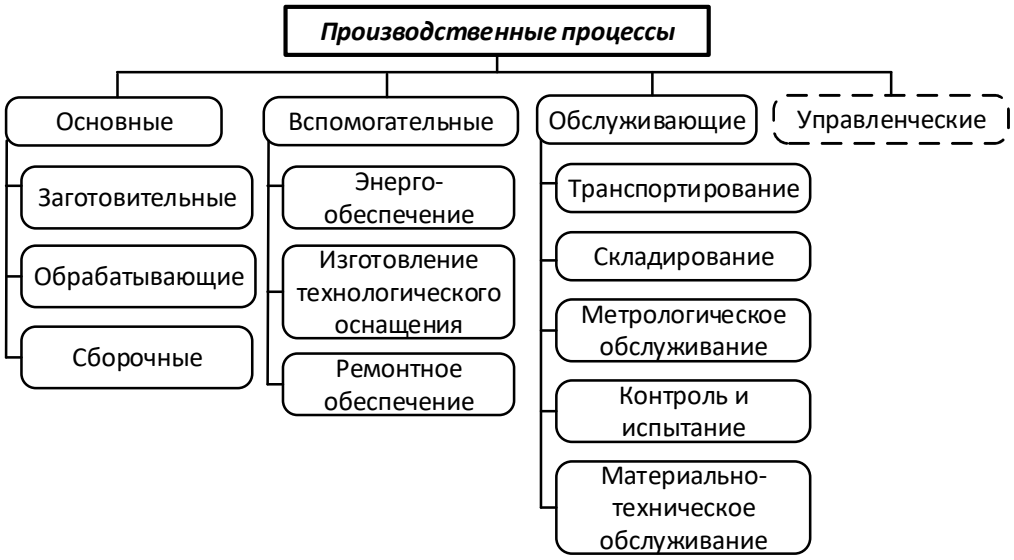


Рисунок 3.3 – Структура производственных процессов

Вспомогательные процессы – способствуют бесперебойному протеканию основных производственных процессов. Полученная продукция используется на предприятии для обслуживания основного производства.

Вспомогательные процессы направлены на изготовление или воспроизводство изделий, которые используются в основном процессе, но не входят в состав готового продукта (например, производство и передача энергии, пара, сжатого воздуха для своего производства; изготовление и ремонт инструмента, оснащение для собственных нужд; производство запасных частей для собственного оборудования и его ремонта и т.п.).

Структура и сложность вспомогательных процессов зависят от особенностей основных процессов и состава материально-технической базы предприятия. Увеличение номенклатуры, разнообразие и сложность готового продукта, повышение технической оснащенности производства вызывают необходимость расширения состава вспомогательных процессов: изготовления

моделей и специальных приспособлений, развития энергетического хозяйства, увеличения объема работ ремонтного цеха. Некоторые вспомогательные процессы (например, изготовление технологического оснащения) также могут состоять из заготовительной, обрабатывающей и сборочной стадий.

Обслуживающие процессы призваны создавать условия для успешного выполнения основных и вспомогательных процессов. К ним относятся меж- и внутрицеховые транспортные операции, обслуживание рабочих мест, складские операции, контроль качества продукции.

Управленческие процессы переплетаются с производственными, они связаны с разработкой и принятием решений, регулированием и координацией производства, контролем за точностью реализации программы, анализом и учетом проведенной работы. Поэтому некоторые специалисты относят управленческие процессы к специфическим производственным процессам.

3.4 Материальные и энергетические балансы производства

Материальный баланс – это отражение закона сохранения массы веществ в условиях производства. Согласно этому закону, масса исходных веществ (сырья), поступивших для участия в технологическом процессе, равна массе веществ (продуктов и отходов), образовавшихся в результате осуществления технологического процесса. Как правило, материальный баланс составляется на единицу целевого продукта.

Энергетический баланс – это количественное выражение закона сохранения энергии в ходе осуществления технологического процесса. Согласно этому закону, количество энергии, потребленной и выделяющейся в ходе процесса, равны. Как и материальный, энергетический баланс составляется на единицу целевого продукта.

Материальные и энергетические балансы имеют большое значение для анализа и эффективного осуществления производственного процесса. С их помощью устанавливают фактический выход продукции, коэффициенты полезного использования энергии, расходы и потери сырья, топлива и других материалов. По цифровым данным технологических балансов принимаются организационные и технические решения по совершенствованию работы оборудования, максимальному использованию, утилизации или регенерации материальных и энергетических ресурсов. Балансы весьма важны для составления рациональных схем технологического процесса и установления оптимальных размеров, мощности и производительности оборудования. Данные технологических балансов и выводы из их анализа широко используются технологами и экономистами при проектировании новых предприятий и улучшения работы существующих.

Составление технологических балансов производится в две стадии. Сначала составляют материальный, а затем на его основе – энергетический (или тепловой) баланс.

Материальный баланс является количественным выражением закона сохранения массы и применительно к отдельным стадиям производственного процесса означает, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию (приход), равна массе полученных веществ (расходу).

Материальный баланс составляется по уравнению суммарной химической реакции с учетом параллельных и побочных реакций. Однако из-за неточностей технико-химического анализа, погрешностей лабораторных измерений и неполного учета всех происходящих реакций материальный баланс, в конечном счете, имеет приближенный характер.

В большинстве случаев определение массы вещества производится отдельно для твердой, жидкой и газообразной фаз по формуле:

$$M_{ТП} + M_{ЖП} + M_{ГП} = M_{ТР} + M_{ЖР} + M_{ГР}, \quad (3.1)$$

где $M_{ТП}$, $M_{ЖП}$, $M_{ГП}$ – соответственно, массы твердых, жидких и газообразных материалов, поступивших на переработку, т. е. приход материалов;

$M_{ТР}$, $M_{ЖР}$, $M_{ГР}$ – масса продуктов, получившихся в результате химической переработки, расход.

Уравнение материального баланса составляется в пересчете на единицу готовой продукции, на единицу массы сырья или единицу времени.

Для составления материального баланса необходимо знать химический состав, некоторые физические и физико-химические свойства исходного сырья, отходов, основных и побочных продуктов.

Тепловой баланс (энергетический) является количественным выражением закона сохранения энергии. Применительно к тепловым процессам химической переработки этот закон формулируется таким образом: количество тепловой энергии, привнесенной в зону взаимодействия веществ, равно количеству энергии, вынесенной веществами из этой зоны. Равенство прихода и расхода теплоты выражается уравнением общего вида:

$$Q_{ф+} + Q_{э} + Q_{в} = Q_{ф-} + Q_{п}\,, \quad (3.2)$$

где $Q_{ф+}$ – физическая теплота, введенная в процесс с исходными веществами;

$Q_{э}$ – теплота переходов из одного агрегатного состояния в другое (испарение, конденсация и т. д.);

$Q_{в}$ – теплота, введенная в процесс извне (участия в химической реакции не принимает);

$Q_{ф-}$ – физическая теплота, выведенная из процесса с продуктами реакции;

$Q_{п}$ – потери теплоты в окружающую среду.

Тепловой баланс составляется на основании материального баланса, рассчитывается в кДж.

При составлении материального и энергетического балансов производства и технико-экономическом анализе рациональное использование теплоты нередко оказывается решающим фактором для оценки конкурентной способности и выбора наилучших способов производства одного и того же продукта.

Анализ и расчет технологии процессов производства, кроме данных материального и энергетического балансов, требует знания интенсивности процессов и аппаратов производства.

Закономерности интенсивности гидромеханических, тепловых, массообменных и химических процессов сформулированы в следующем виде: *скорость процесса прямо пропорциональна движущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению*. Величину, обратную сопротивлению, называют *коэффициентом скорости*.

Скорости движения материальных потоков существенно влияют на коэффициенты скорости различных процессов, поэтому вывод всех закономерностей интенсивности процессов основывается на законах движения материальных потоков.

3.5 Принципы организации производственного процесса

Принцип специализации означает закрепление за каждым подразделением и рабочим местом конкретных производственных операций. При этом операции подбираются по признаку технологической однородности.

Принцип пропорциональности – обеспечение равенства пропускных способностей всех подразделений предприятия по выпуску продукции.

Принцип параллельности обеспечивает параллельность изготовления продукции на одинаковых рабочих местах.

Принцип непрерывности позволяет в ряде производств обеспечивать технологическую непрерывность, например, аппаратные, аппаратурные процессы Непрерывность обеспечивается за счет четкого оперативно-календарного планирования.

Принцип прямоточности заключается в кратчайшем пути прохождения изделием всех стадий и операций – от запуска исходных материалов до выхода готовой продукции.

Принцип ритмичности – обеспечение выпуска в равные промежутки одного и того же или равномерно возрастающего количества продукции

Принцип автоматизации производства дает возможность замены тяжёлого и монотонного ручного труда.

3.6 Виды производства с позиции автоматизации

Непрерывное производство – это совокупность непрерывных технологических процессов, организованных в виде производственной линии, участка, цеха или предприятия в целом. К этому типу производства относятся металлургия,химические процессы, изготовление бумаги и пленок, нефтепереработка и т.д. Также процессы непрерывного обслуживания населения (электростанции, отопление, системы непрерывной очистки и пр.). Пример непрерывного производства стального листа приведен на рисунке 3.4.

Дискретное производство – это такой тип производства, в котором исходный материал (сырье) при переработке в конечный продукт проходит через конечное число технологических и сборочных операций.

Обычно начало и окончание операций определяются сигналами двухпозиционных датчиков. Дискретный тип производства преобладает в машиностроении, приборостроении, легкой промышленности, на предприятиях по выпуску мебели, упаковок, в фармацевтике и пр.

По данным Международной ассоциации инженеров-технологов, такое производство существует более чем на 75% промышленных предприятий мира. Даже там, где выпуск продукции носит исключительно непрерывный характер, в качестве вспомогательных присутствуют дискретные процессы.

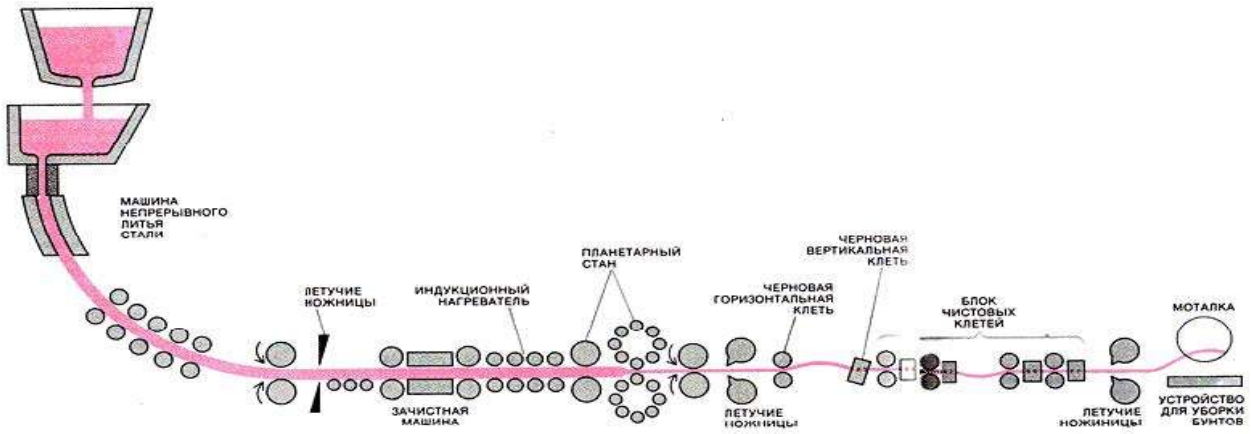


Рисунок 3.4 – Схема непрерывного производства стального листа

Пример дискретного производства приведен на рисунке 3.5.

Здесь автоматизированная система обеспечивает контроль, сортировку, учет, формирование отгрузочных партий, выходного контроля и создание базы данных комплектующих изделий, поступающих на предприятие с помощью RFID-меток. *Radio Frequency IDentification*, радиочастотная идентификация - способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах (*transmitter-responde* – передатчик-ответчик), т.е. RFID -метках.

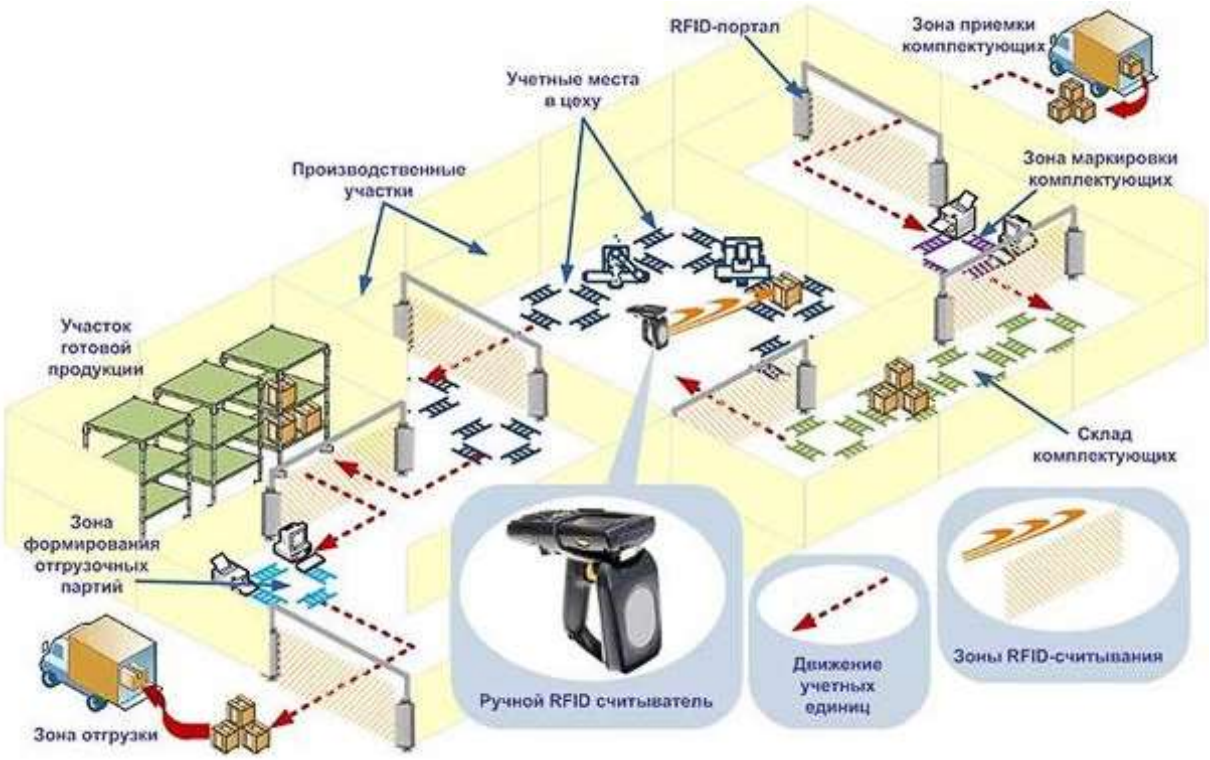


Рисунок 3.5 – Участок по сортировке и формированию партий комплектующих изделий

3.7 Виды производств с позиции объёма выпускаемой продукции

В зависимости от уровня концентрации, специализации и объёма выпускаемой продукции различают:

1) *Единичное* производство характеризуется широким ассортиментом продукции и малым объемом выпуска одинаковых изделий, зачастую не повторяющихся; нет специализации рабочего места; применяется универсальное оборудование, рабочие должны иметь высокую квалификацию; значительный объем ручных работ; высокая трудоемкость изделий и соответственно высокая их стоимость.

2) *Серийное* производство характеризуется изготовлением ограниченной номенклатуры продукции партиями (сериями), повторяющимися через определенные промежутки времени. В зависимости от размера серии различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производства. Особенности: можно специализировать рабочие места, наряду с универсальным применяется специальное оборудование, широко применяется труд рабочих средней квалификации; снижаются, по сравнению с единичным производством, расходы на заработную плату, а также стоимость изделий.

3) *Массовое* производство характеризуется изготовлением ограниченной номенклатуры однородной продукции в больших количествах в течение относительно продолжительного периода времени. Непременным условием массового производства является высокий уровень стандартизации и

унификации деталей, узлов и агрегатов. Можно узко специализировать рабочие места, применять специальное оборудование и технологическую оснастку, иметь высокий уровень механизации и автоматизации производства, применять труд рабочих невысокой квалификации. Массовое производство обеспечивает выпуск большого объёма продукции при низкой стоимости и хорошем качестве.

Контрольные вопросы.

1. Структура промышленного производства.
2. Состав промышленного производства.
3. Производственный процесс.
4. Основные элементы производственного процесса.
5. Основные, вспомогательные и обслуживающие производственные процессы.
6. Материальные и энергетические балансы производства.
7. Непрерывное производство.
8. Дискретное производство.
9. Виды производств с позиции объёма выпускаемой продукции.

4 Технологические процессы

Сущностью (основой) любого производственного процесса является технологический процесс. Технология есть содержание, а техника (оборудование) – форма, они составляют динамическое единство всякого производства.

4.1 Технологический процесс

Технологический процесс (ТП) – это:

– упорядоченная последовательность взаимосвязанных действий, выполняющихся с момента возникновения исходных данных до получения требуемого результата.

– основная часть (производственного процесса), содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. К предметам труда относят заготовки и изделия.

– совмещение технических, экономических и организационных задач, решаемых в данных производственных условиях.

Практически любой технологический процесс можно рассматривать как часть более сложного процесса и совокупность менее сложных (в пределе – элементарных) технологических процессов. Элементарным технологическим процессом или технологической операцией называется наименьшая часть технологического процесса, обладающая всеми его свойствами, то есть дальнейшая его декомпозиция приводит к потере признаков, характерных для метода, положенного в основу данной технологии.

Технологические процессы состоят из *технологических (рабочих) операций*, которые, в свою очередь, складываются из *технологических переходов.*

Технологический процесс охватывает работы, непосредственно связанные с превращением сырья в готовую продукцию.

Технологический процесс состоит из целого ряда производственных операций, которые выполняются в строго определенной последовательности. Производственной операцией называется часть технологического процесса, выполняемая на определенном рабочем месте определенным инструментом или на определенном оборудовании.

4.2 Классификация технологических процессов

Промышленное производство характеризуется разнообразием технологических процессов, которые представляют собой результат целенаправленной деятельности человека для получения определенных продуктов, предметов и материалов. По общепринятой классификации, основанной на кинетической (скоростной) закономерности процессов, различают:

– *гидромеханические процессы*. Их скорость j_r определяется законами гидродинамики:

$$j_r = \frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{R_1} = K_1 \Delta p,$$

где V – объем перемещаемой среды;

F – площадь сечения аппарата;

τ – время;

K_1 – коэффициент скорости процесса (величина, обратная гидравлическому сопротивлению R_1);

Δp – перепад давлений (движущая сила процесса).

К гидромеханическим процессам относятся процессы перемещения жидкостей и газов, осаждения, фильтрования, центрифугирования, псевдоожижения (процесс, при котором частицы зернистого слоя движутся в потоке жидкости или газа, но не покидают пределов слоя), перемешивания в жидких средах и др.;

– *тепловые процессы*, скорость j_T которых определяется законами теплопередачи:

$$j_T = \frac{dQ}{Fd\tau} = \frac{\Delta t}{R_2} = K_2 \Delta t,$$

где Q – количество переданной теплоты;

F – поверхность теплообмена;

K_2 – коэффициент теплопередачи (величина, обратная термическому сопротивлению R_2;

Δt – разность температур между обменивающимися теплотой материалами (движущая сила процесса).

К тепловым процессам относятся нагревание, охлаждение, кипение, конденсация, выпаривание и др. Скорость тепловых процессов в значительной степени зависит от гидродинамических условий (скоростей, режимов течения), при которых осуществляется перенос тепла между обменивающимися теплом средами;

– *массообменные* (диффузионные процессы), их скорость $j_{\text{м}}$, определяется скоростью перехода вещества из одной фазы в другую:

$$j_{\text{м}} = \frac{d\text{M}}{Fd\tau} = \frac{\Delta\text{c}}{R_3} = K_3\Delta\text{c},$$

где M – количество вещества, перенесенного из одной фазы в другую;

F – поверхность контакта фаз;

K_3 – коэффициент массопередачи (величина, обратная диффузионному сопротивлению R_3);

Δc – разность между равновесной и рабочей концентрациями вещества в фазах (движущая сила процесса).

К массообменным процессам относятся процессы абсорбции, ректификации, экстракции, адсорбции, сушки, кристаллизации и др.

Протекание процессов массообмена тесно связано с гидродинамическими условиями в фазах и на границе их раздела и часто – с сопутствующими массообмену процессами переноса тепла (теплообмена);

– *механические процессы*, скорость которых определяется законами физики твердого тела. К механическим относятся процессы измельчения, классификации, дозирования, смешивания твердых материалов, их перемещения и др.;

– *химические процессы*, связанные с превращением веществ и изменением их химических свойств. Скорость $j_{\text{х}}$, этих процессов определяется закономерностями химической кинетики:

$$j_{\text{х}} = \frac{d\text{M}}{V_p d\tau} = K_4 f(\text{c}),$$

где M – количество прореагировавшего в химическом процессе вещества;

V_p – объем реактора;

K_4 – коэффициент скорости химического процесса;

$f(\text{c})$ – движущая сила процесса, которая является функцией концентрации реагирующих веществ.

Химические (реакционные) процессы, которые протекают со скоростью, определяемой законами химической кинетики. Однако химическим реакциям обычно сопутствует перенос массы и энергии и, соответственно, скорость химических процессов (особенно промышленных) зависит также от гидродинамических условий. Вследствие этого скорость реакций подчиняется законам макрокинетики и определяется наиболее медленным из последовательно протекающих химического взаимодействия и диффузии. Общие закономерности протекания химических процессов и принципы устройства реакторов рассматриваются в специальной литературе.

4.3 Теоретические основы технологических процессов

Теоретическим фундаментом науки о процессах и аппаратах технологий являются следующие основные законы природы:

1) Законы сохранения массы, энергии и импульса допускают только такие превращения, при которых суммы массы, энергии и импульса внутри системы остаются неизменными (т. е. конечная сумма равна сумме в начальном состоянии). Законы сохранения принимают форму уравнений балансов (например, материального и теплового), составление которых является важной частью анализа и расчета химико-технологических процессов.

1) Законы термодинамического равновесия определяют условия, при которых процесс переноса любой субстанции (массы, энергии, импульса) приходит к своему завершению. Состояние системы, при котором необратимый перенос субстанции отсутствует, называют равновесным. Равновесное состояние описывается такими законами, как законы Генри, Рауля и др. Знание условий равновесия позволяет решать очень важные для анализа и расчета химико-технологических процессов задачи – определения направления процесса переноса (из какой фазы в какую переходит субстанция) и границ его течения, расчет движущей силы процесса.

2) Законы переноса массы, энергии и импульса определяют плотность потока любой из этих субстанций в зависимости от градиента, сопряженного с ней потенциала переноса, т. е. от удельной, отнесенной к единице объема потока массы, энергии или импульса. Потенциалом переноса в случае переноса массы является плотность (р) или концентрация (С), переноса энергии – энтальпия ($c_p$tp), переноса импульса – количество движения единицы объема жидкости (w_p).

Таким образом, законы переноса определяют интенсивность протекающих химико-технологических процессов и, в конечном счете, – производительность используемых для проведения этих процессов аппаратов.

Перечисленные законы составляют теоретическую основу всех технологических процессов – гидромеханических, тепловых и массообменных. При рассмотрении технологических процессов к этим законам следует добавить четвертую группу – законы химической кинетики.

4.4 Способы функционирования технологических процессов

В отраслях промышленности объектами управления являются технологические процессы и их составляющие – реакторы, колонны, печи, теплообменники, смесители, насосы, компрессоры, а также другие машины и аппараты.

Технологические процессы представляют собой первичное звено создания материальных ценностей, обеспечивая общество необходимой продукцией. В технологических процессах производится преобразование или перенос материалов, энергии и информации. В результате протекания технологического процесса из входного сырья получается выходной продукт, обладающий заданными свойствами.

Технологические процессы, протекающие в типовых объектах производств, можно представить в виде следующих операций: поступательное движение (транспортировка сырья, промежуточных и конечных продуктов); вращательное движение (процессы перемешивания сырья и исходных материалов); нагревание и охлаждение веществ в определенном объеме, заполнение или опорожнение сосуда веществом и т. д.

Современные технологические процессы отличает разнообразие технологии переработки сырья, которые по способу функционирования можно подразделить на непрерывные и периодические. Непрерывные ТП – это производства строго определенных продуктов. Назначением *периодических ТП* является производство ассортиментной продукции.

Производства строго определенных продуктов по способу функционирования классифицируются такими технологическими процессами, как непрерывные, непрерывно-циклические, непрерывно-периодические.

Непрерывные ТП на любом интервале времени характеризуются непрерывным:

– изменением переменных состояния каждого элемента технологического процесса и процесса в целом;

– перемещением материалов, энергии и информации в виде непрерывных потоков, обеспечивающих непрерывное функционирование объекта (в химической, пищевой, газовой промышленности и энергетике).

Материальные потоки, смешиваясь и взаимодействуя между собой или разделяясь на фазы (твердую, жидкую и газообразную, органическую и неорганическую и т.д.), приводят к получению готовой продукции или полуфабрикатов.

Непрерывно- циклические ТП характеризуют стационарные непрерывно-произвольные изменения состояний как отдельных процессов, так и процессов в целом.

В таких системах возможно и постоянство входных переменных, и переменных состояний в целом при циклическом изменении во времени как переменных состояний некоторых процессов, так и технологической топологии ряда подсистем. Примерами непрерывно-циклических ТП являются

подсистемы адсорбции сырья, регенерации теплоты внутренних технологических процессов системы и др.

Непрерывно-периодические технологические процессы периодически меняют во времени технологическую топологию системы, что ведет к изменению входных переменных и переменных состояния составляющих процессов и системы в целом. Структура таких систем состоит из непрерывных и периодических технологических процессов.

Примерами непрерывно-периодической системы являются технологические системы полимеризации винилхлорида из суспензии, процессы плавки медных концентратов, в которых реакторный блок и плавильные печи работают непрерывно, а технологические блоки демономеризации и сушки поливинилхлорида и конвертеры работают периодически.

Производства многоассортиментной продукции широко распространены в химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, фармацевтической, машиностроительной, легкой и полиграфической промышленности.

Эти производства имеют множество видов перерабатываемого уникального сырья с целью получения изменяющегося ассортимента малотоннажной продукции. Малотоннажное производство сложно – с присущими для него неоднозначностью маршрутов химического синтеза продуктов и физических процессов, разнообразием типов конструкции аппаратов многофункционального назначения, наличием множества вспомогательных организационно-технических операций (загрузка, выгрузка, очистка аппаратов, пуск, останов и др.).

Периодические технологические процессы характеризуются периодическим законом изменения во времени входных переменных технологических процессов и системе целом.

С целью согласования во времени режимов работы отдельных процессов в технологическую систему вводятся промежуточные устройства, резервуары и емкости. Периодические процессы подразделяются на индивидуальные, совмещенные и гибкие.

Индивидуальные технологические процессы выпускают один вид продукции в зависимости от сырья с использованием одних и тех же элементов при жестких технологических связях и режимах функционирования. В таких системах продукция производится партиями, например, выпуск эпоксидных смол, красителей и др.

Совмещенные многоассортиментные технологические процессы в отличие от индивидуальных позволяют выпускать в различные периоды времени несколько видов продуктов. Для этих процессов характерны высокие значения коэффициентов использования технологического оборудования и возможность применения крупнотоннажных установок.

Совмещенные периодические процессы имеют ряд недостатков:

– необходимость останова оборудования для промывания и очистки при переходе на выпуск другого ассортимента продуктов;

– риск загрязнения одного продукта другим;

– потери продукции при смене ассортимента;

– трудности подбора оптимального ассортимента выпускаемых продуктов и выбора оборудования из-за различия режимов технологических процессов при производстве разных продуктов.

Несмотря на приведенные трудности, такое производство экономически целесообразно при оптимально организованных процессах, в частности, для производства химических реактивов, органических красителей, пестицидов и др.

Гибкие многоассортиментные технологические процессы позволяют выпускать в различные периоды времени, с использованием определенного набора технологических операций, различные сочетания нескольких видов продуктов. Такие процессы предоставляют возможность существенно интенсифицировать и повысить технико-экономические показатели производств малотоннажных продуктов.

Ресурсосбережение – это взаимосвязанная совокупность научно-методических, технологических, инженерно-технических, экономических и организационно-хозяйственных мероприятий, направленных при производстве разнообразных продуктов на сбережение и рациональное использование природных ресурсов; на значительное повышение степени переработки и резкое сокращение потерь материальных ресурсов; наиболее полную рекуперацию вторичных материальных ресурсов и отходов, что приводит к существенному росту экономической эффективности промышленного производства и предотвращает его вредное воздействие на окружающую среду.

Ресурсосберегающий ТП – это ТП, не оказывающий вредного воздействия на окружающую среду и обеспечивающий минимальную материалоемкость выпускаемых продуктов заданного количества и требуемого качества.

Ресурсосберегающие ТП представляют собой сложные многоконтурные ТП, в структуру которых входят высокоэффективные и высокоинтенсивные аппараты технологий. Важнейшим классом ресурсосберегающих и малоотходных ТП являются химико-энерготехнологические процессы.

Химико-энерготехнологические процессы – это такие ТП, в которых различные процессы, осуществляющие химические и физические преобразования веществ с выделением и поглощением большого количества теплоты, тесно взаимодействуют с определенными теплотехническими и теплоэнергетическими процессами, что обеспечивает требуемый выпуск высокотехнологичной качественной.

Одним из важных направлений ресурсосбережения в промышленности является *энергосбережение.* Энергосбережение достигается в результате реализации в промышленности: научно обоснованных оптимальных удельных норм расхода топлива, тепловой и электрической энергии для производства различных видов продукции; способов ликвидации потерь ресурсов; утилизации вторичных энергоресурсов: способов комбинированной выработки

энергии (технологического пара и электроэнергии); организационно-хозяйственных мероприятий по рациональному расходованию всех видов ресурсов на предприятиях; в результате применения современных термодинамических принципов и методов синтеза высокоэффективных химико-энерготехнологических процессов, а также прогрессивного производственного опыта. Ресурсосбережение представляет собой одну из главных концепций безотходной технологии.

Безотходная технология – это идеальный способ промышленного производства разнообразных видов продукции, обеспечивающий сбережение и наиболее рациональное использование всех компонентов природных ресурсов, практически полностью исключающий образование отходов и не наносящий ущерба окружающей среде. Безотходная технология позволяет создавать принципиально новые антропогенные безопасные для окружающей среды глобальные ресурсные циклы, которые включают взаимосвязанную совокупность различных перемещений природных веществ, используемых человеком на различных этапах развития общества.

4.5 Особенности технологической топологии процессов

Разнообразие технологических процессов промышленности можно подразделить, исходя из особенностей технологической топологии, по видам элементов и типам технологических связей. Выделяют однородные и неоднородные, в зависимости от видов элементов, входящих в структуру процесса.

Однородные ТП объединяют один вид элементов, в которых протекают одинаковые технологические процессы и они, как правило, соответствуют технологическим блокам производства. Например, однородным ТП являются реакторные системы, электрофильтры, теплообменные системы, системы ректификации многокомпонентных смесей, системы абсорбции, экстракции др. Неоднородные ТП включают в себя виды элементов, в которых протекают различные технологические процессы. Эти ТП соответствуют либо технологическим узлам или участкам производства.

Технологическую топологию ТП отражают, используя разнообразные схемы – технологические, структурные и функциональные.

Типы технологических связей.

В основе любого современного производства лежит определенная химико-технологическая система (ХТС). Рассмотрение схем ХТС показывает, что существует определенное взаимодействие между отдельными элементами ХТС.

Выбор той или иной технологической связи между элементами определяется требуемыми свойствами ХТС, технологическими и технико-экономическими показателями функционирования ХТС.

Различают следующие технологические связи:

1) Последовательная технологическая связь.

2) Параллельная технологическая связь.
3) Последовательно-обводная технологическая связь (байпасная).
4) Обратная технологическая связь (рециркуляционная).
5) Комбинированная.

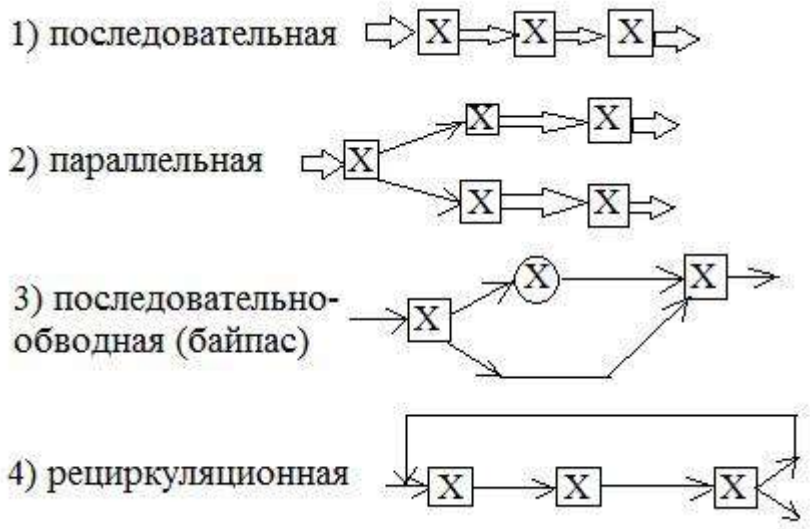


Рисунок 4.1 – Типы технологических связей

1. *Последовательная технологическая связь* – типичная схема с открытой цепью, характерна тем, что выходящий из элемента ХТС поток целиком поступает в следующий элемент, т.е. выходящий из элемента поток является входящим для следующего.

Все технологические потоки пребывают в элементе только один раз и не возвращаются в него.

2. *Параллельная технологическая связь***.** Такая связь, когда выходящий из первого элемента поток разбивается на несколько параллельных подпотоков. Выходящие из элементов потоки могут объединяться в один поток, а могут выходить из системы раздельно. Через каждый аппарат поток проходит один раз.

Данный тип связи применяется в следующие случаях:

1) Для повышения мощности, надежности ХТС (мощность увеличивается с увеличением количества работающих элементов; в случае поломки, неисправности или выхода из строя одного элемента ХТС будет продолжать работать).

2) При параллельном получении на базе одного исходного вещества двух или нескольких продуктов.

3. *Последовательно-обводная технологическая связь (байпасная).* Эта связь характеризуется тем, что часть технологического потока минует один или несколько аппаратов по ходу технологической схемы. Байпас позволяет эффективно управлять температурным и концентрационным режимами работы аппаратов.

Поступающий в систему поток m1 называется прямым. Он разветвляется на 2 части: m2 – поступает в аппарат – это главный поток; он определяет ход процесса в реакторах; другая часть потока m3 (побочный поток) обходит аппараты и соединяется с главным потоком. Направления потоков совпадают. Каждый поток проходит через элементы только один раз.

4. *Рециркуляционная технологическая связь.* Характеризуется наличием рециркуляционного потока (обратного), связывающего выход последующего элемента ХТС со входом предыдущего. Эта связь предусматривает многократное возвращение потока в один и тот же элемент системы.

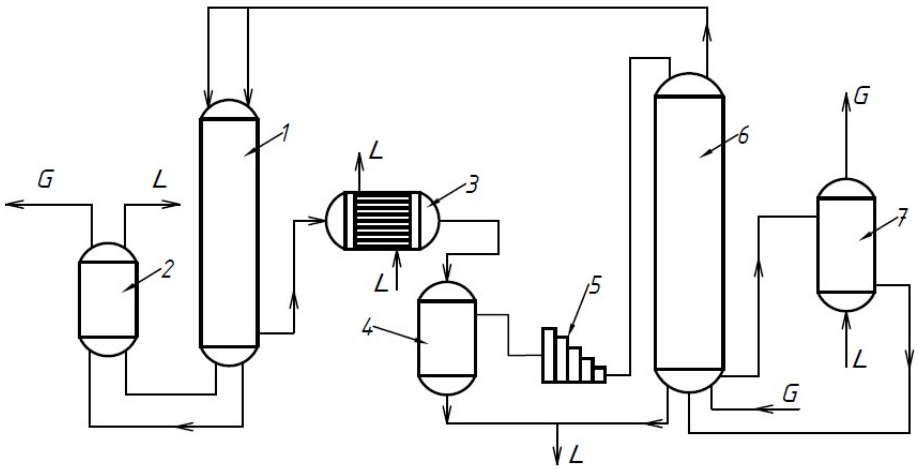
Обратный поток может огибать как один элемент, так и несколько. Поступающий в рециркуляционный контур поток m1 называется прямым,

Если ХТС содержит хотя бы одну обратную связь, то такая система является *замкнутой (циклической*).

Разомкнутые ХТС – системы с открытой цепью, могут включать последовательную, параллельную, последовательно-обводную (байпасную) технологические связи.

5. *Комбинированные ХТС* – включают различные типы технологических связей, что увеличивает эффективность работы ХТС. В большинстве существующих ХТС характер технологических связей представляет собой сложную комбинацию уже рассмотренных типовых связей. В этом мы убедимся при изучении схем производств различных веществ.

Технологическая схема ТП – это чертеж, на котором каждый элемент системы представлен в виде стандартного графического изображения, а технологические связи даны в виде направленных линий.



1 – колонна синтеза; 2 – паровой котел; 3 – холодильник; 4 – сепаратор; 5 – турбоциркуляционный компрессор; 6 – конденсационная колонна; 7 – испаритель; G – поток газа; L – поток жидкости.

Рисунок 4.2 – Технологическая схема ТП синтеза аммиака

На чертеже приводятся краткие сведения о химических формулах, составах технологических потоков и некоторые сведения о свойствах веществ, участвующих в технологическом процессе.

Структурная схема ТП – это чертеж, на котором каждый элемент ТП упрощенно изображается в виде блока, имеющего входы и выходы, технологические связи между элементами в виде направленных линий.

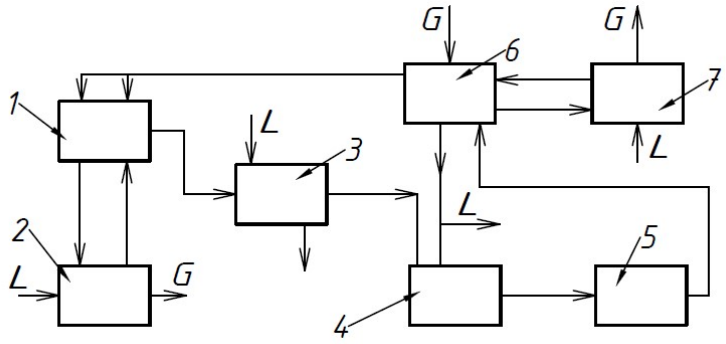
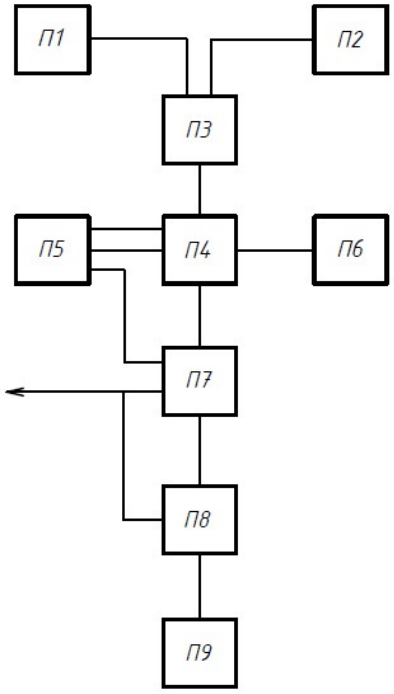


Рисунок 4.3 – Структурная схема ТП синтеза аммиака



П1 – подсистема подготовки аммиака; П2 – подсистема подготовки; П3 – подсистема синтеза карбамида; П4 – подсистема обработки плава; П5 – подсистема очистки сточных вод и отходящих газов; П6 – подсистема отдувки газа в смежные производства; П7 – подсистема концентрирования раствора; П8 – подсистема гранулирования и кристаллизации; П9 — подсистема расфасовки и складирования.

Рисунок 4.4 – Функциональная схема производства карбамида

Функциональная схема ТП – это чертеж, на котором в виде блоков изображены основные технологические блоки и технологические узлы производства, каждый из которых представляет собой определенную функциональную подсистему, реализующую какую-либо основную технологическую операцию или стадию производства.

Технологическая топология ТП характеризуется следующими видами технологических связей:

- последовательная;
- последовательно-обводная, или байпас;
- параллельная;
- противонаправленная;
- обратная (рециклическая) по расходу вещества;
- обратная по расходу энергии;
- энерготрансформационная.

Выделяют однонаправленные и встречно-направленные ТП – в зависимости от технологических связей в ее структуре.

К однонаправленным ТП относятся системы, содержащие однонаправленные технологические связи, последовательные, последовательно-обводные и параллельные. Однонаправленные ТП могут быть простые и сложные. Простые однонаправленные ТП в своей структуре содержат однонаправленные технологические связи только одного типа. Сложные однонаправленные ТП в своей структуре имеют однонаправленные технологические соединения разного типа.

Встречно-направленными или контурными ТП являются системы, содержащие противонаправленные, обратные и энерготрансформационные технологические соединения. Такие ТП могут быть простыми и сложными контурными системами.

4.6 Технологический регламент

Производство любого изделия (продукции) определяется набором правил и условий, совокупность которых определено понятием «технология изготовления продукции». Описание технологии изготовления изделия оформляется в виде документа, называемого технологическим регламентом. Технологический регламент является *основополагающим* документом для организации процесса изготовления изделия и обязательно содержит:

- состав исходного сырья, материалов и потребляемой энергии;
- перечень используемого (технологического) оборудования;
- описание и схемы последовательности переработки сырья и материалов на технологическом оборудовании;
- режимы работы оборудования;
- характеристики исходного сырья, материалов, промежуточных полуфабрикатов и готового изделия;

– допустимые и предельные отклонения для режимов работы оборудования и характеристик перерабатываемых материалов.

Процесс переработки на оборудовании исходного сырья и материалов с целью получения требуемого конечного продукта называется технологическим процессом. Всякий ТП является детерминированным и условно непрерывным. Детерминированность ТП определяет наличие для него точного описания. Будучи непрерывным, с точки зрения получения конечного продукта, он в то же время выполняется в конечные отрезки времени, что определяет его как условно непрерывный. Любой ТП можно представить в виде набора отдельных стадий, как этапов изготовления конечного продукта. При этом каждая из стадий может быть рассмотрена как самостоятельный технологический процесс со всеми атрибутами его описания.

В ТП можно выделить несколько состояний по условиям работы технологического оборудования:

– вывод оборудования на нормированный режим работы;
– работа оборудования в нормированном режиме;
– переход к полному останову оборудования;
– временный останов части оборудования;
– аварийные ситуации в работе оборудования.

Технологический регламент является основным документом для реализации управления технологическим процессом и создания автоматизированных систем для их управления.

Всякий ТП протекает во времени, и как объект управления имеет два вида характеристик: технологические параметры и технологические события. Технологические параметры – это совокупность режимов работы оборудования и характеристик используемой энергии, перерабатываемого сырья и материалов, которые требуют контроля и управления. Состояние оборудования (включено или выключено), а также ситуации, когда технологические параметры становятся равными, больше или меньше некоторых заданных значений, образуют совокупность технологических событий. Изменение значений технологических параметров во времени называется *трендами* (направление). Технологические события, требующие обязательного контроля со стороны обслуживающего персонала, называются *алармами*.

4.7 Термодинамика и технологические процессы

Термодинамический метод является универсальным методом для изучения многих разнообразных процессов, позволяющий обобщать наблюдаемые явления с целью установления взаимосвязей между ними.

Широкое применение этого метода к анализу процессов играет важную роль в развитии технологических процессов в современных отраслях промышленности.

Таким образом, области применения термодинамического метода необычайно широки и позволяют абстрагироваться от специфически отдельных веществ и рассматривать материальные тела и их взаимодействие системно.

В зависимости от степени изолированности процессов от окружающей среды в термодинамике различают *изолированные, закрытые и открытые* процессы. Процессы, которые не взаимодействуют с окружающей средой, называют *изолированными.* Процессы, которые не обмениваются с окружающей средой частицами (атомами, молекулами, ионами) образующих их веществ, но взаимодействуют с ней иным путем (например, посредством теплообмена, механической работы, излучения), называют *закрытыми.* Процессы, которые обмениваются с окружающей средой частицами всех составляющих веществ или части веществ, называют *открытыми*.

Состояние процесса определяется совокупностью его свойств. Все величины, характеризующие какое-либо макроскопическое свойство рассматриваемого процесса, называются *термодинамическими параметрами*. Различают внешние и внутренние параметры.

Макроскопические величины, которые определяются взаимодействием внешних тел по отношению к данному процессу, называются *внешними* параметрами, а те, которые определяются взаимодействием и состоянием частей, составляющих данный процесс, *внутренними.* Первоначальный выбор независимых термодинамических параметров может быть любым, но если он уже сделан, то его нельзя произвольно менять в процессе решения задачи, и поэтому все переходы от одной совокупности независимых параметров к другой нужно проводить в соответствии с математическими правилами.

Независимые термодинамические параметры чаще всего поддаются непосредственному измерению (например, температура, давление, мольный или удельный объем, концентрация и т.д.).

Различают *интенсивные* параметры (или факторы интенсивности) и *экстенсивные* (или факторы емкости). *Интенсивными* называют параметры, значения которых не зависят от массы процесса. Это все молярные и удельные свойства, температура, давление. Интенсивные свойства могут иметь одни и те же значения во всем процессе или изменяться от точки к точке. Величины их не аддитивны. *Экстенсивными* называются такие свойства, величины которых пропорциональны массе процесса. Они обладают аддитивностью. Это объем системы, ее масса или число молей и т.д. Интенсивные свойства – это специфические свойства процесса в данном состоянии. Поэтому в качестве независимых термодинамических параметров обычно используют интенсивные свойства.

Если ограничиться изучением термодинамических свойств простого процесса, т.е. не принимать во внимание влияние внешних силовых полей (например, гравитационного, электростатического или магнитного) и, кроме того, предположить, что процесс находится в покое, то состояние его однозначно определится тремя величинами; *объемом* V, *давлением* p и

абсолютной температурой Т. Объем, давление и температура связаны между собой зависимостью, которая в самом общем виде выражается уравнением:

$$f(p, V, T) = 0. \quad (4.1)$$

Уравнения, связывающие между собой параметры состояния, называются уравнениями состояния. Соотношение (4.1) – термическое уравнение состояния.

При переходе процесса из одного состояния в другое, изменение его свойств не зависит от способа, а определяется лишь начальным и конечным состоянием процесса, т.е. термодинамическими параметрами в этих двух состояниях. С математической точки зрения, утверждение независимости изменения свойств, по сути, эквивалентно тому, что бесконечно малое изменение свойства является полным дифференциалом.

Все реальные процессы являются неравновесными. Изучение их затруднено, и для упрощения их заменяют идеализированными равновесными процессами.

В термодинамике существуют понятия *обратимых* и *необратимых* процессов. *Обратимым* называется процесс, после совершения которого в прямом, а затем в обратном направлении рабочее тело возвращается в свое первоначальное состояние без дополнительных затрат энергии. В дальнейшем под словом «процесс» будем понимать равновесный обратимый процесс.

Для исследования термодинамических процессов применяют графические методы, для чего используют прямоугольную систему координат, в которой состояние рабочего тела может быть изображено точкой, а процесс – кривой.

Термодинамика изучает пять основных процессов идеальных газов:

1) *Изохорный,* происходящий при постоянном объеме газа *(v*= const).

2) *Изобарный,* происходящий при постоянном давлении *(p*= const).

3) *Изотермический,* происходящий при постоянной температуре *(T* = const).

4) *Адиабатный,* происходящий без подвода или отвода теплоты, т. е. протекающий без теплообмена с окружающей средой *(q*= 0).

5) *Политропный* – обобщенный процесс изменения всех параметров рабочего тела, для которого четыре предыдущих являются частными случаями.

Для изучения этих процессов необходимо определить:

1) Уравнение процесса, которое устанавливает закономерность изменения состояния рабочего тела.

2) Графическое изображение процесса в диаграммах.

3) Связь, существующую между параметрами в процессе.

4) Изменение внутренней энергии рабочего тела в процессе.

5) Работу, совершаемую рабочим телом в процессе.

6) Теплоту, участвующую в процессе.

4.8 Эксергия

Эксергия (эксэргия; от греч. ek, ex – приставка, означающая высокую степень, и греч. ergon – работа) – часть энергии, равная максимальной полезной работе, которую может совершить термодинамическая система при переходе из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой. Эксергией иногда называется работоспособность системы. Использование понятия «эксергии» даёт возможность количественно определить влияние неравновесия термодинамических процессов на эффективность преобразования энергии, то есть позволяет вычислять особенности второго начала термодинамики: выделить ту часть энергии, которая не может быть использована из-за газодинамических явлений, трения, теплообмена. Такой подход даёт возможность анализировать степень термодинамического совершенства того или другого элемента установки и не требует предварительной оценки работоспособности всей установки в целом.

Эксергия численно равна разности энтальпии h и произведения термодинамической температуры T и энтропии s:

$$ex = h - Ts. \tag{4.2}$$

4.9 Критерии и показатели эффективности технологических процессов

Энергоэффективность – эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов. Использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве. Достижение экономически оправданной эффективности использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды. Эта отрасль знаний находится на стыке инженерии, экономики, юриспруденции и социологии.

В отличие от энергосбережения (сбережение, сохранение энергии), главным образом направленного на уменьшение энергопотребления, энергоэффективность (полезность энергопотребления) – полезное (эффективное) расходование энергии.

Качество функционирования технологического процесса можно охарактеризовать совокупностью свойств, определяющих техническое состояние и экономическую целесообразность данного процесса.

Технические показатели определяют качество технологического процесса.

К ним относятся:

- производительность (мощность) производства;
- интенсивность;
- степень превращения;

– селективность;

– выход продукта.

Производительность – это количество продукта, полученное в единицу времени.

Для сравнения работы аппаратов и установок различного устройства и размеров, в которых протекают одни и те же химические процессы, используется понятие *интенсивность.*

Интенсивность процесса – это количество перерабатываемого сырья или образующегося продукта в единице объема аппарата.

Этот показатель характеризует интенсивность протекания процесса в технологическом аппарате и совершенство организации процесса.

Интенсивность – это производительность, отнесенная к какой-либо величине, характеризующей размеры аппарата – к его объему или сечению.

Оценка качества функционирования процесса производится критерием эффективности, как некоторым показателем, по которому определяют степень функционирования процесса. Этот критерий используют для:

– определения оптимальных параметров технологических элементов, процессов и его режимов;

– сравнительной оценки альтернативных вариантов процесса при решении задач реконструкции и проектирования объектов отраслей промышленности;

– выбора алгоритмов управления и оценки качества управления технологическими процессами и др.

Таким образом, критерий эффективности является комплексным показателем, учитывающим в своем составе особенности технологической топологии и основные свойства процесса, а также технологические режимы его функционирования в условиях взаимодействия с другими процессами и окружающей средой.

В качестве критериев эффективности (КЭ) технологических процессов используют как различные технико-экономические показатели (ТЭП), например, прибыль, себестоимость, приведенные затраты и др., так и технологические показатели (например, производительность и мощность по выпуску продукции; термодинамический эксергетический коэффициенты тепло- и массопередачи, степень превращения, удельные расходные нормы сырья и ТЭР и др.)

Кратко рассмотрим характеристику экономических КЭ. Для согласования разнообразных тенденций в процессе функционирования ТП часто используют КЭ с ограничительными условиями. Например, такого рода экономическими КЭ для ТП могут служить:

1) Производительность при ограничении на требуемое качество и заданную себестоимость продукции.

2) Средняя себестоимость продукции при ограничении на заданную производительность и требуемое качество и т.п.

Необходимо отметить, что КЭ, содержащие ограничительные условия, имеют ряд недостатков, которые весьма сужают область их использования.

Для наиболее полной оценки эффективности функционирования ТП, как правило, необходимо использовать обобщенные экономические КЭ, к которым относятся *чистая продукция* и *приведенные затраты.* Чистая продукция $D_ч$ равна:

$$D_ч = \sum_i В_i Ц_i - (М_з + Э_з + А), \quad (4.3)$$

где $В_i$ – объем товарной продукции, т;

$Ц_i$ – оптовая цена, тг/т;

$М_з(Э_з)$ – стоимость материальных затрат (затрат на ТЭР), тг.;

А – амортизационные отчисления, тг;

i – вид продукции.

Величина приведенных затрат $П_З$ равна:

$$П_з = З_э + Е_э, \quad (4.4)$$

где $З_э$ – суммарные эксплуатационные затраты, тг/год;

E – нормальный коэффициент экономической эффективности капиталовложений (величина, обратная нормативному сроку окупаемости), год$^{-1}$;

$К_з$ – капитальные затраты, тг.

При исследовании и управлении сложных ТП, в зависимости от поставленных целей, необходимо использовать как экономические, так и технологические КЭ. Правильно выбранные технологические КЭ не должны противоречить экономическим КЭ, поскольку в этом случае они являются их частными аналогами.

При проектировании оптимальных систем управления ТП необходимо использование технологических КЭ.

В последние годы при разработке систем управления ТП возникает необходимость учета не только количественных, но и качественных характеристик работоспособности потоков энергии в системе, которая оценивается величиной эксергии. Эта задача решается с позиций эксергетического анализа на основе использования как 1-го, так и 2-го законов термодинамики. Совмещение технико-экономического анализа с эксергетическим анализом эффективности ТП привело к появлению новых термоэкономических КЭ, которые позволяют экономически оценить эффективность преобразования потоков эксергии в ТП, а также термодинамическую степень совершенства процессов функционирования ТП и ее отдельных элементов.

Качество функционирования каждого элемента или подсистемы некоторого иерархического уровня ТП характеризуют определенным видом технологических КЭ. Технологическими КЭ отдельных элементов ТП

являются значения разнообразных КПД, значения интенсивности и производительности этих ТП. КПД показывает степень приближения ТП к равновесию. Примерами КПД ТП являются: для реакторных процессов степень превращения исходных реагентов, выход продукта, селективность; для массообменных процессов-степень разделения, степень поглощения, степень извлечения целевого продукта; для теплообменных процессов – тепловой КПД и эксергетический КПД.

Технологическими КЭ функционирования ТП в целом являются расходные нормы по сырью и ТЭР. Для оценки эффективности функционирования ТП используют также экономические КЭ – производительность, себестоимость продукции и приведенные затраты, материалоемкость продукции.

Контрольные вопросы.

1. Технологический процесс.
2. Свойства технологических процессов.
3. Технологический переход, вспомогательный переход.
4. Виды технологических процессов.
5. Технологический процесс обработки данных.
6. Моделирование и проектирование технологических процессов.
7. Технологический режим и технологическая карта.
8. Оптимальный технологический режим.
9. Фазы технологического процесса.
10. Классификация технологических процессов по способу функционирования.
11. Производства многоассортиментной продукции.
12. Совмещенные и гибкие многоассортиментные технологические процессы.
13. Ресурсосберегающие, химико-энерготехнологические процессы.
14. Энергоэффективность.
15. Однородные и неоднородные технологические процессы.
16. Технологическая, структурная и функциональные схемы.
17. Однонаправленные и встречно-направленные технологические процессы.
18. Технологический регламент.
19. Термодинамический метод.
20. Изолированные, закрытые и открытые процессы.
21. Термодинамические параметры.
22. Что такое эксергия?
23. Критерии и показатели эффективности технологических процессов.

5 Структура и переменные технологических процессов

5.1 Структура объектов автоматизации

Объекты автоматизации имеют различную структуру, которая определяется количеством входных и выходных переменных, их взаимосвязью.

Состояние технологического процесса характеризуют переменные, которые разделяют на входные, выходные и возмущения (рисунок 5.1).

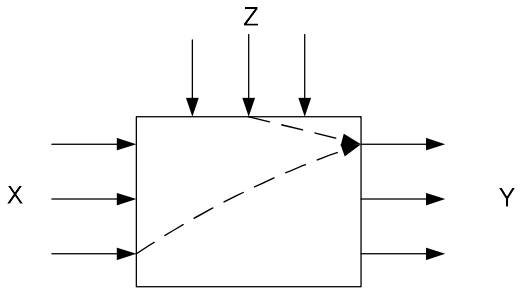


Рисунок 5.1 – Структурная схема объекта управления

Входными переменными, или воздействиями, называются технологические параметры, при изменении которых происходит соответствующее изменение хода технологического процесса.

Входные переменные (совокупность их обозначим вектором X) характеризуют параметры состояний и свойств входных материальных потоков, поступающих в технологическую систему, а также параметры различного рода воздействия окружающей среды на процесс.

Обычно изменения этих переменных воздействуют на объект с целью управления. В большинстве случаев расходы материальных потоков и потоки энергии являются регулирующими воздействиями на управляемый объект.

Выходными переменными называются технологические параметры, на основании которых оценивается ход технологического процесса. Выходная переменная объекта, которая должна изменяться в соответствии с заданной программой, называется *регулируемой переменной* (величиной). Это обычно одна или несколько переменных из числа выходных переменных объекта.

Выходные переменные технологических процессов, как параметры выходных технологических потоков процесса, подразделяют на параметры *состояния потока* (массовый и объемные расходы, концентрация химических компонентов, давление, температура и др.) и *параметры свойств потока* (теплоемкость, вязкость, плотность и др.). Их совокупность обозначим вектором Y. Эти переменные измеряются непосредственно, а в случаях, когда их измерения невозможно, стремятся их вычислить, в основном, с использованием моделей по другим измеряемым переменным. Многие выходные переменные используют как переменные состояния технологических установок в процессе управления объектом и поддерживают

их на заданном уровне или изменяют по заданному закону. К ним относятся: *уровень жидкости или уровень кипящего слоя – показатель баланса по жидкой фазе или рабочей среды; давление – показатель баланса газовой среды; температура – показатель теплового баланса в аппарате; концентрация – показатель материального баланса по компоненту.*

Объекты, в зависимости от структуры, могут быть одномерными, или одноканальными, и многомерными, которые, в свою очередь, разделяются на многоканальные и многосвязные.

Одномерным, или одноканальным, называется объект, который имеет по одной входной и выходной переменной. Большинство таких процессов характеризуется одной входной X и одной выходной Y величинами. Они имеют одну степень свободы и могут быть описаны обобщенным уравнением вида:

$$A(dY/dt)=\Delta Q, \qquad (5.1)$$

где A и ΔQ для каждого из рассматриваемых процессов имеют конкретные выражения.

В таблице 4.1 приведены уравнения для простейших процессов, где Q – материальное или энергетическое воздействие на объект, а величина A характеризует динамические свойства объекта и определяет характер изменения Y во времени. В общем случае ΔQ равно разности между притоком $Q_п$ и расходом $Q_р$ вещества или энергии в объекте, т.е.

$$\Delta Q= Q_п-Q_р. \qquad (5.2)$$

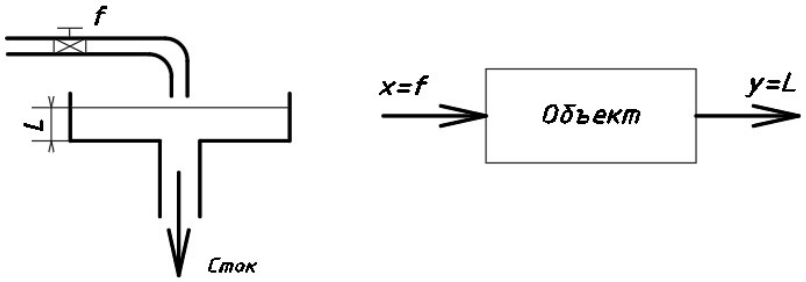
Таблица 4.1 – Уравнения единичных процессов

Процесс	Дифференциальное уравнение	Принятые обозначения
Заполнение (опорожнение) сосуда жидкостью	$f\frac{dH}{dt}=Q$	f – площадь уровня; H – высота (уровень); Q – объемный расход жидкости.
Заполнение (опорожнение) сосуда газом	$\frac{V}{R}\frac{dP}{dt}=G=Qp$	V – объем сосуда; P – давление газа; Q – объемный расход; p – плотность газа; G – массовый расход газа; R – газовая постоянная.
Нагревание (охлаждение) тела	$F_c\frac{d\theta}{dt}=Q$	θ – абсолютная температура; F - вес; c- удельная теплоемкость; θ - температура; Q- тепловой поток.
Сушка (увлажнение) тела	$F\frac{dn}{dt}=G$	F- вес абсолютно сухого вещества; n- относительная влажность на абсолютно сухую массу; G- масса поступающей (удаляемой) влаги за единицу времени.
Растворение или осаждение из раствора (суспензии)	$V\frac{dC}{dt}=G$	V- объем растворителя; C- концентрация растворенного вещества (в массовых единицах, отнесенных к единице объема); G-

		поступление и удаление сухого вещества (по массе) в единицу времени.
Выпаривание	$F\frac{d\varepsilon}{dt} = -G = -\alpha Q$	F- масса растворенного абсолютно сухого вещества; ε - отношение масс растворителя и растворенного вещества, т.е. величина, обратная массовой концентрации; $-G$ - количество пара, образующегося в единицу времени; α - коэффициент пропорциональности; Q - количество тепла.

В состоянии равновесия воздействие на объект отсутствует, т. е. ΔQ=0. При А, отличном от нуля, Y также должно быть равно нулю. С появлением ΔQ в объекте возникает переходный процесс, в котором Y изменяется во времени. Характер этого изменения определяется динамическими свойствами объекта.

На рисунке 5.2, а приведен пример одноканального объекта – сборник воды со свободным стоком, в котором должен поддерживаться уровень L, на рисунке 5.2, б – графическое изображение этого одноканального объекта автоматизации. В рассматриваемом объекте y=L – выходная переменная, а x=F – входная. Характерной особенностью одноканального объекта как объекта автоматизации является то, что постоянное входное воздействие связывается с постоянным выходным сигналом через постоянный коэффициент. Если же этот объект является нестационарным, то указанная связь описывается различными функциями y=f(x). Чаще всего данная функция описывается полиномом.



а - сборник воды со свободным стоком; б - графическое изображение сборника.

Рисунок 5.2 – Одноканальный объект автоматизации

Многомерным называется объект, который имеет число, или размерность векторов входных либо выходных переменных или и тех, и других более единицы.

В принципе, в многомерных объектах возможно установление следующих схем взаимодействия:

– одномерно-многомерная (рисунок 5.3, а) – на объект воздействует только одна переменная, а его поведение оказывает воздействие на выходные переменные;

– многомерно-одномерная схема (рисунок 5.3, б) – на объект воздействует множество (несколько) входных переменных, а его состояние оценивается по одной выходной переменной;

– многомерно-многомерная схема (рисунок 5.3, в) – на объект воздействует множество переменных, а его состояние оценивается по множеству выходных переменных.

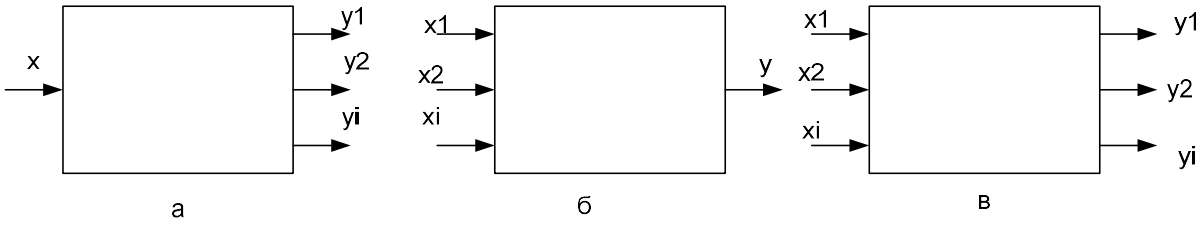
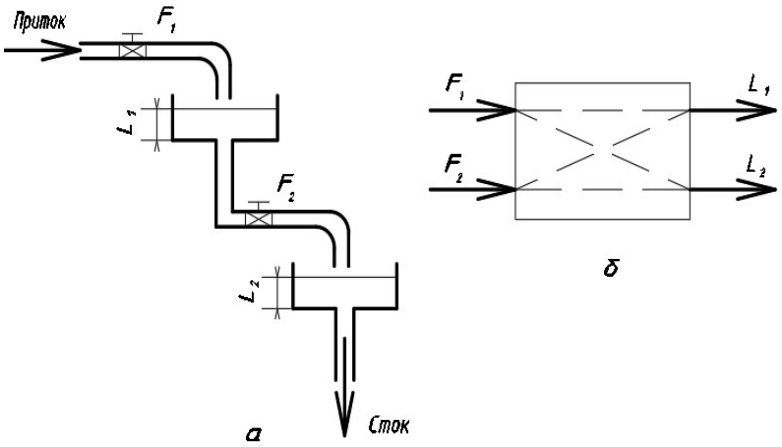


Рисунок 5.3 – Схемы взаимодействия многомерных объектов

Многомерный объект, в котором каждая входная переменная оказывает воздействие на многие выходные переменные, называется *многосвязным.* На рисунке 5.4, а показан пример многосвязного объекта – технологического процесса с двумя сборниками. Выходными переменными этого процесса являются уровни L_1 и L_2, а входными – расходы жидкости F_1 и F_2 соответственно. Графическое изображение этого объекта автоматизации приведено на рисунке 5.4, б. Пунктирными линиями показано, что при изменении расхода F_1 происходит изменение уровня как в первом сборнике L_1, так и во втором L_2.



а - технологический процесс с двумя сборниками; б - графическое изображение.

Рисунок 5.4 – Многосвязный объект автоматизации

Многомерный объект, в котором каждая входная переменная оказывает влияние лишь на одну соответствующую ей выходную переменную,

называется *многоканальным.* Особенность этого многомерного объекта заключается в том, что он может быть условно разделен на совокупность одноканальных объектов автоматизации.

5.2 Формулировка ограничений на технологические переменные

Технологические переменные объектов можно варьировать только в заданных пределах, исходя из требований технологических режимов процесса. Заданные пределы, в которых изменяются переменные, называют *ограничениями.* Ограничения налагаются на входные и выходные переменные, а также на различные функции этих переменных. Эти важные качества процессов необходимо использовать при разработке и проектировании систем автоматизации. Ограничения на переменные процесса связаны с требованиями к качеству выпускаемой продукции и к сырью, с условиями безаварийной эксплуатации, конструктивными особенностями объектов, свойствами других объектов, функционирующих до и после исследуемого по технологической цепочке, и рядом других причин.

Ограничения можно разделить на две группы:

а) безусловные ограничения, имеющие вид $y_{imin} \le y_i \le y_{imax}$; $x_{jmin} \le x_j \le x_{jmax}$, где y_{imin}=const; y_{imax}=const; x_{jmin}=const; x_{jmax}=const;

б) условные ограничения, для которых величины пределов являются функциями некоторых переменных, например, $y_{imin}=f_{1i}(z_1,z_2)$, $y_{imax}= f_{2i}(z_1,z_2)$ и т.д.

Во многих случаях существующие в объекте ограничения относятся ко второй группе, и задание их в виде безусловных ограничений уменьшает возможности системы управления.

Так, скорость подачи газа ограничена мощностью компрессоров, температура смеси на входе в реактор – возможностями теплообменников. По соображениям взрывобезопасности, соответствующие ограничения могут налагаться на концентрации компонентов реакционной смеси. Температура внутри реактора не должна превышать определенной величины в соответствии с условиями сохранности катализатора и т.д.

Ограничения можно накладывать также из экономических соображений. Так, при использовании сложного критерия оптимизации ограничения накладывают на выходные переменные процесса.

Например, задачу оптимизации технологического процесса можно сформулировать следующим образом: при любой комбинации входных неуправляемых переменных необходимо найти такие значения управляемых переменных, чтобы критерий оптимизации принял экстремальное значение при условии выполнения всех ограничений, наложенных на переменные.

5.3 Управляемые переменные

Входная переменная объекта, которая изменяется в ходе процесса регулирования с целью воздействия на регулируемую величину объекта, называется *управляемой переменной* (величиной). Это обычно одна из нескольких переменных из числа входных переменных объектов.

Управляемые переменные могут измеряться, стабилизироваться либо автоматически изменяться при помощи автоматических систем регулирования по заданной программе. Неуправляемые переменные нельзя стабилизировать, хотя некоторые из них можно измерять.

Рассмотрим в качестве объекта автоматизации теплообменник, схема которого приведена на рисунке 5.5. Входными переменными теплообменника являются расход нагреваемого продукта F, его начальная температура $T_{вх}$, давление пара P теплоносителя, поступающего в теплообменник. Выходной же переменной является конечная температура продукта $T_{вых}$.

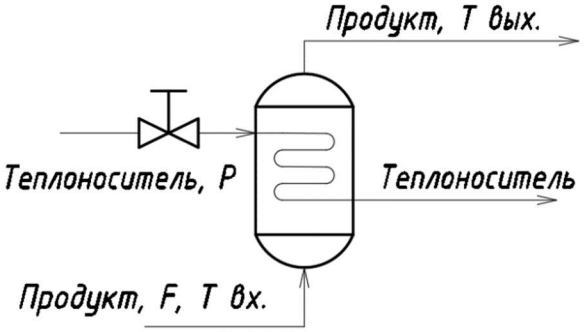


Рисунок 5.5 – Технологические параметры теплообменного аппарата

В теплообменнике регулирующей переменной (величиной) является давление греющего пара P, а регулируемой переменной (величиной) объекта – выходная температура продукта, $T_{вых}$. При регулировании температуры в теплообменнике возмущающими воздействиями являются отклонение температуры и расхода продукта, изменения давления теплоносителя.

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

Управляемая величина должна однозначно характеризовать состояние технологического процесса. Это требование обязательное, но недостаточное, так как часто состояние процесса характеризуется не одной, а несколькими

величинами. В этом случае нужно выбрать в качестве управляемой одну из величин, наиболее полно соответствующую следующим требованиям:

– должны быть в наличии простые и надежные приборы (датчики) с достаточно высокой чувствительностью для измерения выбранной величины;

– динамическая характеристика автоматической системы должна быть удовлетворительной (желательно минимальное запаздывание в изменении значения управляемой величины при любых возмущающих воздействиях);

– допустимые величины статических и динамических отклонений управляемой величины от заданного значения должны быть достаточно велики;

– при нескольких управляемых величинах в одном объекте нужно, чтобы взаимные связи их через процесс были минимальными или, если это возможно, должны быть использованы связи между параметрами – для улучшения качества управления;

– количество регуляторов, необходимых для управления процессом, должно быть сокращено до минимума;

– технологический процесс должен вестись наиболее экономично.

Возможные регулирующие воздействия. Это материальные или тепловые потоки, которые можно изменять автоматически для поддержания регулируемых параметров.

Выходные переменные. Из их числа выбирают регулируемые координаты. При построении замкнутых систем регулирования в качестве регулируемых координат выбирают технологические параметры, изменение которых свидетельствует о нарушении материального или теплового баланса в аппарате. К ним относятся: *уровень жидкости* – показатель баланса по жидкой фазе; *давление*- показатель баланса по газовой фазе; *температура* – показатель теплового баланса в аппарате; *концентрация* – показатель материального баланса по компоненту.

Анализ возможных регулирующих воздействий и выходных координат объекта позволяет выбрать каналы регулирования для проектируемых САР. При этом в одних случаях решение определяется однозначно, а в других имеется возможность выбора регулируемой координаты, как и регулирующего воздействия для заданного выхода. Окончательный выбор каналов регулирования проводят на основе сравнительного анализа статических и динамических характеристик различных каналов. При этом учитывают такие показатели, как коэффициент усиления, время чистого запаздывания, его отношение к наибольшей постоянной времени канала τ/T.

5.4 Возмущающие воздействия в объектах управления

Из теории управления хорошо известен факт, что все реальные системы управления функционируют в условиях тех или иных возмущений. Поэтому термин «возмущение» относится к особой категории входных сигналов

системы, которые точно заранее не известны, не поддаются контролю и представляют собой неуправляемые входные сигналы.

Возмущения являются важным фактором в задаче построения систем управления, поскольку они обычно приводят к нежелательным эффектам в поведении управляемых систем. Некоторыми типичными примерами возмущений в системах управления являются: флуктуации нагрузки в регуляторах скорости, генераторах энергии и т.д.; неопределенность расходов в химико-технологических процессах; порывы ветра, восходящие потоки и другие неопределенные аэродинамические нагрузки на самолеты, ракеты и т.п.; трение, смещение центра тяжести, эксцентриситет тяги, дрейф усилителя и другие неопределенные эффекты смещения в механических и электрических системах.

Возмущения – это переменные, изменение которых не связаны с воздействием систем управления на функционирование технологического процесса. Эти изменения характеризуют влияние на установку внешних условий и характеристик самого объекта, а также другие условия. Их называют возмущающими воздействиями (обозначают вектором Z) и для их компенсации используют управляющие воздействия. Виды возмущений обычно подразделяют на возмущения, допускающие стабилизацию, контролируемые и неконтролируемые возмущения.

Возмущения, допускающие стабилизацию – это независимые технологические параметры, которые испытывают существенные колебания. Однако, по условиям функционирования технологического процесса, они могут быть стабилизированы с помощью систем автоматизации. К таким параметрам относятся переменные входных технологических потоков, например, такие переменные, как расход и температура материальных и энергетических потоков. Поэтому при проектировании систем управления технологическими процессами необходимо предусматривать автоматическую стабилизацию таких возмущений, что позволит существенно повысить качество управления процессом в целом, а также обеспечить устойчивое ведение процесса в рамках технологического регламента системы.

Контролируемые возмущения измеряемы, но их не рекомендуется регулировать или стабилизировать (расход питания, подаваемого непосредственно из предыдущего аппарата; температуру окружающей среды и др.). Наличие таких нестабилизируемых возмущений требует применения либо замкнутых по основному показателю процесса систем регулирования, либо комбинированных автоматических систем регулирования, в которых качество регулирования повышается введением динамической компенсации возмущения.

Неконтролируемые возмущения – это такие возмущения, которые невозможно или нецелесообразно измерять непосредственно. К первым возмущениям относятся падение активности катализатора, изменение коэффициентов тепло- и массопередачи и др. Вторыми могут служить,

например, давление греющего пара в заводской сети, которое колеблется случайным образом и является источником возмущения в тепловых процессах.

Возможность измерения возмущающего воздействия позволяет ввести в систему регулирования дополнительный сигнал, что, в свою очередь, улучшает возможности ее регулирования.

Технологический процесс находится в состоянии равновесия только в том случае, если поступление в объект и расход из него вещества и энергии равны. При нарушении материального или энергетического баланса в результате любого возмущающего воздействия равновесие в объекте нарушается и действительное значение управляемой величины отклоняется от заданного. Величина и скорость отклонения зависят от амплитуды и спектра возмущающего воздействия, а также динамических и статических характеристик САР. Чем больше амплитуда и скорость возмущающего воздействия, тем труднее управляющему устройству восстановить равновесие в объекте.

Промышленные САР процессов обладают нелинейными свойствами, но во многих случаях их можно рассматривать с определенной погрешностью как линейные системы при достаточно малых отклонениях от состояния равновесия.

Однако, если возмущения велики, то предположение о линейности САР может оказаться недопустимым, и тогда при проектировании системы нужно принимать в расчет ее нелинейные свойства.

Основным источником возмущения является изменение нагрузки управляемого объекта.

Количество сырья и энергии можно автоматически стабилизировать до поступления их в объект. Стабилизировать состав сырья на входе объекта трудно, поэтому его изменения являются источником возмущающих воздействий.

В случаях изменения нагрузки объекта перестройку необходимо производить медленно, чтобы САР плавно, без больших и продолжительных колебаний перешла на новый режим работы.

Кроме того, при больших изменениях нагрузки может возникнуть необходимость в изменении настроек регуляторов, так как с изменением нагрузки изменяются динамические и статические свойства управляемых объектов. Например, при уменьшении нагрузки увеличивается чистое запаздывание, уменьшаются коэффициент самовыравнивания, емкость, коэффициент емкости и постоянная времени объекта. Поэтому разным нагрузкам объекта соответствуют различные оптимальные настройки управляющих устройств.

Возмущения, возникающие из-за изменения характеристик управляемого объекта, например, при постепенном загрязнении поверхности теплопередачи, засорении фильтров, изменении свойств катализатора, выражаются обычно в форме медленных сдвигов. Однако встречаются и быстрые изменения статической и динамической характеристик объекта, например, в результате

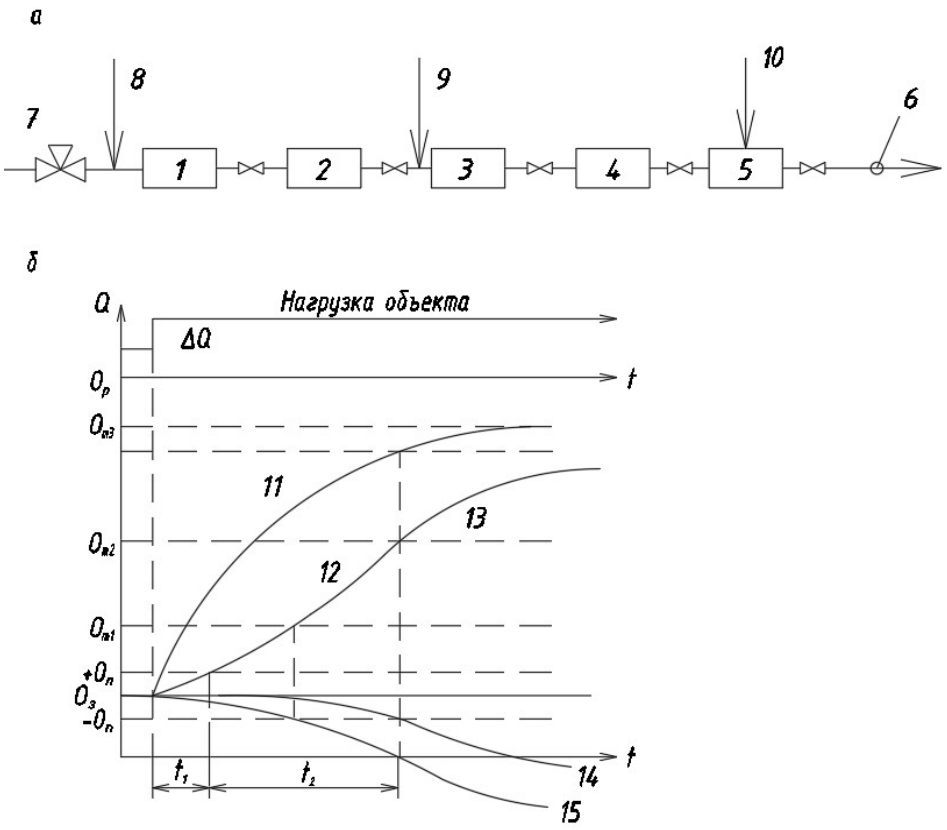
обвала насадки или постепенно нарастающего слоя загрязнения внутри аппарата. Всегда нужно стремиться к снижению возмущающих воздействий до входа их в управляемый объект.

В многоемкостных управляемых объектах форма переходного процесса зависит не только от вида возмущающего воздействия, но и от места его приложения к объекту (рисунок 5.6).

Представленный на рисунке объект состоит из емкостей 1-5. Выходная величина измеряется при помощи устройства 6, передающего импульс на воспринимающий блок регулятора, управляемого исполнительным органом 7. При изменении нагрузки объекта на величину ΔQ форма кривой разгона зависит от места приложения возмущающего воздействия. Если возмущающее воздействие 10 приложено к выходной емкости 5, то соответствующая кривая разгона 11 имеет форму экспоненты – как в одноемкостном объекте. При приложении возмущающего воздействия 9 перед емкостью 3, кривая разгона 12 имеет форму, соответствующую переходному процессу в трехъемкостном объекте. Наконец, при вводе возмущающего воздействия 8 перед первой емкостью кривая разгона 13 соответствует пятиемкостному управляемому объекту. Рассмотрим (очень упрощенно), как будет протекать начало процесса регулирования в зависимости от места приложения возмущающего и управляющего воздействий.

Предположим, что после приложения скачкообразного возмущающего воздействия ΔQ управляемая величина в месте установки измерительного устройства 6 изменяется по кривой 12. Воспринимающий блок регулятора реагирует на изменение управляемой величины по истечении времени запаздывания τ_1, когда отклонение ее превысит верхнюю границу зоны нечувствительности $+\theta_n$ регулятора. Регулятор при помощи регулирующего органа 7 оказывает управляющее воздействие на процесс для компенсации возмущающего воздействия. При скачкообразном перемещении регулирующего органа на величину, равную возмущению ΔQ, но противоположно направленную, свободное изменение управляемой величины происходит по кривой разгона 14. По истечении времени запаздывания τ_2 кривая 14 пересечет нижнюю границу зоны нечувствительности $-\theta_n$ и воспринимающий блок регулятора получит импульс с выхода объекта. В этот момент прекратится свободное изменение управляемой величины и начнется вынужденный переходный процесс.

Действительно, значение управляемой величины достигает своего максимального значения θ_{m2}, и затем начинается уменьшение отклонения параметра от заданного значения θ_3 под действием регулятора. Если регулирующий орган 7 перенести к месту входа возмущающего воздействия 9, то при скачкообразном перемещении регулирующего органа получится вынужденный переходной процесс – кривая разгона 15, являющаяся зеркальным отражением кривой разгона 12, сдвинется на величину запаздывания.



а - схема пятиемкостного управляемого объекта; б - график, показывающий влияние места ввода в объект возмущающего воздействия.

Рисунок 5.6 – Форма переходного процесса

В этом случае управляющее воздействие проходит только через три емкости вместо пяти. Соответственно, время запаздывания τ_2 уменьшается до величины τ_1, и максимальное начальное отклонение управляемой величины θ_{m2} уменьшается до θ_{m1}.

В действительности процесс управления протекает гораздо сложнее. Упрощенная схема рассмотрена здесь только для наглядного сравнения влияния места ввода возмущающего воздействия на начало переходного процесса и максимальное отклонение управляемой величины.

Из рисунка видно, что чем ближе к измерительному устройству место ввода возмущающего воздействия и чем дальше место ввода управляющего воздействия, тем больше свободное начальное отклонение управляемой величины от заданного значения. Если ввести возмущающее воздействие непосредственно перед измерительным устройством регулятора, то в процессе свободного изменения управляемая величина может достигнуть своего потенциального значения раньше действия управляющего устройства.

Следовательно, возмущающие воздействия на входе управляемого объекта вызывают меньшее максимальное начальное отклонение управляемой величины от заданного значения, чем равные по величине возмущающие

воздействия на выходе. Например, в трубчатом теплообменнике возмущения в подаче греющего пара (входная емкость) приводят к меньшему максимальному начальному отклонению от заданного значения температуры жидкости на выходе из теплообменника, чем равные по величине изменения температуры или количество холодной жидкости на входе в теплообменник (выходная емкость объекта).

Если возмущающие воздействия нельзя устранить, а запаздывания в объекте велики, то следует применить регулятор со вспомогательными измерительными элементами для получения опережающих импульсов по возмущающим воздействиям (комбинированная схема регулирования). Основной первичный элемент устанавливается в месте, в котором регулируемая величина имеет характерное для данного процесса значение, а вспомогательные – у мест входа основных возмущающих воздействии в объект. В результате регулятор приходит в действие раньше, чем начинается изменение регулируемой величины в месте установки основного измерительного элемента, что значительно улучшает процесс регулирования.

При наличии нескольких нестабилизированных источников возмущения процесса можно подключить к регулятору соответствующее количество вспомогательных измерительных элементов. Различные величины такие, как температура, давление, скорость потока и т.д., характеризующие возмущающие воздействия, воспринимаются вспомогательными измерительными элементами регулятора и преобразуются в унифицированные электрические сигналы.

Контрольные вопросы.

1. Входные, выходные переменные и возмущения.
2. Структура объектов автоматизации.
3. Одномерные и многомерные объекты.
4. Ограничения на технологические переменные.
5. Управляемые переменные.
6. Возможные регулирующие воздействия.
7. Что такое возмущения?
8. Возмущения, допускающие стабилизацию.
9. Контролируемые и неконтролируемые возмущения.
10. Возмущения в многоемкостных управляемых объектах.

6 Основные свойства технологических процессов

6.1 Надежность и безопасность технологических процессов

Надежность ТП – это свойство системы выполнять требуемые функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей (производительность, качество продукции, расход материальных ресурсов и т.п.) в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям

работы, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. *Обеспечение надежности ТП* – это совокупность научно-методических и организационно-технических мероприятий, направленных на достижение или поддержание заданных показателей надежности ТП. Высокие экономически оптимальные показатели надежности ТП можно получить только при достижении оптимальных показателей надежности на стадии проектирования ТП, при повышении показателей надежности в процессе изготовления оборудования и сооружения ТП, а также при поддержании оптимальных показателей надежности оборудования в процессе его эксплуатации. *Надежность как комплексное свойство ТП*, в зависимости от целей функционирования и условий эксплуатации, характеризуется отдельными частными свойствами, которыми являются безотказность, ремонтопригодность, долговечность и сохраняемость, либо сочетанием этих частных свойств как для ТП, так и для образующих ее элементов и подсистем.

Безопасность ТП – это свойство системы сохранять такое техническое состояние, при котором предотвращается возможность появления отказов, сопровождаемых разгерметизацией оборудования и утечкой токсичных веществ, а также авариями, приводящими к возникновению пожаров, взрывов, к тяжелым последствиям для жизни человека и окружающей среды. Стихийные бедствия (удар молнии, град, наводнение, землетрясение и т.п.) приводят к катастрофическим авариям ТП, в результате которых безопасность систем резко снижается.

Безотказность и ремонтопригодность ТП как составляющие комплексного свойства надежности с различных сторон характеризуют способность ТП в течение определенного времени сохранять свою работоспособность.

Работоспособность ТП – состояние ТП, при котором он может выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией. В процессе функционирования под влиянием различных внутренних и внешних факторов ТП может полностью или частично утрачивать свою работоспособность. Нарушение или утрату работоспособности принято называть *отказом.* Признаки, или критерии, отказа ТП (элемента) определяются нормативно-технической документацией. Для количественной оценки надежности используют различные *показатели надежности,* которые выбирают с учетом особенностей функционирования ТП, режимов и условий их эксплуатации, а также с учетом последствий отказов.

Например, для крупнотоннажных ТП производства серной кислоты из серы низкие показатели надежности оборудования и технологических схем приводят не только к ежегодному недовыпуску 15% продукции и росту затрат на ремонт, но и к уменьшению безопасности этих ТП в результате разгерметизации оборудования и утечки большого количества токсичных полупродуктов в рабочую зону производственных помещений и в атмосферу.

Снижение безопасности при эксплуатации этих крупнотоннажных ТП в результате утечек диоксида и триоксида серы приводит к образованию токсичных веществ в приземном слое воздуха предельно допустимых концентраций. Низкие показатели надежности и безопасности этих действующих крупнотоннажных ТП обусловливают перерасходы сырья, материалов, энергозатрат на 10% и более по сравнению с проектными значениями. Утечка технологических газов в контактном отделении из отверстия с приведенным диаметром 3 мм в течение года вызывает дополнительную потерю 30 т кислоты или 10 т серы, а также наносит значительный ущерб окружающей среде.

6.2 Чувствительность технологических процессов

Чувствительность ТП – это свойство систем изменять переменные состояния и величину КЭ их функционирования под влиянием изменений собственных параметров (параметров элементов и параметров технологического режима). Создание ТП, малочувствительных и нечувствительных к изменению их параметров, весьма важно для повышения качества функционирования ТП.

Изменения (вариации) параметров ТП – это любые их отклонения от значений, принятых за исходные. Различают три основных вида вариаций параметров ТП: α-вариации параметров, не изменяющих структуры и начальных условий; β-вариации параметров, изменяющие начальные условия, γ-вариации параметров, изменяющие структуру системы. В дальнейшем рассматривается анализ чувствительности ТП к α-вариациям параметров.

Необходимость исследования чувствительности ТП при их проектировании и эксплуатации обусловлена тем, что при сооружении ТП значения параметров элементов ТП, как правило, отличаются от расчетных проектных значений либо вследствие неточности исходных проектных данных, либо в результате невозможности точной реализации этих параметров в промышленных условиях. Отсюда следует, что информация о чувствительности системы может использоваться для улучшения эффективности ТП на стадии эксплуатации и, что особенно важно, на стадии проектирования, так как позволяет выявить параметры ТП, нуждающиеся в наиболее точном определении. Кроме того, зная оценки чувствительности ТП, можно рассчитать оптимальные значения коэффициентов запаса для параметров элементов, обеспечивающих требуемое значение КЭ.

6.3 Помехозащищенность технологических процессов

Помехозащищенность ТП – это свойство систем эффективно функционировать в условиях действия внутренних и внешних помех.

К типичным помехам или случайным возмущениям относятся, например, изменение активности катализатора, изменение температуры или давления в

элементах и т.д. (внутренние помехи); изменение атмосферных условий, массовый расход и состав сырья, нарушение режимов поставки сырья и режимов отгрузки готовой продукции и т д. (внешние помехи).

При эксплуатации ТП существует взаимосвязь между помехозащищенностью, надежностью и чувствительностью систем. Наличие помех влияет на показатели надежности и чувствительность ТП, которые, в свою очередь, изменяют КЭ системы. При решении задач проектирования и эксплуатации ТП влияние различных показателей свойств (чувствительность, надежность, помехозащищенность) на КЭ системы учитывают последовательно, создавая отдельно математические модели ТП для анализа чувствительности, надежности и т. п.

6.4 Устойчивость технологических процессов

Технологические процессы делятся на *устойчивые, нейтральные* и *неустойчивые.*

Устойчивость ТП – способность процесса сохранять текущее состояние конструктивных и режимных параметров в заданных пределах при наличии внешних воздействий.

Примеры устойчивых объектов:

а) теплогидравлическая устойчивость – свойство канальных систем с обогревом потоков сохранять параметры движения и параметры теплопередачи;

б) нейтронно-теплогидравлическая устойчивость ядерных реакторов – свойство ядерных реакторов сохранять стабильность процессов тепловыделения и теплосъема в активной зоне;

в) гидродинамическая устойчивость – свойство потоков сохранять скорость и направление движения;

г) в теории автоматического управления *устойчивость* характеризуется реакцией динамической системы на внешние воздействия.

Неустойчивые объекты управления, если ими правильно управлять, обладают рядом полезных качеств, в том числе и быстродействием. Но при выходе из строя автоматической системы управления неустойчивый объект может представлять собой существенную угрозу, опасность и для человека, и для окружающей среды. В качестве катастрофического примера результатов отключения автоматического управления можно привести аварию на Чернобыльской АЭС. Но по мере того, как системы управления становятся все более надежными, все более широкий круг технически неустойчивых к отсутствию управления объектов применяется на практике.

Многие традиционные технические устройства имеют как устойчивые, так и неустойчивые состояния, и режимы работы. Характерный пример – асинхронный электродвигатель. Многие десятилетия он верой и правдой служил на производстве в качестве привода различных машин и механизмов, при запуске автоматически выходя в установившийся режим. При этом его

характеристики, связанные с потреблением энергии из электрической сети, не оптимальные. Уже давно возникла идея так называемого «векторного» управления асинхронным двигателем, когда, задавая частоту и начальные фазы трехфазного напряжения питания двигателя, поддерживают его в неустойчивом режиме, близком к критическим значениям скольжения. Это позволяет получить возможность тонкого управления частотой вращения асинхронным двигателем при одновременной оптимизации его энергетических характеристик (минимизации косинуса фи и др.).

Естественно, при проектировании системы управления неустойчивым объектом необходимо позаботиться о том, чтобы при потере управления, вызванного той или иной причиной, срабатывала система защиты и сигнализации, обеспечивающая минимизацию потерь, связанных с таким инцидентом.

Основными видами устойчивых процессов являются равновесие, гомеостазис, стационарный режим (циклическое повторение одной и той же последовательности состояний).

Свойство объекта приходить в равновесное (устойчивое) состояние после ступенчатых возмущающих воздействий называется *самовыравниванием* или *саморегулированием*.

Технологический процесс находится в состоянии равновесия, если одни воздействия на нее компенсируются другими или отсутствуют вообще.

Примеры равновесий:

1) *Механическое равновесие*, также известно как *статическое равновесие*, – состояние тела, находящегося в покое, или движущегося равномерно, в котором сумма сил и моментов, действующих на него, равна нулю.

2) *Химическое равновесие* – положение, в котором химическая реакция протекает в той же степени, как и обратная реакция, и в результате не происходит изменения количества каждого компонента.

3) *Термодинамическое равновесие* – состояние системы, в котором её внутренние процессы не изменяют макроскопических параметров (таких, как *температура и давление*).

Гомеоста́з (др.-греч. μοιοστάσις от μοιος – одинаковый, подобный и στάσις – стояние, неподвижность) – саморегуляция, способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия. Стремление системы воспроизводить себя, восстанавливать утраченное равновесие, преодолевать сопротивление внешней среды.

Гомеостаз популяции — способность популяции поддерживать определённую численность своих особей длительное время.

Гомеостатические системы обладают следующими свойствами:

1) *Нестабильность* системы: тестирует, каким образом ей лучше приспособиться.

2) *Стремление к равновесию:* вся внутренняя, структурная и функциональная организация систем способствует сохранению баланса.

3) *Непредсказуемость:* результирующий эффект от определенного действия зачастую может отличаться от того, который ожидался.

Когда происходит изменение в переменных, наблюдаются два основных типа обратной связи, на которые реагирует система:

1) *Отрицательная обратная связь*, выражающаяся в реакции, при которой система отвечает так, чтобы поменять направление изменения на противоположное. Так как обратная связь служит сохранению постоянства системы, это позволяет соблюдать гомеостаз.

Например, когда концентрация *углекислого газа* в организме человека увеличивается, лёгким приходит сигнал к увеличению их активности и выдыханию большего количество углекислого газа.

Терморегуляция – другой пример отрицательной обратной связи. Когда температура тела повышается (или понижается), *терморецепторы* в *коже* и *гипоталамусе* регистрируют изменение, вызывая сигнал из мозга. Данный сигнал, в свою очередь, вызывает ответ— понижение температуры (или повышение).

2) *Положительная обратная связь*, которая выражается в усилении изменения переменной. Она оказывает дестабилизирующий эффект, поэтому не приводит к гомеостазу. Положительная обратная связь реже встречается в естественных системах, но также имеет своё применение.

Например, в нервах *пороговый электрический потенциал* вызывает генерацию намного большего *потенциала действия. Свёртывание крови* и события при *рождении* можно привести в качестве других примеров положительной обратной связи.

Стабильность – способность системы функционировать, не изменяя собственную структуру, и находиться в равновесии. Это определение должно быть неизменным во времени.

Стабильное состояние – обычно, механическое равновесие. Неизменное (верное) функционирование системы в течение необходимого, длительного, существенного срока, в желаемых, заданных, суровых, неблагоприятных, неопределённых, непредсказуемых и т.д. условиях.

Американский физиолог Уолтер Кеннон (Walter B. Cannon) в 1932 году в своей книге «The Wisdom of the Body» («Мудрость тела») предложил этот термин как название для «координированных физиологических процессов, которые поддерживают большинство устойчивых состояний организма». В дальнейшем этот термин распространился на способность динамически сохранять постоянство своего внутреннего состояния любой открытой системы. Однако представление о постоянстве внутренней среды было сформулировано ещё в 1878 году французским учёным Клодом Бернаром.

Наличие обратных и противоточных технологических связей в сложных ТП обусловливает возможность таких явлений в процессе их функционирования, когда после возникновения какого-либо возмущения

параметры стационарного режима ТП не возвращаются к своим прежним значениям при устранении этого возмущения. Кроме того, при эксплуатации ТП из-за наличия возмущений может возникнуть такая ситуация, что найденные при проектировании ТП оптимальные параметры стационарного режима не будут сохраняться после устранения возмущений, и, следовательно, указанный режим нельзя будет реализовать, не используя специальные АСУТП.

Каждому стационарному режиму ТП соответствует набор определенных значений оценок свойств системы в нормальных условиях, т. е. в отсутствии возмущений. Следует отметить, что нормальные условия функционирования ТП, строго говоря, являются своеобразной идеализацией. Поскольку в действительности условия функционирования сложных ТП в той или другой мере отличаются от нормальных, важно знать, сохраняются ли требуемые свойства системы после возникновения и устранения возмущений.

Чтобы конкретизировать понятие устойчивости ТП, необходимо определить класс допустимых возмущений (бесконечно малые или конечные, детерминированные или стохастические возмущения), описать рассматриваемое свойство ТП, а также установить, какой смысл придается словам «сохранение требуемого свойства». Строго говоря, понятие устойчивости относится не к системе как таковой, а к какому-либо свойству ее функционирования. Так, система может быть устойчива к некоторым возмущениям в отношении одного свойства и неустойчива в отношении другого свойства. Точно так же может наблюдаться устойчивость ТП по отношению к одним возмущениям и неустойчивость по отношению к другим возмущениям в смысле одного свойства.

У нейтральных, или астатических, объектов явление самовыравнивания отсутствует. В таких объектах после ступенчатого изменения входной величины выходная величина изменяется с течением времени линейно, не принимая нового установившегося значения. Скорость изменения выходной величины пропорциональна величине скачка на входе.

Объекты регулирования, у которых степень самовыравнивания меньше нуля, называют неустойчивыми. Выходная величина для таких объектов при ступенчатом изменении входной величины изменяется с возрастанием скорости во времени.

6.5 Управляемость технологических процессов

Управляемость ТП – это свойство систем достигать желаемых целей управления (заданного качества продуктов, заданной производительности и т.д.) при тех ограниченных ресурсах управления, которыми располагает данная система в реальных условиях эксплуатации.

Состояние $x(t_1)$ линейной системы управляемо, если существует такой вход $u(t)$, который переводил бы начальное состояние $x_0(t_1)$ в конечное состояние $x_k(t_2)$ (начало координат) за конечный интервал времени $(t_2\text{-}t_1)$.

Система называется *полностью управляемой*, если все компоненты её *вектора состояний* управляемы.

Для *линейных систем* существует критерий управляемости в *пространстве состояний.*

Пусть существует система порядка n (с n компонентами вектора состояния), p входами и q выходами, записанная в виде:

$$\begin{aligned} x(t) &= A(t)x(\dot{t}) + B(t)u(t); \\ y(t) &= C(t)x(t) + D(t)u(t), \end{aligned} \tag{6.1}$$

где $x(t) \in R^n; y(t) \in R^q; u(t) \in R^p;$

$$\dim[A(\cdot)] = n * n, \dim[B(\cdot)] = n * p, \dim[C(\cdot)] = \\ = q * n, \dim[D(\cdot)] = q * p;$$

$$\dot{x}(t) := \frac{dx(t)}{dt}. \tag{6.2}$$

Здесь $x(\cdot)$ – вектор состояния;
$y(\cdot)$ – вектор выхода;
$u(\cdot)$ – вектор входа;
$A(\cdot)$ – матрица системы;
$B(\cdot)$ – матрица входа;
$C(\cdot)$ – матрица управления;
$D(\cdot)$ – сквозная матрица.
Для неё можно составить *матрицу управляемости*:

$$[B\ AB\ A^2B \dots A^{n-1}B].$$

Согласно критерию управляемости, если *ранг* матрицы управляемости равен *n*, система является полностью управляемой.

С *понятием управляемости* тесно связано свойство наблюдаемости системы, характеризующее возможность определения состояния невозмущенной системы по наблюдениям за ее выходными величинами y (t) на некотором временном интервале.

Управляемость является важнейшим свойством динамических режимов функционирования ТП. Свойство управляемости ТП непосредственно связано как с выявлением возможности воздействовать на состояние системы, так и с выявлением возможности управляющих переменных изменять вектор состояния ТП.

Поскольку в реальных условиях допустимые управления процессами функционирования ТП в некотором смысле ограничены, динамический режим перехода системы из произвольного начального состояния в произвольное конечное состояние не всегда возможен. Совокупность всех конечных

состояний, в которые ТП может перейти при заданном начальном состоянии и заданных ограничениях, называют *множеством достижимых состояний ТП, или достижимым множеством состояний.* Каждый проектируемый ТП должен быть управляемым. В связи с этим возникает задача совместного проектирования ТП и АСУТП.

6.6 Наблюдаемость технологических процессов

В теории управления *наблюдаемость* является свойством технологического процесса, показывающим, можно ли по выходу полностью восстановить информацию о состояниях процесса.

Процесс называется наблюдаемым, если на конечном интервале времени по выходу процесса в конце этого интервала $y(t1) \in R^q$, при известном управляющем воздействии $u(t) \in R^p$, можно определить все начальные компоненты вектора состояния $x(t0) \in R^n$.

Соответственно, наблюдаемыми состояниями процесса являются те компоненты вектора состояния, которые можно восстановить по условиям, приведённым выше.

Более формально можно сказать, что наблюдаемость по выходу процесса позволяет судить о процессах, происходящих внутри них. Ввиду того, что состояния системы играют важную роль в *управлении с помощью обратных связей*, важно, чтобы они были наблюдаемыми.

Критерий наблюдаемости

Для *линейных систем* существует критерий наблюдаемости в *пространстве состояний.*

Пусть существует система порядка n (с n компонентами вектора состояния), p входами и q выходами, записанная в виде:

$$\begin{aligned} x(t) &= A(t)\dot{x(t)} + B(t)u(t); \\ y(t) &= C(t)x(t) + D(t)u(t), \end{aligned} \tag{6.3}$$

где $x(t) \in R^n; y(t) \in R^q; u(t) \in R^p;$

$$\dim[A(\cdot)] = n * n, \dim[B(\cdot)] = n * p, \dim[C(\cdot)] = q * n, \dim[D(\cdot)] = q * p;$$

$$\dot{x}(t) := \frac{dx(t)}{dt}. \tag{6.4}$$

Здесь $x(\cdot)$ – вектор состояния;
$y(\cdot)$ – вектор выхода;
$u(\cdot)$ – вектор входа;
$A(\cdot)$ – матрица системы;
$B(\cdot)$ – матрица входа;
$C(\cdot)$ – матрица управления;

$D(\cdot)$ – сквозная матрица.

Для неё можно составить *матрицу наблюдаемости*:

$$\begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ . \\ . \\ . \\ CA^{n-1} \end{bmatrix}.$$

Согласно критерию наблюдаемости, если *ранг* матрицы наблюдаемости равен *n*, процесс является наблюдаемым.

6.7 Эмерджентность технологических процессов

Эмерджентность в теории систем – наличие у какой-либо системы особых свойств, не присущих ее элементам, а также сумме элементов, не связанных особыми системообразующими связями. Также можно описать, как качество, свойства системы, которые не присущи ее элементам в отдельности, возникают благодаря объединению этих элементов в единую, целостную систему.

В переводе с английского слово «emergence» означает неожиданное появление, возникновение. Но за последнее десятилетие этот термин претерпел некоторую эволюцию, и сейчас в своей уточненной сути эмерджентностью называется несводимость свойств целого к сумме свойств его частей.

Называть эмерджентность свойством или качеством системы некорректно, это проявляемый эффект при объединении неких элементов в систему согласно определенному принципу, присущ только этой системе. Так, эмерджентность является синонимом понятия «системный эффект», что предполагает собой проявления каких-либо качеств или свойств системы, которые не присущи для элементов данной системы в декомпозированном виде или несистематизированным объединением этих элементов. В итоге, эмерджентоность это эффект от манипуляций с элементами.

Принципиальным свойством любой ТП как объекта исследования является свойство эмерджентности. Следовательно, э*мерджентность* – это способность системы приобретать новые свойства целостности, которые отличаются от свойств отдельных элементов, образующих этот ТП. Рассмотрим свойство эмерджентности одноконтурной ТП. Данный ТП имеет три стационарных режима, один из которых является неустойчивым. Однако каждый из элементов ТП (реактор и теплообменник) в отдельности имеют только лишь устойчивые стационарные режимы. Кроме того, показатель чувствительности этой одноконтурной ТП при изменении КПД реактора будет

меньше показателя чувствительности одного реактора как локального элемента при изменении его КПД.

В результате взаимодействия между элементами ТП, которое происходит при помощи технологических связей, изменение параметров входных потоков некоторого элемента (или изменение параметров технологических режимов внутри этого элемента) приводит к изменению параметров выходных потоков других элементов и переменных состояния – системы в целом.

Также можно воспользоваться организацией, как примера, крупной системы, в данном случае эмерджентность – несовпадение цели организации с целями входящих в нее частей, точнее подразделений и департаментов. Если декомпозировать организацию, где в качестве элементов являются подразделения организации, тогда, наблюдаем, что каждое подразделение имеет собственные функции. К примеру, отдел бухгалтерии отвечает за учет, а отдел производства имеет функции выпуска продукции, отдел сбыта – поиск клиентов и продажу готовой продукции. Но цель самой организации – получение прибыли от реализации выпускаемой продукции, то есть цель организации не совпадает с целями элементов/ подразделений. Если один из элементов будет отсутствовать, например, отдел сбыта, то организация не сможет получить прибыль, так как произведенная продукция не будет реализована; если будет отсутствовать производственный отдел, то не будет продукции для реализации.

В тепловых процессах таким примером может стать процесс горения, где элементами являются окислитель, то есть кислород и топливо. При окислении топлива появляется светящаяся зона, называемая пламенем, то есть при взаимодействии двух элементов происходит процесс, при котором проявляется новое свойство – излучение света и тепла. Также при различных пропорциях окислителя и топлива можно получить различные горючие смеси, например, смесь окислителя и горючего, в которой окислителя ровно столько, сколько необходимо для полного окисления горючего. Такая смесь имеет название стехиометрической горючей смеси. При изменении пропорции окислителя и топлива, можно добиться эффекта сварки и резки металла.

Практически все свойства устройств – от простейших до сложных колмплексных систем – получены на основе эмерджентности, то есть каждый элемент данных устройств не имеет того свойства, которое имеет система. Например, радиоприемник (рисунок 6.1).

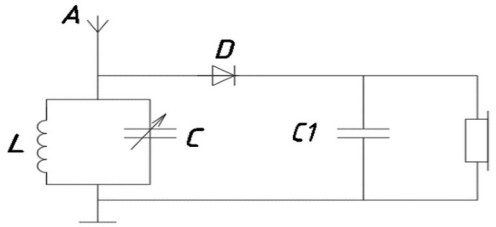


Рисунок 6.1 – Схема простейшего радиоприёмника

Из комбинации различных элементов электротехники таких, как конденсатор, резистор, индуктор и диод, получили свойство приёма радиосигнала. В качестве простейшего примера для систем автоматического регулирования можно разобрать типовую принципиальную схему САР, где регулирование происходит по отклонению (рисунок 6.2).

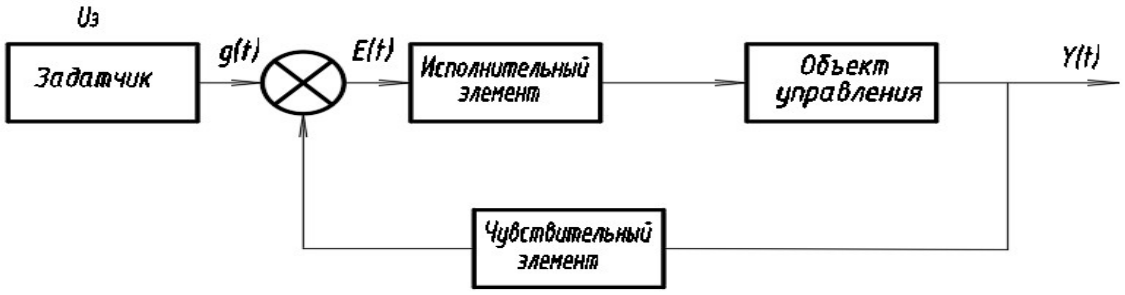


Рисунок 6.2 – Типовая принципиальная схема САР

Ясно, что каждый элемент в отдельности не имеет свойства регулирования объекта по отклонению. Если будет отсутствовать хоть один элемент, данная схема не будет работать; если будет отсутсвовать чувствительный элемент (обратная связь), то принцип регулирования по отклонению будет нарушен. При отсутствии задатчика, исполнительного механизма или объекта управления главная схема регулирования исчезает, и регулирование по такому принципу невозможно.

В итоге, эмерджентность – это эффект от комбинации различных элементов согласно определённому принципу для построения системы. Результатом данного эффекта является проявление свойства, присущего только системе в целом и никак элементам этой системы.

6.8 Сложность технологических процессов

Сложность ТП интуитивно можно оценивать уровнем сложности физико-химических явлений разнообразных ТП, происходящих в элементах системы: числом элементов; разветвленностью технологических связей между элементами и степенью их взаимодействия; числом параметров состояния ТП; квалификацией обслуживающего персонала, осуществляющего монтаж, наладку и эксплуатацию ТП; степенью использования ЭВМ для управления ТП.

6.9 Нагрузка объекта управления

Приход (расход) энергии (вещества) называется *нагрузкой* объекта управления. В качестве объекта рассмотрим его гидравлическую модель (рисунок 6.3). На нем представлен бак с водой. Приход и расход вещества

(энергии) в объектах моделируется соответственно приходом и расходом воды V_1 и V_2 м^3/сек, а регулируемый параметр представляется уровнем воды в баке Н м. Устройства 1 и 2 служат для изменения величины прихода и расхода.

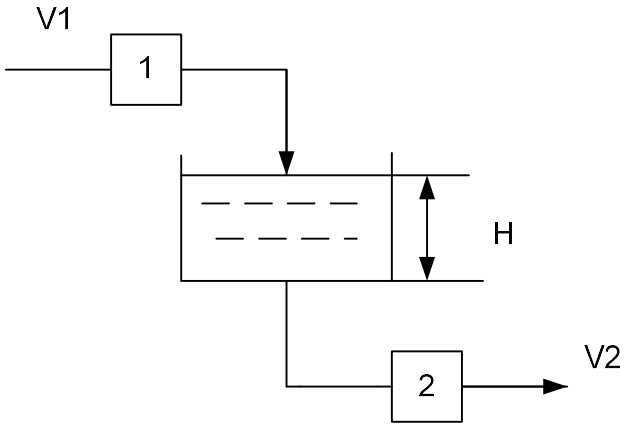


Рисунок 6.3 – Гидравлическая модель объекта управления

Действительно, многие из промышленных объектов управления с некоторыми допущениями могут быть представлены такой гидравлической моделью. Например, любая промышленная печь как объект регулирования температуры может быть представлена гидравлической моделью, а под регулируемым уровнем Н – представлена температура рабочего пространства печи. Для чанов и бункеров при регулировании в них уровня заполнения материалами эта модель еще более убедительна. Очевидно, что чем меньше изменяется нагрузка объекта, тем меньшим колебаниям подвергается регулируемый параметр – уровень воды в баке Н. Это положение вполне справедливо для любых объектов регулирования.

6.10 Емкость объекта

Количество вещества или энергии, содержащиеся в объекте в конкретный момент времени, называется емкостью объекта. Сопротивления, существующие в каждом объекте, способствуют накоплению (аккумулированию) вещества или энергии (жидкости, пара, газа, тепла и т.д.).

Мера емкости объекта выражается коэффициентом емкости. Коэффициентом емкости называется то количество энергии или вещества, приход которого в объект (или расход) вызывает приращение (или убывание) величины регулируемого параметра на единицу.

Емкость находится в прямой зависимости от коэффициента емкости. Чем больше этот коэффициент, тем больше и емкость регулируемого объекта. Например, при регулировании уровня жидкости в емкости с большой площадью поперечного сечения для изменения уровня на 1 мм требуется подать или отвести больше жидкости, чем при регулировании уровня в емкости

меньшего сечения. Коэффициент емкости, таким образом, определяет и скорость изменения параметра при любом возмущении и может быть постоянным (например, при регулировании уровня в резервуаре с постоянной площадью поперечного сечения) и переменным (например, при регулировании температуры). В первом случае коэффициентом емкости будет площадь поперечного сечения, во втором – количество тепла, которое необходимо отвести от объекта регулирования или подвести к нему для изменения температуры на 1 градус.

Если в объекте управления встречается несколько регулируемых параметров, то для каждого из них будут свои коэффициенты емкости.

Скорость возмущения находится в обратной зависимости от коэффициента емкости. При уменьшении коэффициента емкости скорость регулирования затрудняется. Например, при небольшом поперечном сечении сосуда небольшое изменение в подаче или отводе жидкости вызывает значительные изменения регулируемого параметра (уровня). А при больших коэффициентах емкости регулируемого объекта процесс регулирования облегчается. Коэффициент емкости объекта С в общем виде может определяться из следующего уравнения:

$$\frac{dH}{d\tau} = \frac{V}{C} \quad \text{или} \quad C = V|\frac{dH}{d\tau}, \tag{6.5}$$

где Н – параметр;

τ – время;

V – приход или расход энергии или вещества в секунду.

Например, для гидравлической модели объемная емкость C_0 будет:

$$C_0 = V|\frac{dH}{d\tau} = F\text{м}^2.$$

Для печей и других тепловых агрегатов емкость $C_т$, при приходе тепла Q Дж/сек (ккал/сек) и температуре агрегата t град:

$$C_т = Q|\frac{dt}{d\tau} = Gc \text{ [дж/град(ккал/град)]}, \tag{6.6}$$

где G – масса печи, кг;

С – удельная теплоемкость печи, дж/(кг·град)[ккал/(кг·град)].

Емкость объекта характеризует его аккумулирующую способность или инерционность. Чем больше емкость объекта, тем меньше скорость изменения параметра при одном и том же изменении нагрузки.

Величина емкости для одного и того же объекта может быть постоянной и переменной. Например, для гидравлической модели она постоянна только при различной их температуре.

Объекты управления по числу емкостей подразделяются на *одноемкостные* и *многоемкостные*. Одноемкостными называются объекты, состоящие из одного сопротивления и емкости, в которых входная переменная непосредственно воздействует на выходную переменную. Одноемкостные объекты описываются уравнениями апериодического и интегрирующего звеньев.

Линейным дифференциальным уравнением первого порядка описывается апериодическое звено:

$$T(dX_{вых}/dt)+X_{вых}=KX_{вх}. \quad (6.7)$$

Интегрирующее звено описывается дифференциальным уравнением вида

$$T(dX_{вых}/dt)=X_{вх}, \quad (6.8)$$

где Т – положительная величина, называется постоянной времени и выражается в единицах времени;

К – передаточный коэффициент, или коэффициент усиления звена.

Величина Т в данном случае обозначается $T_{об}$ и характеризует *емкость* объекта, т. е. количество вещества или энергии, которое находится в нем при заданном значении регулируемого параметра. При $T_{об}= \infty$ объект перестает быть регулируемым, так как регулируемая величина не зависит от параметра, на который действует регулирующий орган. При $T_{об}= 0$ объект вырождается в усилительное звено. Следовательно, емкость объекта влияет на качество регулирования.

Трубчатый теплообменник, где по трубе протекает жидкость, а в межтрубном пространстве – пар, является двухемкостным объектом управления.

Распространенными в промышленности одноемкостными управляемыми объектами являются аппараты, в которых регулируется уровень жидкости; теплообменники смешения с непосредственным контактом теплоносителя и нагреваемого (или охлаждаемого) вещества; аппараты, в которых регулируется давление газов или паров при отсутствии значительных гидравлических сопротивлений; участки трубопроводов при регулировании давления или скорости потока и т.п.

Многоемкостные объекты характеризуются наличием нескольких емкостей, отделенных одна от другой сопротивлениями, препятствующим переходу вещества или энергии из одной емкости в другую, в которых входная переменная воздействует на выходную переменную через ряд внутренних емкостей. Эти объекты описываются совокупностями апериодических, колебательных и интегрирующих звеньев. Характерной особенностью многоемкостных объектов является наличие так называемого *емкостного запаздывания*.

Многоемкостными объектами являются различные теплообменные аппараты с передачей тепла через стенку, сложные гидравлические системы и т. д. Например, кожухотрубчатый теплообменник является трехъемкостным объектом. Тепловые емкости этого объекта составляют пар, заполняющий межтрубное пространство; металл трубок, трубных решеток и кожуха аппарата; жидкость, находящаяся в данный момент в теплообменнике.

Многоемкостным объектом является, например, ректификационная колонна, в которой число емкостей определяется числом тарелок. Например, емкостью трубчатого теплообменника на входе является тепловая емкость греющего пара (межтрубное пространство), а на выходе - тепловая емкость жидкости в трубе.

Если постоянная времени тепловой емкости – металл аппарата мала по сравнению с постоянными времени тепловых емкостей пара и жидкости, то для упрощения расчетов этой промежуточной емкостью пренебрегают или относят ее к одной из основных емкостей. В этом случае кожухотрубчатый теплообменник приближенно рассматривается как двухъемкостный управляемый объект.

В многоемкостных объектах различают емкости на входе (или на стороне подачи и на стороне потребления). Например, у кожухотрубчатого теплообменника емкостью на входе является тепловая емкость пара, находящегося в межтрубном пространстве, а на выходе – тепловая емкость жидкости в аппарате.

6.11 Самовыравнивание

Свойство объекта самостоятельно восстанавливать (после возмущения) нарушенное равновесие процесса называется *самовыравниванием.* Значение управляемой величины выходной переменной после окончания самовыравнивания называется установившимся или *потенциальным*. Установившееся значение управляемой величины $У_{уст}$ постоянно для каждой нагрузки данного стационарного объекта. Самовыравнивание является следствием внутренней отрицательной обратной связи в устойчивом объекте (влияние значения управляемой величины на приток в объект и расход из него вещества или энергии). Чем больше величина самовыравнивания, тем меньше отклонение управляемой величины от состояния равновесия, существовавшего до приложения возмущающего воздействия. Самовыравнивание способствует стабилизации управляемой величины в объекте и, таким образом, облегчает работу управляющего устройства. В ряде случаев оказывается, что объекты с самовыравниванием, имеющие очень малый коэффициент усиления, не требуют применения регулятора. Они обладают свойством саморегулируемости.

Объект, обладающий самовыравниванием, называется *устойчивым* или *статическим.* В объекте, не обладающем самовыравниванием, после приложения возмущающего воздействия управляемая величина свободно

изменяется (если нет управляющего воздействия), неограниченно возрастая или уменьшаясь до нуля. Управляемые объекты, не обладающие самовыравниванием, называются *нейтральными* или *астатическими*. Нейтральные объекты описываются уравнениями интегрирующего звена. Они не имеют восстанавливающей силы, противодействующей нарушению равновесия процесса. При отсутствии возмущающего воздействия нейтральный объект может находиться в состоянии равновесия при любых значениях управляемой величины. При нарушении равновесия процесса скорость изменения управляемой величины пропорциональна величине возмущающего воздействия. Отсутствие самовыравнивания ухудшает управляемость объекта и применение регуляторов некоторых определенных типов вообще становится невозможным. Иногда управляемые объекты обладают отрицательным самовыравниванием. В этом случае возникшее нарушение равновесия стремится к самовыравниванию. В промышленности объектами с отрицательным самовыравниванием являются аппараты, в которых протекают *автокаталитические реакции*. Если процессом не управлять, то при положительном автокатализе реакция самоускоряется, бурно нарастая, при отрицательном автокатализе скорость реакции уменьшается и она прекращается. Самовыравнивание в объектах бывает как на входе, так и на выходе.

Широко распространенными управляемыми объектами с самовыравниванием являются различные теплообменные аппараты. В качестве примера рассмотрим трубчатый теплообменник для нагрева жидкости насыщенным водяным паром. Предположим, что давление пара повысилось, т. е. приток тепла в аппарат увеличился. Тогда температура нагреваемой жидкости начнет повышаться, но не безгранично, лишь до потенциального значения, соответствующего новой тепловой нагрузке аппарата (рассматривается объект без приложения управляющего воздействия). Самовыравнивание на входе объекта происходит вследствие того, что при повышении температуры нагреваемой жидкости количество тепла, передаваемого от пара жидкости через стенки трубок, уменьшается. Самовыравнивание на выходе объекта обусловливается увеличением количества тепла, отводимого из теплообменника с жидкостью, нагретой до более высокой температуры.

На рисунке 6.4, а показан объект с самовыравниванием на входе. В емкость 1 опущена труба 3, по которой поступает жидкость. Приток жидкости в емкости устанавливается вентилем 2. Расход из емкости определяется производительностью насоса 4, которая изменяется в результате ступенчатого изменения числа оборотов привода.

Если $Q_п=Q_Р$, то в емкости установится определенное значение уровня, что приведет к уменьшению статического подпора жидкости в выходном сечении трубы 3. С уменьшением подпора увеличится приток жидкости в емкость и через некоторое время T_a расход и приток уравняются, при этом уровень установится на новом значении H_1 (рисунок 6.4, б).

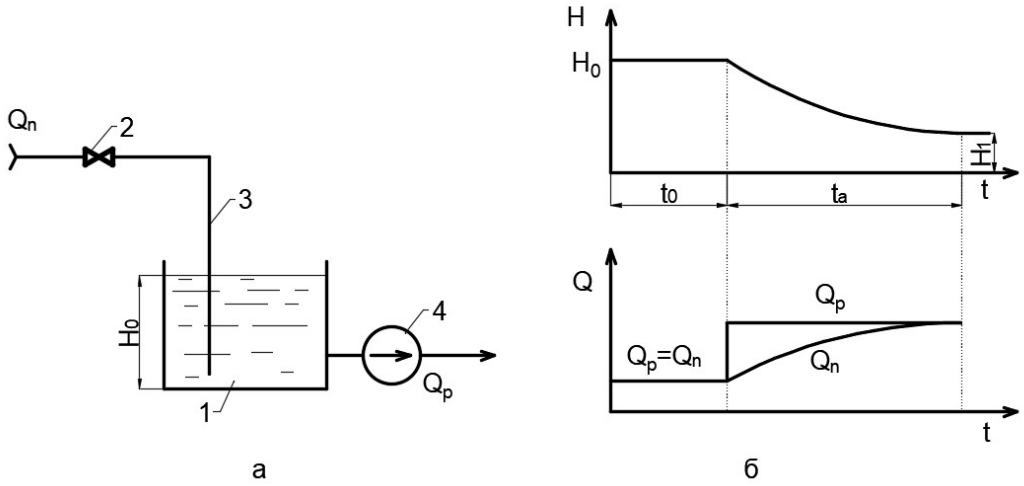


Рисунок 6.4 – Объект управления с самовыравниванием на входе (а) и его разгонная характеристика (б)

Объект с самовыравниванием на выходе (на линии расхода) показан на рисунке 6.5. В отличие от предыдущего в данном случае расход из емкости 1 устанавливается вентилем 3, а приток жидкости в емкость – вентилем 2.

Если скачкообразно увеличить приток жидкости в емкость (открыв вентиль 2), то уровень в емкости начнет плавно возрастать до тех пор, пока под действием гидростатического давления новое значение расхода станет равным новому значению притока.

Примером объекта управления с идеальным самовыравниванием может служить емкость с переливной трубой, обеспечивающей постоянный уровень при любых изменениях притока жидкости (рисунок 6.6).

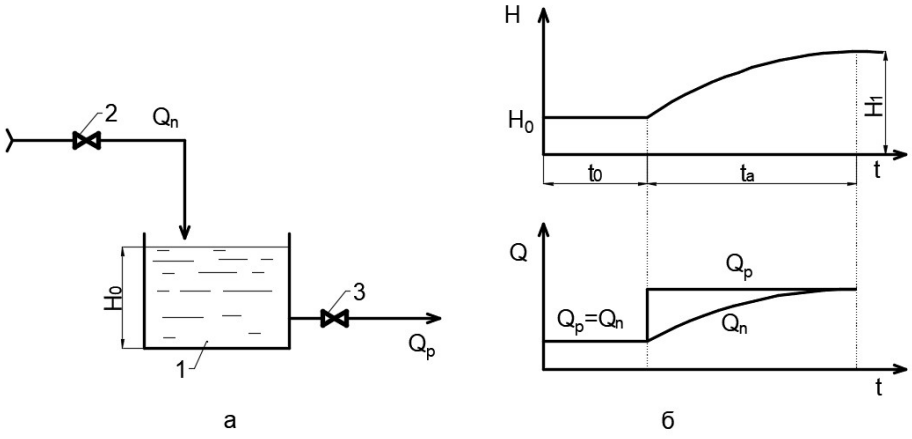


Рисунок 6.5 – Объект управления с самовыравниванием на выходе (а) и его разгонная характеристика (б)

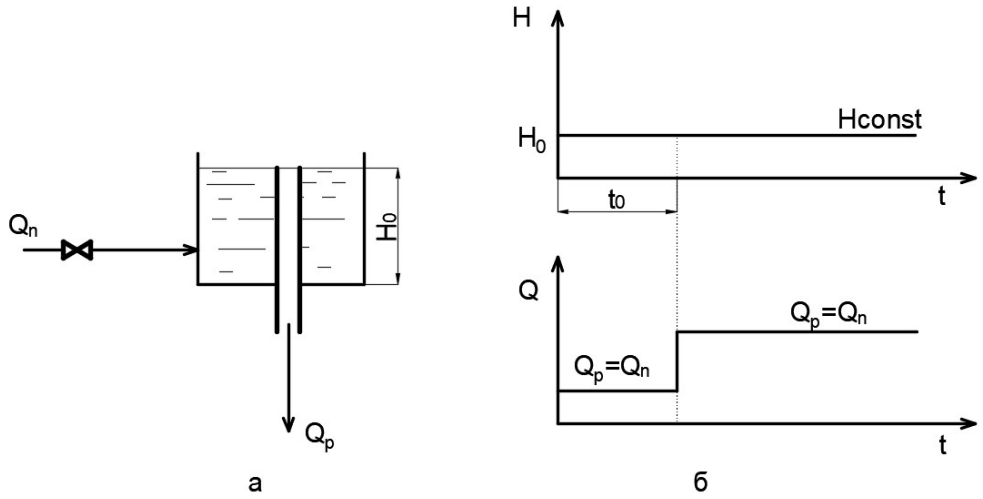


Рисунок 6.6 – Объект управления с идеальным самовыравниванием (а) и его разгонная характеристика (б)

Количественно явление самовыравнивания характеризуется так называемой степенью самовыравнивания ρ, являющейся коэффициентом пропорциональности в уравнении, связывающем относительную величину возмущения Δμ с относительным отклонением регулируемого параметра Δφ:

$$\Delta\mu = Q\Delta\varphi \text{ или } Q = \frac{\Delta\mu}{\Delta\varphi}.$$

Здесь $\Delta\mu$ – величина возмущения по приходу или расходу энергии или вещества, выраженная в безразмерных единицах и отнесенная к нормальному расходу или приходу при заданном значении параметра;

$\Delta\varphi = \frac{\Delta H}{H_э}$ – отклонение параметра, выраженное в безразмерных единицах и отнесенное к заданному значению параметра.

Степень самовыравнивания – величина безразмерная, имеющая для одного и того же объекта различные значения в зависимости от разновидности параметров и величины нагрузки.

6.12 Запаздывание

Для реальных объектов момент начала изменения регулируемой величины не совпадает с моментом приложения возмущения к объекту. Отставание изменения регулируемой величины от момента подачи возмущения называется *запаздыванием*. Различают два вида запаздывания: транспортное (или чистое) запаздывание τ_{m} и емкостное (или инерционное) m_e.

Элемент запаздывания присутствует во всех реальных объектах. Наличие в регуляторах зоны нечувствительности, «мертвые» ходы в передаточных системах, люфты, трения в покое, выбеги исполнительных механизмов и др.

оказывают влияние на переходной процесс данного объекта, проявляющий себя в виде запаздывания и инерционности.

На рисунке 6.7 видно, что при наличии внешнего воздействия кривая разгона в течение некоторого времени τ_0 остается неизменной. Данное время называют «чистым запаздыванием» или просто запаздыванием.

Транспортное запаздывание обусловлено наличием звена частого запаздывания, например, наличием в составе агрегата транспортера, загружающего материал. Транспортное запаздывание значительно усложняет систему автоматического регулирования и сам процесс регулирования, поэтому на практике по возможности стремятся к уменьшению $\tau_т$, располагая регулирующие органы на более близком расстоянии от объекта, а также увеличивая скорость транспортировки вещества или энергии в объект. Во многих случаях время чистого запаздывания не зависит от нагрузки на объект.

Далее время τ_n, где скорость изменения параметра кривой разгона плавно растет, характеризуется временем «переходного» или «емкостного» запаздывания. За этот отрезок берут время, протекшее от начала возрастания параметра до пересечения оси времени с касательной кривой разгона в ее точке перегиба.

Емкостное запаздывание τ_e обусловлено наличием тепловых, гидравлических, электрических и прочих сопротивлений в объекте, которые вызывают отставание изменения выходной величины относительно момента приложения возмущения.

Если характеристики реальных объектов регулирования изменяются во времени, то объекты описываются дифференциальными уравнениями с коэффициентами, которые изменяются в функции времени (нестационарные объекты). Если характеристики объектов не изменяются во времени или изменяются незначительно, то объекты описываются дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами (стационарные объекты).

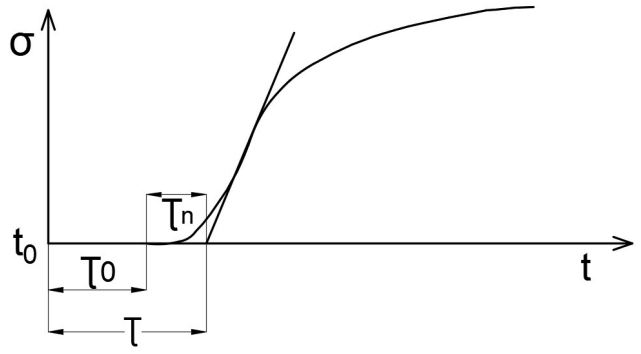


Рисунок 6.7 – Общая типовая кривая разгона неидеализированного регулируемого участка

В действительности, кривая разгона может иметь и только чистое запаздывание, и только переходное запаздывание (рисунок 6.8).

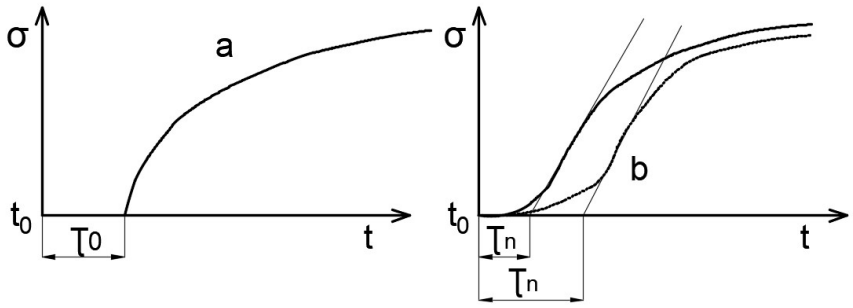


Рисунок 6.8 – Переходное запаздывание кривой разгона

Примерами системы с чистым запаздыванием являются системы регулирования температурой и расхода воды с помощью клапана.

6.13 Инерционность

Инерционность – это фундаментальное свойство динамических объектов и их элементов, состоящее в противодействии объекта внешним воздействиям, их попыткам изменить его состояние и поведение, т.е. динамический объект, сопротивляясь воздействию, препятствует изменению своей выходной величины, пытаясь сохранить ее значение, и только постепенно, со временем, откликается на воздействие изменением реакции. Естественно, что объект при этом противодействует источнику воздействия, в большей или меньшей мере влияя на его выходную величину.

Элементарной математической моделью элемента, способного к накоплению, является интегратор. Это модель устройства, выходная величина которого пропорциональна интегралу по времени от входного воздействия. Его выходная величина зависит как от мгновенных значений воздействия, так и от общего времени, продолжительности воздействия.

Инерционность элементарного динамического объекта, обладающего таким свойством, т.е. интегратора, может быть определена как способность к накоплению и сохранению энергии (материи), получаемой от внешних воздействий, и отдаче энергии (материи). Интеграторы называют элементами с памятью в том смысле, что при отсутствии входного сигнала его выходной сигнал не изменяется. Интегратор как модель элементарного инерционного объекта – однонаправленный элемент.

Многие реальные объекты представляют собой некоторого рода емкости, способные получать, содержать (хранить) и отдавать материальную субстанцию или энергию. Это, например, собственно емкости для жидкостей, электрические емкости и индуктивности, способные запасать энергию, движущиеся поступательно или вращательно механические (инерционные) массы и др. Объем или уровень жидкости в емкости пропорциональны мгновенной скорости поступления жидкости в емкость и времени, и математически определяются интегралом по времени от этой скорости.

Скорость изменения накопленной энергии или материи не может быть бесконечной, эта скорость конечна: энергия не может измениться скачком. В электротехнике это свойство определяют т.н. законы коммутации.

Элемент динамического объекта, составленный из нескольких накопительных элементов, последовательно влияющих один на другой, также является инерционным объектом. Модель его может состоять из одного или нескольких, включенных последовательно интеграторов. Число интеграторов определяет степень инерционности объекта.

Только те элементы динамических объектов и систем и их моделей, которые способны накапливать, сохранять и отдавать энергию, обладают инерцией, которая проявляется в том, что при конечных по величине воздействиях и конечных их изменениях, в том числе ступенчатых, выходной сигнал изменяется непрерывно, а при отсутствии воздействия, выходной сигнал постоянен. Примеры устройств (рисунок 6.9), обладающих элементарной инерцией, и которые в первом приближении могут считаться интеграторами, и реакция идеального интегратора на прямоугольное воздействие.

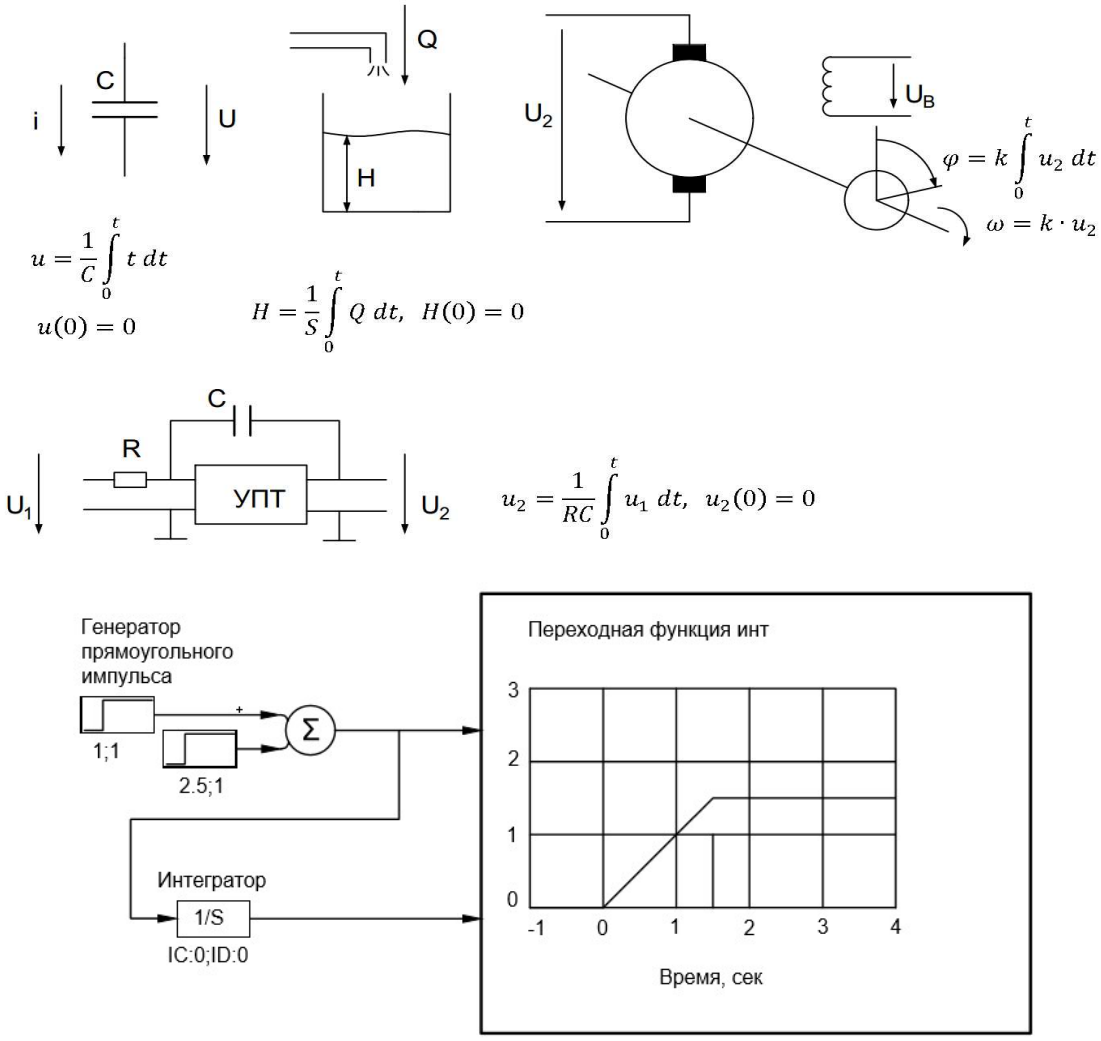


Рисунок 6.9 – Примеры устройств

Простейшими примерами проявления той или иной степени инерционности линеаризованных объектов являются объекты, подчиняющиеся следующим законам:

– закону Гука: смещение объекта пропорционально приложенной к нему силе. Безынерционное, пропорциональное звено. Степень инерционности нулевая;

– закону Пуазейля: скорость объекта в вязкой среде пропорциональна приложенной к нему силе. Модель – интегратор. Степень инерционности первая;

– второму закону Ньютона: ускорение массивного тела в свободном пространстве пропорционально приложенной к нему силе. Модель – два последовательно включенных интегратора. Степень инерционности вторая;

– на короткое время и в ограниченном пространстве системы могут реагировать на силу (внешнее воздействие) и изменением третьей (степень инерционности третья) и более высоких производных реакций (выходной величины), в частности, положения некоторой точки системы. Модель – несколько включенных последовательно интеграторов.

В отсутствие воздействия (силы) перечисленные инерционные объекты сохраняют свое состояние на момент выключения силы: упругий элемент возвращается в исходное состояние, объект в вязкой среде останавливается, массивное тело продолжает равномерное движении. А объект третьего порядка двигается, хотя это кажется необычным, с ускорением и т.д.

Реальные динамические объекты с нулевыми начальными условиями проявляют свойства элементарных объектов в начальные моменты времени действия на них внешних сил.

Как видно, второй закон Ньютона занимает важное, но не уникальное место в системе законов, характеризующих понятие инерционности.

Отметим также, что во Вселенной по мере разгона тела зависимость его движения от приложенной силы становится нелинейной (теория относительности).

Они по-разному реагируют на одно и то же воздействие, и по-разному ведут себя в отсутствии воздействий. Чем больше степень инерционности объекта, тем «ленивее» он реагирует на воздействие и тем «энергичнее» может двигаться в их отсутствие.

Инерционность объекта характеризует его способность к замедлению накапливать и расходовать вещество или энергию в результате наличия сопротивлений, которые препятствуют их поступлению и расходу. Инерционность объекта зависит от его емкости, которая физически выражается в виде теплоемкости, вместимости резервуара, инерционности движущихся масс и т. д.

В реальном объекте накапливающиеся элементы вовсе не обязательно представляют собой последовательную цепочку, но при моделировании структурную схему модели сложного объекта можно привести именно к последовательности интеграторов, охваченной обратными связями.

6.14 Постоянная времени

Постоянная времени – характеристика экспоненциального процесса, определяющая время, через которое амплитуда процесса упадёт в «e» раз (e≈2,718). Это величина, характеризующая инерционность динамической системы, имеет размерность времени. Например, постоянная времени электрической цепи характеризует скорость изменения тока или напряжения в ней при переходном процессе; время, в течение которого температура термопары изменится на 63 % (в «e» раз) (рисунок 6.10).

В радиотехнике постоянная времени τ характеризует длительность протекания переходного процесса, обычно это тот промежуток времени, в течение которого реакция схемы на единичный скачок (функция Хевисайда) достигает 1 − 1/e ≈ 63.2 % от своего конечного значения. Также постоянная времени характеризует время убывания реакции до уровня 1 / e ≈ 36.8 % от своего первоначального значения.

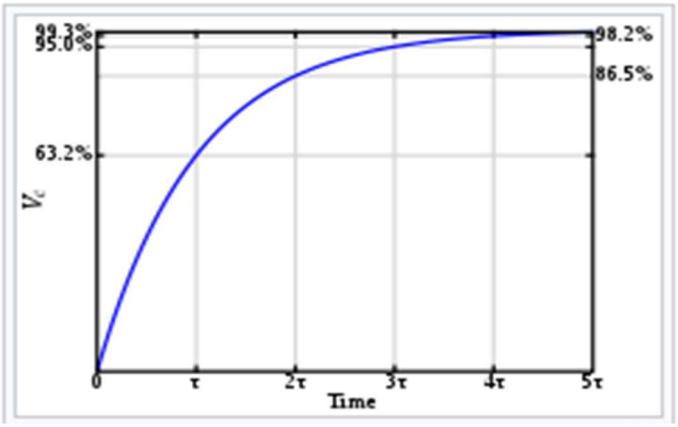


Рисунок 6.10 – Реакция апериодического звена на единичное ступенчатое воздействие

Постоянная времени – обобщённый параметр, характеризующий динамические свойства (инерционность) объекта исследования и имеющий размерность времени. Любой сложный физический процесс можно представить в виде совокупности более простых процессов, каждый из которых может быть описан математически в виде линейного дифференциального уравнения первого или второго порядка. Эти «простые» процессы в теории автоматического управления называют типовыми звеньями. Например, апериодическое типовое звено первого порядка описывается дифференциальным уравнением:

$$T\frac{dy}{dt} + y = kx, \tag{6.9}$$

где x – входная координата;
y – выходная координата;

k – коэффициент пропорциональности;

T – постоянная времени.

Постоянной времени широко пользуются при расчётах динамики различных объектов исследования (процессов). Так, нагревание вещества в замкнутой ёмкости при постоянной температуре окружающей среды описывается уравнением:

$$\frac{mc}{\alpha F} \cdot \frac{d(\theta-\theta_0)}{dt} + (\theta - \theta_0) = \frac{P}{\alpha F}, \quad (6.10)$$

где m – масса вещества с удельной теплоемкостью c;

a – коэффициент теплопередачи в среду, окружающую емкость;

F – приведенная поверхность теплоотдачи;

θ – температура окружающей среды;

θ_0 – начальная температура вещества;

P – мощность теплового потока, подводимого скачком к веществу от нагревателя в начальный момент времени t = 0.

Изменение температуры вещества определяется уравнением:

$$\theta(t) = \theta_0 + \frac{P}{\alpha F}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right), \quad (6.11)$$

где величина $T = \frac{mc}{\alpha F}$ и есть *Постоянная времени* – чем больше T, тем медленнее идёт нагревание.

При переходных процессах в электрических цепях *Постоянная времени* характеризует скорость изменения тока или напряжения в цепи. Например, при зарядке конденсатора ёмкостью C от источника постоянного тока с ЭДС E через сопротивление r (значительно большее внутреннего сопротивления источника тока) напряжение на обкладках конденсатора изменяется по следующему закону (рисунок 6.11):

$$u_c = E^{\left(1-e^{-\frac{t}{T}}\right)}, \quad (6.12)$$

где T = r×C – *Постоянная времени*, которая определяет скорость протекания процесса зарядки. Для электрических цепей, содержащих индуктивность L, Постоянная времени равна $T = \frac{L}{r}$.

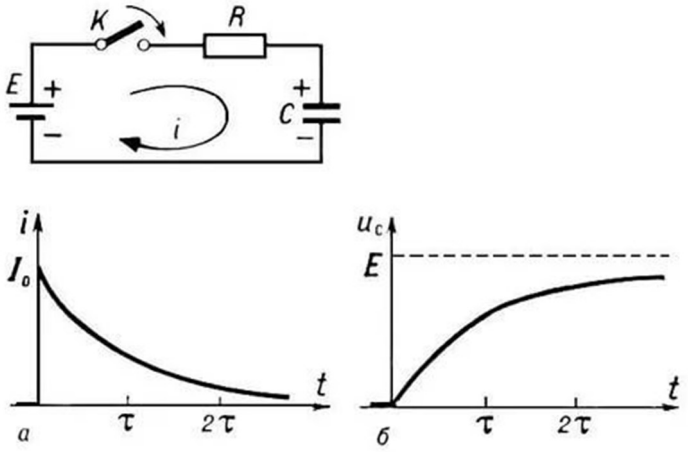


Рисунок 6.11 – Постоянная времени в электрической цепи

Контрольные вопросы.

1. Что такое технологический объект?
2. Основные свойства технологических объектов.
3. Надежность, безопасность и работоспособность ТП.
4. Чувствительность и изменения параметров ТП.
5. Какие существуют виды вариаций?
6. Какое свойство определяется условиями действия внутренних и внешних помех?
7. Что такое устойчивость ТП? Приведите пример устойчивых объектов.
8. Как можно определить, что система полностью управляема?
9. Можно ли по выходу полностью восстановить информацию о состояниях процесса?
10. Что такое эмерджентность?
11. Как оценивается сложность технологических процессов?
12. Как можно выразить меру емкости?
13. Какие подразделения существуют у емкости объекта управления?
14. Как называются объекты, обладающие самовыравниванием?
15. Запаздывание как свойство технологического объекта.
16. Постоянная времени.

7 Характеристики объектов управления

При разработке систем автоматизации различных технологических процессов каждый объект, несмотря на их большое разнообразие, описывается весьма ограниченным числом характеристик. Характеристики объектов автоматизации формализованы, т.е. являются обобщенными для объектов любой природы, и определяются их свойствами, которые для успешной разработки автоматической системы необходимо изучить.

Характеристиками, полностью определяющими свойства объектов автоматизации, являются статическая и динамическая.

7.1 Статические характеристики объектов и уравнения балансов

Статической характеристикой объекта называется зависимость между его выходной – *y* и входной – *x* переменными в установившемся состоянии:

$$y=f(x). \tag{7.1}$$

Установившееся или статическое состояние объекта возможно лишь при равенстве прихода вещества или энергии в объект и их расхода. В этом случае регулируемый параметр не изменяется во времени. Установившиеся состояния объекта при различных значениях регулируемого параметра отражает статическая характеристика объекта, которая представляет собой зависимость регулируемого параметра от положения регулирующего органа в установившихся состояниях. Статическую характеристику целесообразно находить только для устойчивых объектов, т.е. для объектов, обладающих положительным самовыравниванием.

Статическая характеристика может быть представлена графически, таблично или аналитически.

Аналитическое определение статической характеристики заключается в составлении уравнения материального или энергетического баланса объекта для установившихся состояний, отыскании в нем неизвестных величин и нахождения по нему зависимости между выходной и входной величинами объекта.

По виду статической характеристики объекты разделяются на линейные и нелинейные.

Статическая характеристика линейного объекта описывается линейным алгебраическим уравнением:

$$y=a+kx, \tag{7.2}$$

где *a* и *k* – постоянные величины $k=tg\varphi$ – коэффициент передачи объекта;

φ – угол наклона статической характеристики к оси абсцисс.

График статической характеристики линейного объекта приведен на рисунке 7.1, а.

Из линейности статической характеристики следует, что каждому приращению входной переменной соответствует пропорциональное приращение выходной переменной. Так, при изменении входной величины x до $x_2=x_1+\Delta x$ выходная величина *y* соответственно примет значение $y_2=y_1+\Delta y$. Приращение выходной величины:

$$\Delta y= tg\varphi\Delta x= k\Delta x. \tag{7.3}$$

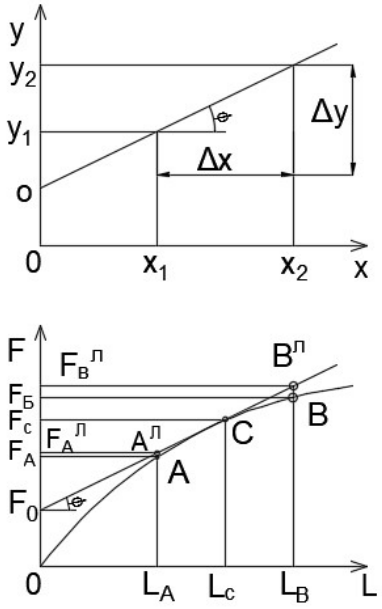
Статическая характеристика нелинейного объекта описывается нелинейным алгебраическим уравнением (7.1), где *f* – нелинейная функция.

Существует очень много разновидностей нелинейных функций. Главное их отличие от линейных состоит в том, что они не обладают свойством (7.1), т.е. изменения выходных и входных величин не связаны линейной зависимостью.

Нелинейная статическая характеристика сборника со свободным стоком через клапан (рисунок 7.1), характеризующая зависимость выходной величины объекта – расхода F от входной величины – уровня жидкости L, приведена на рисунке 7.1, б.

Знание статических характеристик очень важно при разработке систем автоматизации. Они позволяют, например, определить значение входного параметра для получения требуемого значения выходного.

На практике, как правило, статические характеристики нелинейны. Однако в областях малых изменений переменных нелинейные статические характеристики можно приближенно представлять линейными, т. е. проводить линеаризацию нелинейного объекта. Линеаризация проводится в области рабочей точки – рабочего режима объекта – графически или аналитически.



а – сборника со свободным стоком; б – сатуратора.

Рисунок 7.1 – Статические характеристики объектов

Например, для характеристики, приведенной на рисунок 7.1 б, описываемой нелинейным уравнением $F = \varphi\sqrt{L}$ (где φ – константа, зависящая от характеристик жидкости и клапана), рабочая область расположена в окрестности точки С. Для линеаризации этой статической характеристики в точке С проводится касательная, и для этой касательной составляется уравнение:

$$F^{л} = F_0 + tg\varphi L. \qquad (7.4)$$

В дальнейшем при изменении уровня в области $L\epsilon(L_A;\ L_B)$ соответствующие значения расхода будут вычисляться по уравнениям (7.1-7.3). Естественно, что эти значения будут отличаться от фактических на величину ошибки ΔF, которая будет тем больше, чем дальше от точки С будет находиться измеряемое значение. Так, в точке А эта ошибка равна $\Delta F=F_A-F_A^{л}$.

Статические характеристики можно определить *расчетным путем* на основании уравнений материальных, тепловых или энергетических балансов объектов или же снять экспериментально с действующего объекта.

Рассмотрим примеры построения статических характеристик для двух объектов (рисунок 7.2).

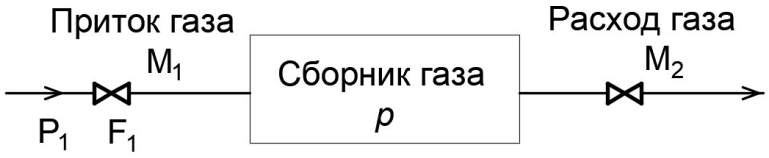


Рисунок 7.2 – Схема баланса газа в газовом сборнике

Материальный баланс которого описывается следующим уравнением:

$$F_1\sqrt{p_1-p}=F_2\sqrt{p}, \tag{7.5}$$

отсюда,

$$p=\frac{p_1}{1+\frac{F_2^2}{F_1^2}}. \tag{7.6}$$

Полученная формула (7.6) выражает зависимость выходной величины *p* от трех величин – p_1, F_1, F_2. Для определения статической характеристики сборника газа надо найти зависимость *p* от F_1, при постоянных значениях p_1, и F_2. Примем, что давление газа *p* сети все время постоянно: $p_1 = 24{,}5\cdot10^4$ н/м^2 (2,5 кГ/см^2), а размер проходного сечения со стороны потребления F_2 последовательно изменяется в зависимости от потребления газа в следующих пределах: F_2= 0,9; 0,5 и 0,2 м^2.

Для F_2=0,9 м^2 формула (7.6) преобразуется так:

$$p=\frac{24{,}5\cdot10^4}{1+\frac{0{,}81}{F_1^2}}\ \text{н/м}^2;\left[p=\frac{2{,}5}{1+\frac{0{,}81}{F_1^2}}\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}\right].$$

Из этого выражения находим зависимость величины p от F_1, принимая различные значения для F_1:

F_1, м^2	……	0,2	0,4	0,6	0,8	1
p:	……					
гн/м^2	……	116	405	755	1080	1350
кГ/см^2	……	0,118	0,412	0,77	1,1	1,38

На рисунке 7.3 по этим данным построена статическая характеристика сборника газа по давлению p для случая нагрузки по потреблению газа 90% (считая, что относительный весовой расход газа M_2 строго пропорционален относительному размеру проходного сечения F_2 = 0,9). Принимая другие значения проходного сечения F_2, соответствующие другим нагрузкам сборника по потреблению газа, по формуле (7.6) можно найти все семейство статических характеристик для разнообразных нагрузок.

Используя найденную расчетную статическую характеристику объекта (рисунок 7.3), определим по ней степень самовыравнивания Q для средних значений F_1.

Известно, что степень самовыравнивания определяется по формуле:

$$Q = \frac{\Delta\mu}{\Delta\varphi}. \qquad (7.7)$$

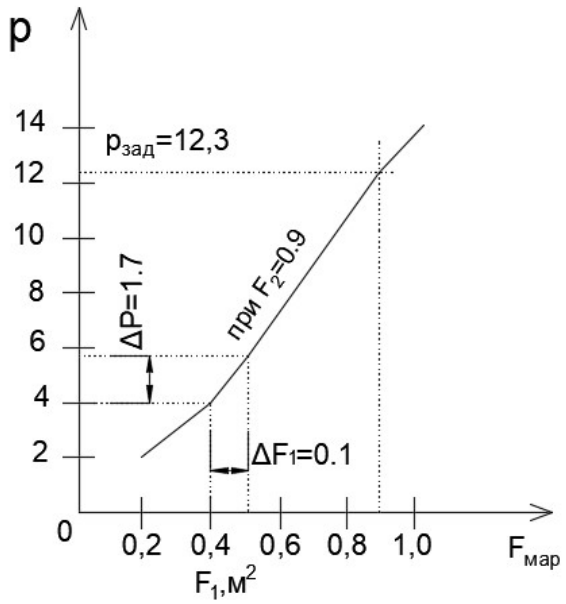


Рисунок 7.3 – Статическая характеристика сборника газа по давлению Р для нагрузки по потреблению 90%

Относительное изменение прихода газа $\Delta\mu$ (рисунок 7.3):

$$\Delta\mu = \frac{\Delta F_1}{F_{\text{нор}}} = \frac{0{,}1}{0{,}9} = 0{,}11.$$

Относительное отклонение давление газа $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta p}{p_{\text{зад}}} = \frac{1{,}7 \cdot 10^4}{12{,}3 \cdot 10^4} = 0{,}138.$$

Отсюда,

$$Q = \frac{0.11}{0.138} = 0.8.$$

Емкость сборника как объекта регулирования $C_д$ может быть вычислена из выражения:

$$C_д = \frac{V}{p + p_{\text{атм}}} = \frac{36}{12{,}3 \cdot 10^4 + 10{,}1 \cdot 10^4} = 1{,}6 \cdot \frac{10^{-4}\text{м}^3}{\frac{\text{н}}{\text{м}^2}} \ [15.9\ \text{м}^3/(\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2})].$$

Здесь $p_{атм}$= $10{,}1 \cdot 10^4$ – атмосферное давление, н/м^2 (1,01 кГ/см^2).

7.2 Линейность и нелинейность технологических процессов

В некотором интервале изменения переменных в окрестности точки, соответствующей заданному технологическому режиму, математическое описание многих объектов управления может быть представлено с достаточной для управления точностью линейными уравнениями.

Объекты с сосредоточенными и распределенными параметрами могут быть линейными и нелинейными и иметь постоянные или переменные параметры. Объекты с постоянными параметрами описываются дифференциальными уравнениями, коэффициенты которых не зависят от времени и от нагрузки объекта. В объектах же с переменными параметрами последние являются функцией времени и нагрузки.

Линейные объекты с сосредоточенными и постоянными во времени параметрами, имеющие одну входную и одну выходную величину и динамические свойства, описываемые дифференциальным уравнением не выше второго порядка, обычно относят к *простым* объектам. Их можно описать тем или иным элементарным типовым динамическим звеном. Все другие объекты относят к *сложным*.

Простые объекты – это технологические процессы, протекающие в типовых объектах промышленных производств, которые можно представить в виде следующих операций: поступательное движение (транспортировка сырья, промежуточных и конечных продуктов); вращательное движение (процессы перемешивания сырья и исходных материалов); нагревание и охлаждение веществ в определенном объеме, заполнение или опорожнение сосуда веществом и т.д.

Сложные объекты промышленной технологии характеризуются несколькими выходными величинами при наличии одной или нескольких входных величин. Динамические свойства таких объектов описываются системой дифференциальных уравнений. В объектах с одной регулируемой величиной и несколькими входными величинами достаточно иметь одну систему автоматического регулирования, работающую по принципу отклонения, так как в этом случае для компенсации всех возмущений достаточно регулирующего воздействия только по одному параметру. В объектах же с несколькими выходными величинами часто приходится создавать несколько отдельных САР, при этом по каждой из регулируемых величин сложный объект можно рассматривать как простой с одной входной и одной выходной величинами.

7.3 Динамические характеристики объектов и уравнения динамики

Динамической характеристикой объекта называется зависимость, определяющая изменение во времени выходной переменной объекта в результате поступления на его вход некоторого типового возмущающего воздействия. Динамическая характеристика определяет продолжительность и характер процесса изменения выходной переменной объекта во времени при переходе объекта из одного установившегося состояния в другое и описывается уравнением вида:

$$y=f(x,t), \tag{7.8}$$

где t – время.

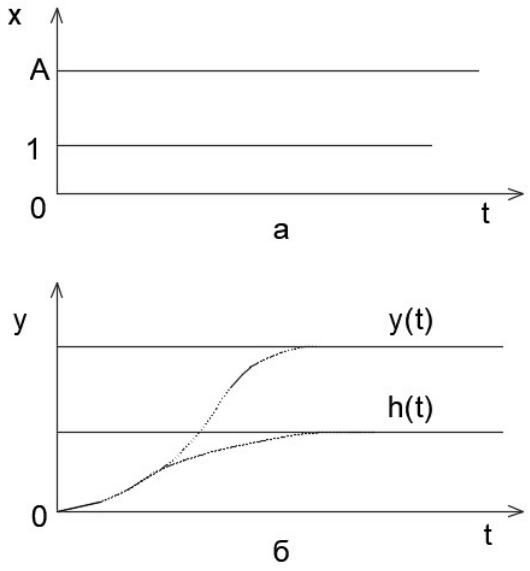


Рисунок 7.4 – Графики ступенчатых воздействий (а) и переходных характеристик (б)

В практике регулирования распространенными типовыми возмущающими воздействиями являются ступенчатое и гармоническое синусоидальное воздействия. Графики ступенчатых воздействий показаны на рисунке 7.4, а.

Дифференциальное уравнение движения достаточно точно может быть составлено лишь для сравнительно простых объектов, переходные процессы которых описываются дифференциальными уравнениями высокого порядка, определяются экспериментальным нахождением их динамических характеристик – временных и частотных.

Под временной характеристикой объекта понимается изменение регулирующего параметра во времени при нанесении типового возмущающего воздействия. В случае ступенчатого воздействия получают переходную характеристику, а при использовании однократного импульсного возмущения – импульсную переходную характеристику.

Переходную характеристику получают следующим образом. Объект приводят в равновесное состояние, после чего быстро наносят ступенчатое возмущение энергичным изменением степени открытия проходного сечения соответствующего регулирующего органа, отмечая время и величину возмущения. Затем регистрируют значения регулируемого параметра объекта во времени до тех пор, пока объект не придет в новое равновесное состояние. По полученным данным строят кривую разгона в осях координат: выходная величина – время.

Импульсную переходную характеристику находят в случае, если продолжительное ступенчатое возмущение вызывает нарушение нормального режима технологического процесса вследствие отклонения регулируемого параметра сверхустановленных предельных значений.

Для представления динамических характеристик объектов могут использоваться переходная характеристика и передаточная функция.

Переходной характеристикой объекта y(t) (рисунок 7.4, б) называется динамическая характеристика, определяющая изменение выходной величины объекта во времени при входном ступенчатом воздействии:

$$x(t) = A \cdot 1(t), \tag{7.9}$$

где 1(t) – единичное ступенчатое воздействие;

A – постоянная.

При этом:

$$1(t) = \begin{cases} 0 \text{ при } t < 0; \\ 1 \text{ при } t \geq 0. \end{cases} \tag{7.10}$$

Переходная характеристика, получаемая при x(t) = 1(t), называется *переходной функцией* и обозначается h(t) (рисунок 7.4, б).

Удобство переходной характеристики основано на применимости к линейным системам принципа суперпозиции. В соответствии с этим принципом при подаче на линейную систему совокупности различных воздействий ее реакция равна сумме реакций на каждое из этих воздействий в отдельности. Следовательно, зная переходную функцию объекта, как реакцию на единичное входное ступенчатое воздействие, можно определить его реакцию на любое другое входное воздействие, предварительно представив его с определенным приближением в виде совокупности единичных входных ступенчатых воздействий.

Передаточной функцией называется отношение изображений выходной и входной переменных в области комплексного переменного. Для перевода функции y(t) из области действительного переменного t в область комплексного переменного p пользуются интегральным преобразованием Лапласа:

$$y(p) = \int_0^\infty y(t)e^{-pt}dt, \qquad (7.11)$$

где p=α+jω – комплексная переменная.

В результате преобразования Лапласа линейное дифференциальное уравнение превращается из области комплексного переменного в алгебраическое и появляется возможность посредством простых алгебраических операций проводить с ним необходимые преобразования. Затем для обратного перехода из области комплексного переменного в область действительного переменного применяется обратное преобразование Лапласа. Операции прямого и обратного преобразований Лапласа легко реализуются, так как для многих функций разработаны специальные таблицы перевода.

В области комплексного переменного очень просто посредством передаточной функции записывается взаимосвязь переменных объекта при нулевых начальных условиях:

$$\mathrm{y(p) = W(p)x(p)}, \qquad (7.12)$$

где y(p) и x(p) – изображения по Лапласу переменных, соответственно *y(t)* и *x(t)*;

W(p) – передаточная функция.

Передаточная функция объекта записывается следующим образом:

$$\mathrm{W\ (p) = y\ (p)/x\ (p)}. \qquad (7.13)$$

Кривой разгона называется одна из наиболее употребительных в металлургии разновидностей динамической или переходной характеристики объекта, показывающая изменение параметра во времени после нарушения

равновесного состояния объекта мгновенным скачкообразным изменением притока вещества или энергии.

Время разгона, постоянная времени и скорость разгона – величины, характеризующие динамические свойства объектов. Временем разгона объекта называется время, в течение которого регулируемый параметр изменяется от нуля до заданного значения при мгновенном изменении притока от нуля до номинальной нагрузки и при условии, что скорость изменения параметра в течение этого времени остается постоянной.

Исходя из этого определения, величина времени разгона T_a в общем виде может определяться по формуле:

$$T_a = \frac{CH_З}{V_н}, \text{ сек}, \tag{7.14}$$

где C – емкость объекта;

$H_З$ – заданное значение параметра;

$V_н$ – номинальный приток энергии или вещества.

Для конкретных объектов, например, для гидравлической модели:

$$T_a = \frac{FH_З}{V_н}, \text{ сек}, \tag{7.15}$$

где F – площадь сечения бака, *м²;*

$H_З$ – заданный уровень воды, *м;*

$V_н$ – номинальный приток воды, *м³/сек*.

Для печей:

$$T_a = \frac{Gct_З}{Q_н}, \text{ сек}, \tag{7.16}$$

где G – масса печи, *кг;*

c – удельная теплоемкость печи, *дж/(кг·град) (ккал/(кг·град));*

$t_З$ – заданная температура, *град*;

$Q_н$ – номинальный приток тепла, *дж/сек (ккал/сек).*

Время разгона может быть определено также экспериментально по кривой разгона, представляющей собой изменение параметра во времени после скачкообразного изменения притока от нулевого до номинального значения и при отсутствии расхода.

Для одноемкостных объектов с самовыравниванием величина ε с постоянной времени *T* и степенью самовыравнивания Q определяется уравнением:

$$\varepsilon = \frac{1}{T_Q}, \ 1/\text{сек}, \tag{7.17}$$

а время разгона T_a и постоянная времени T – уравнением:

$$\frac{\text{Т}_\text{а}}{Q} = \text{Т, сек.} \qquad (7.18)$$

Динамические характеристики объектов так же, как и статические характеристики, могут определяться расчетным и экспериментальным путем.

Обозначим текущее значение уровня Н м, заданное значение уровня $\text{Н}_\text{З}$, емкость объекта С_0 = F м^2, количество подаваемой воды, соответствующее номинальной нагрузке $\text{V}_\text{н}$ м^3/сек, скачкообразное изменение притока V м^3/сек.

Уравнение материального баланса рассматриваемого объекта, в дифференциальной форме отражающее происходящие в нем изменения во времени, имеет вид:

$$dH \cdot F = V d\tau. \qquad (7.19)$$

Это уравнение показывает, что количество воды, поступившее в объект за бесконечно малый промежуток времени dτ, равно объему воды, накопленному в нем при бесконечно малом изменении уровня dH.

Отсюда:

$$dH = \frac{V}{F} d\tau. \qquad (7.20)$$

Для определения закона изменения уровня во времени нужно проинтегрировать полученное дифференциальное уравнение:

$$H = \frac{V}{F}\tau + H_0, \qquad (7.21)$$

где Н_0 – начальное значение уровня до нарушения равновесия объекта, *м*.

Из уравнения (7.21) видно, что величина Н, изменяющаяся по закону прямой линии, неограниченно возрастает с течением времени при положительном значении V или убывает при отрицательном значении V. Приведем уравнение (7.20) к безразмерному виду. Время разгона для рассматриваемого объекта определяется по формуле (7.14):

$$T_a = \frac{F H_\text{З}}{V_\text{н}},$$

откуда:

$$F = \frac{T_a V_\text{н}}{H_\text{З}}.$$

Подставим полученное значение F в уравнение (7.20):

$$dH \frac{T_a V_\text{н}}{H_\text{З}} = V d\tau. \qquad (7.22)$$

Так как $\frac{H}{H_З} = \varphi$, а $\frac{V}{V_Н} = \mu$:

$$T_a \frac{d\varphi}{d\tau} = \mu. \quad (7.23)$$

Полученное дифференциальное уравнение (7.23) является уравнением динамики одноемкостного объекта без самовыравнивания в принятой в теории автоматического регулирования безразмерной форме.

Одноемкостный объект с самовыравниванием рассмотрим сразу в общем виде в безразмерных величинах.

На рисунке 7.5 приведен безразмерный график процесса самовыравнивания для одноемкостного объекта, построенный в предположении, что параметр изменяется от нулевого значения $\varphi_0=0$. В начальный момент времени τ_0, когда приток μ изменяется скачкообразно, параметр φ еще не успевает измениться, и явление самовыравнивания не проявляется. В этом случае для объекта применимо уравнение (7.23):

$$T_a \frac{d\varphi}{d\tau} = \mu.$$

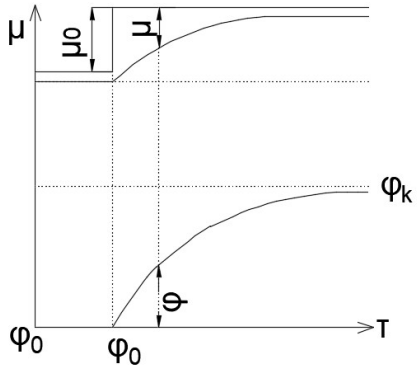


Рисунок 7.5 – График процесса самовыравнивания для одноемкостного объекта в безразмерной форме

С течением времени по мере изменения параметра проявляется действие самовыравнивания, которое выражается в непрерывном уменьшении разницы между притоком и расходом (величины μ), и уменьшении скорости изменения параметра. В процессе самовыравнивания текущие значения разницы между притоком и расходом выражаются уравнением:

$$\mu=\mu_0-\rho\varphi. \quad (7.24)$$

Подставив это значение μ в уравнение (7.23), получим уравнение динамики одноемкостного объекта с самовыравниванием:

$$T_a \frac{d\varphi}{d\tau} + Q\varphi = \mu_0. \quad (7.25)$$

Если обе части этого уравнения разделить на p, получим другой вид уравнения:

$$T_a \frac{d\varphi}{d\tau} + Q\varphi = K_{об}\mu_0. \quad (7.26)$$

Закон изменения параметра в процессе самовыравнивания можно получить из уравнения (7.25) его интегрированием.

Для интегрирования преобразуем уравнение (7.25):

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = -\frac{Q}{T_a}(\varphi - \frac{\mu_0}{Q}). \quad (7.27)$$

Обозначим выражение в скобках через y:

$$y = \varphi - \frac{\mu_0}{Q}. \quad (7.28)$$

Продифференцировав это выражение, получим:

$$\frac{dy}{d\tau} = \frac{d\varphi}{d\tau}.$$

Подставим $\frac{dy}{d\tau}$ и y в уравнение (7.27),

$$\frac{dy}{d\tau} == -\frac{Q}{T_a} y$$

или

$$\frac{dy}{y} = -\frac{Q}{T_a} d\tau.$$

Интегрируя последнее выражение, получим:

$$\ln y = -\frac{Q}{T_a}\tau + \ln C,$$

или

$$y = ce^{-\frac{Q}{T_a}\tau}.$$

Постоянную интегрирования с находим из начальных условий.

При τ = 0 выражение $e^{-\frac{Q}{T_a}\tau} = 1$, y = y_0 = c = $-\frac{\mu_0}{Q}$.

Отсюда:

$$y = -\frac{\mu_0}{Q} e^{-\frac{Q}{T_a}\tau} = \varphi - \frac{\mu_0}{Q}.$$

или окончательно

$$\varphi = \frac{\mu_0}{Q}\left(1 - e^{-\frac{Q}{T_a}\tau}\right). \quad (7.28)$$

Можно получить другой вид уравнения (7.28):

$$\varphi = \frac{\mu_0}{Q}(1 - e^{-\varepsilon Q}\ ). \quad (7.29)$$

Можно получить еще один вид уравнения (7.28):

$$\varphi = \frac{\mu_0}{Q}\left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right). \quad (7.30)$$

Уравнение (7.28) является уравнением экспоненты и, следовательно, изменение параметра в одноемкостном объекте с самовыравниванием происходит по экспоненте. Величина параметра после возмущения асимптотически приближается к новому конечному значению φ=φк и достигает его при τ= ∞, так как при τ= ∞, выражение $e\text{^}(-\tau/T) = 0$ и $\varphi = \mu_0/Q = \varphi_$к. Практически уже за время τ = (3-4)T процесс самовыравнивания можно считать законченным, так как величина $e\text{^}(-\tau/T)$ при этом значении τ имеет очень малое значение.

Конечное значение параметра φк зависит от начального возмущения μ0 и степени самовыравнивания р, что определяется из приведённой зависимости $\varphi_к = \mu_0/Q$. Следовательно, степень самовыравнивания φ может быть определена и по динамической характеристике объекта как отношение величины возмущения μ0 к изменению параметра за весь процесс самовыравнивания:

$$Q = \frac{\mu_0}{\varphi_к - \varphi_0}.$$

Если в формулу (7.28) вместо выражения $\frac{\mu_0}{Q}$ подставить $\varphi_к$ и принять *p*=1, то получим:

$$\varphi = \varphi_к\left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_a}}\right).$$

Если теперь принять $\tau = T_a$, то последнее уравнение преобразуется следующим образом:

$$\varphi = \varphi_{к}(1 - e^{-1}) = \varphi = \varphi_{к}\left(1 - \frac{1}{e}\right) = 0.632\varphi_{к}. \quad (7.31)$$

7.4 Технологические процессы с сосредоточенными и распределенными параметрами

Технологические процессы по своему характеру и способам математического описания делятся на две большие группы. Некоторые процессы характеризуются тем, что в них перерабатываются твердые тела, изменения формы которых несущественны. Примерами могут служить холодная обработка металлов, распиловка и разделка древесины, сборка устройств, узлов, агрегатов машин и т.п. В общем, к этому классу технологических процессов относятся производства, основанные на перемещениях в пространстве и изменениях формы твердых тел при неизменном агрегатном состоянии. В каждый момент времени состояние процесса определяется конечным числом параметров.

Объектами с *сосредоточенными параметрами* называют такие, в которых в состоянии равновесия регулируемые величины практически имеют одинаковые значения по всему объему объекта. В переходном режиме в любой точке такого объекта характер изменения регулируемых величин одинаков в одно и то же время. Примером объекта с сосредоточенными параметрами может служить емкость, регулируемой величиной в которой является давление. К объектам с сосредоточенными параметрами относятся также аппараты, в которых регулируемой величиной является высота уровня жидкости (рисунок 9.2, а), печи и различные теплообменные устройства, в которых регулируется температура. Динамические свойства таких объектов описываются дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

В объектах с сосредоточенными параметрами с изменением агрегатного состояния веществ значения регулируемых величин в любой момент времени одинаковы во всех точках аппарата (объекта). Например, в реакторе с интенсивным перемешиванием отсутствуют градиенты температур и концентраций как по высоте, так и по сечению аппарата, что позволяет считать его объектом с сосредоточенными параметрами.

Объекты с сосредоточенными параметрами подразделяют на простые и сложные. К *простым* относятся объекты, динамические свойства которых описываются уравнениями элементарных типовых динамических звеньев, т. е. дифференциальными уравнениями, порядок которых не выше второго. Объекты, для описания динамических свойств которых необходимо применение дифференциальных уравнений более высоких порядков, относятся к *сложным*.

Почти все технологические процессы химической промышленности относятся к сложным объектам автоматизации с сосредоточенными параметрами или к объектам автоматизации с распределенными параметрами. Однако во многих случаях их можно рассматривать в виде системы, состоящей

из конечного числа относительно простых объектов, соединенных определенным образом.

Объектами с *распределёнными параметрами* называют такие, в которых значения регулируемых величин в разных точках объекта неодинаковы, например, температура продукта в трубчатом нагревателе по его длине (рисунок 7.6).

К этой группе относятся технологические процессы, связанные с существенными изменениями агрегатного состояния, физических и химических характеристик исходных материалов, взаимодействием их друг с другом и образованием новых материалов, значительным преобразованием их свойств, формированием определенных видов продукции. Такие процессы существенно связаны с явлениями диффузии, тепло- и массопереноса. Они описываются, главным образом, дифференциальными уравнениями в частных производных, К этому классу относятся и процессы, описываемые интегральными и интегрально-дифференциальными уравнениями, например, процессы, связанные с распространением теплоты в оптически тонкой среде; трубопроводы, давление газа или жидкости в которых неодинаково по длине; теплообменники и нагревательные печи с трубчатыми змеевиками, в которых температура нагреваемого продукта также неодинакова по длине; ректификационные колонны, в которых существуют градиенты давления, температуры и концентрации по высоте и т.п. Во всех этих случаях говорят *о процессах с распределенными параметрами*.

$Q_п$ – приход жидкости; $Q_р$ – расход жидкости; t_1, t_2 – соответственно температура жидкости до и после нагрева;
а – с сосредоточенными параметрами; б – с распределенными параметрами.

Рисунок 7.6 – Объекты регулирования

Действительно, в трубопроводах в переходном режиме давление в начале трубы изменяется быстрее, чем в конце, если только возмущение появляется на входе транспортируемого вещества в трубопровод. Точно так же значения температуры вещества на выходе из трубчатого змеевика нагревательного аппарата и на его входе никогда не совпадают. Здесь давление и температура в

переходном режиме являются функциями не только времени, но и длины трубопровода. Например, в трубчатых печах большой длины даже в равновесном состоянии температура по длине различна, а при возмущении изменяется по различным законам.

Как те, так и другие объекты могут быть линейными и нелинейными и иметь постоянные или переменные параметры. Объекты с постоянными параметрами описываются дифференциальными уравнениями, коэффициенты которых не зависят от времени и от нагрузки объекта. В объектах же с переменными параметрами последние являются функциями времени и нагрузки.

Большинство технологических процессов математически описываются как системы с распределенными параметрами. Однако их анализ, как правило, очень сложен. В некоторых случаях их удается приближенно свести к системам с сосредоточенными параметрами. Для этого аппроксимируют исходную систему уравнений в частных производных с граничными условиями подходящим образом подобранной системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Так же аппроксимируют (если это нужно) минимизируемый функционал.

Контрольные вопросы.

1. Что такое характеристика объектов управления и виды характеристики?
2. Статистическая характеристика и как ее можно представить?
3. Как можно описать статистическую характеристику линейного объекта?
4. Статистическая характеристика нелинейных объектов.
5. Линейность технологических процессов.
6. Нелинейность технологических процессов.
7. Виды временных характеристик объекта.
8. Какие величины характеризируют динамические свойства объекта?
9. Различие между объектами с сосредоточенными и распределенными параметрами.
10. Как можно определить состояние процесса в определенный момент времени?

8 Математическое моделирование процессов

8.1 Что такое моделирование?

Моделирование является одним из методов целой области знания, которая специально занимается изучением методов познания и которую принято именовать методологией. Методология – это учение о научном методе познания; совокупность методов, применяемых в отдельных науках (С. И. Ожегов), а также включает учение об организации деятельности (ибо

происходит этот термин от двух греческих слов: metodos – метод, путь к чему-либо и logos – учение).

Метод – способ и совокупность определенных правил, приемов и операций практического и теоретического познания действительности. Метод вооружает человека системой принципов, требований, правил, руководствуясь которыми он может достичь намеченной цели. Владеть методом – это, значит, знать, каким образом, в какой последовательности нужно совершать те или иные действия для решения различных задач, и уметь реализовать эти знания на практике. Умению грамотно применять тот или иной метод на практике возможно научиться только при решении различных практических задач. Как отмечал С.И. Гессен: «*Овладеть методом науки можно, только применяя этот метод к решению конкретных проблем опытного знания».*

Методика – конкретизация метода, доведение его до инструкции, алгоритма, четкого описания способа осуществления.

Методы научного познания принято подразделять по степени их общности, т.е. по широте применимости в процессе научного исследования (рисунок 8.1), на всеобщие, общенаучные и частнонаучные.

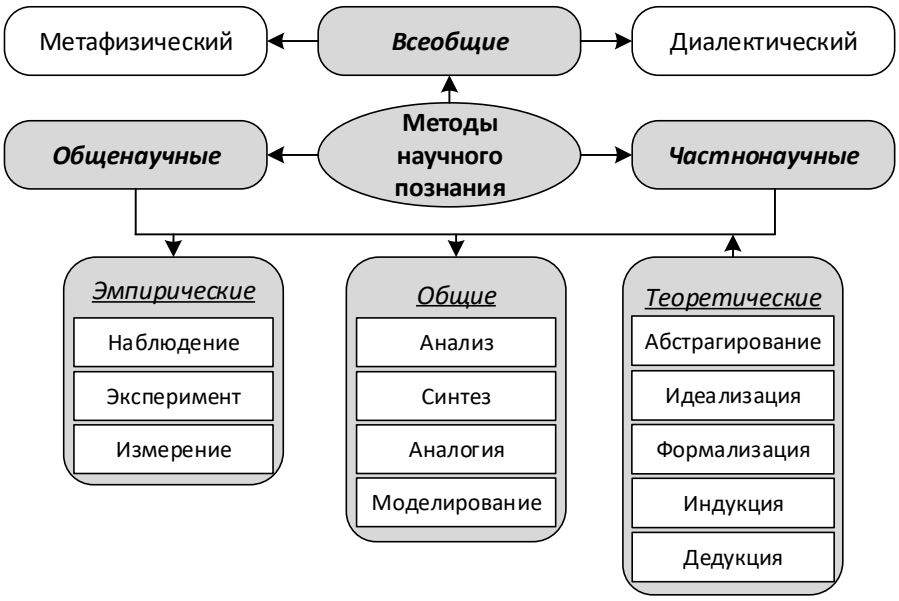


Рисунок 8.1 – Методы научного познания

Всеобщий метод научного познания является универсальной по отношению ко всем наукам и в содержание которой входят философские и общенаучные методы познания.

Общенаучные методы используются в самых различных областях науки, т. е. имеют весьма широкий междисциплинарный спектр применения. Классификация этих методов тесно связана с понятием уровней научного познания. Различают два уровня научного познания: *эмпирический и теоретический.* Одни общенаучные методы применяются только на эмпирическом уровне (наблюдение, эксперимент, измерение), другие – только

на теоретическом (идеализация, формализация), но есть и такие (например, моделирование), которые используются как на эмпирическом, так и на теоретическом уровне.

Таким образом, моделирование:

– метод познания окружающего мира, который можно отнести к общенаучным методам, применяемым как на эмпирическом, так и на теоретическом уровне познания. При построении и исследовании модели могут применяться практически все остальные методы познания;

– исследование объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений (природных систем, инженерных конструкций, разнообразных процессов – физических, химических, биологических, социальных) с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя;

– процесс, состоящий в создании и исследовании моделей объекта;

– применяется ещё с глубокой древности, однако лишь в эпоху новых информационных технологий и компьютеризации этот метод исследования приобрёл столько разнообразных форм и средств реализации.

8.2 Цели, виды и этапы моделирования

Цели моделирования:

– понять, как устроен конкретный объект, какова его структура, законы развития;

– научиться управлять объектом или процессом, определить наилучшие способы управления при заданных целях и критериях;

– прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов.

Этапы моделирования:

1) Предметная постановка задачи (например, физическая, управления).
2) Математическая постановка задачи (вывод формул).
3) Определение констант уравнений (задание начальных условий).
4) Решение задачи (уравнений).
5) Анализ полученных решений (отображаются в пояснительной записке).

Объект моделирования:

– это то, что имеет название, является чем – то целым и обладает некоторыми свойствами или характеристиками;

– любой предмет, явление природы, процесс, действие, чувство, ощущение который необходимо изучить или описать.

Виды моделирования:

– информационное;

– компьютерное;

– математическое;

– математико-картографическое (геоинформационное);
– 3 D;
– физическое;
– логическое;
– нормативное;
– агентное;
– психологическое.

Натурное (физическое) моделирование:

– измерение характеристик осуществляется на исследуемых системах в реальном времени (проведение экспериментов);

– данные исследователь получает, ведя наблюдение за процессами в реальной системе.

Достоинства – высокая точность результатов и адекватность модели реальной системе.

Недостатки – высокая стоимость создания модели, большие временные затраты и необходимость доработки отдельных узлов реальной системы для проведения натурных экспериментов.

3D моделирование – 3D – сокращенно от 3-Dimensional, т. е. в трёх измерениях. Каждая точка фигуры описывается тремя координатами. Фигура приобретает объём и становится трехмерной.

Геоинформационное моделирование подразделяется на моделирование с использованием:

– ранее созданных моделей пространственных данных;
– ГИС для построения картографических или трехмерных моделей;
– трехмерных ГИС, САПР или других программ трехмерного моделирования;
– геоданных и геоинформации для построения пространственных моделей.

Нормативное моделирование – моделирование не только существующих, но и то, чего еще нет.

Нормативные модели (перспективные, прагматические) предназначены для указания целей деятельности и определенного порядка (алгоритма) действий, анализ достижения поставленных целей.

Цель – образ желаемого будущего, т. е. модель состояния, на реализацию которого и направлена деятельность.

Алгоритм – образ (модель) будущей деятельности.

Агентное моделирование:

– исследует:
a) поведение децентрализованных агентов;
b) влияние поведения агентов на поведение системы в целом;
– определяется:
a) не глобальными законами и правилами;

b) а результатом индивидуальной активности отдельных активных агентов.

8.3 Что такое модель?

Модель (лат. modus – копия, образ, очертание):

– это аналог (заменитель) объекта, отражающий его существенные свойства;

– это искусственно созданный объект, дающий упрощенное представление о реальном объекте, процессе или явлении, отражающий существенные стороны изучаемого объекта с точки зрения цели моделирования.

Модели:

– используются в исследовании и изучении объекта;

– строятся, когда объекты слишком малы или слишком велики, когда исследование объекта может быть опасно, или объект еще не существует.

Можно создавать и использовать разные модели одного объекта.

Свойства моделей.

Непосредственно из структуры принятого определения вытекает ряд общих свойств моделей, которые обычно принимаются во внимание в практике моделирования:

1) *Конечность*: модель отображает оригинал лишь в конечном смысле его отношений и, кроме того, ресурсы моделирования конечны.

2) *Упрощенность*: модель отображает только существенные стороны объекта.

3) *Приблизительность*: действительность отображается моделью грубо или приблизительно.

4) *Адекватность*: насколько успешно модель описывает моделируемую систему.

5) *Информативность*: модель должна содержать достаточную информацию о системе - в рамках гипотез, принятых при построении модели.

6) *Потенциальность*: предсказуемость модели и её свойств.

7) *Сложность*: удобство её использования.

8) *Полнота*: учтены все необходимые свойства.

9) *Адаптивность*.

8.3.1 Классификация моделей.

Модели классифицируются:

– с учетом фактора времени;

– по области использования;

– по области знаний;

– по способу представления;

– по способу реализации.

С учетом фактора времени модели подразделяются на статические и динамические.

Статическая модель – одномоментный срез по объекту. Динамическая модель позволяет увидеть изменения в объекте во времени.

По области знаний модели подразделяются на биологические, математические, социологические и исторические.

По способу представления модели классифицируются на материальные и информационные.

Информационные модели подразделяются на вербальные (мыслительные) и знаковые.

8.3.2 Когнитивные, концептуальные и формальные модели.

Представление когнитивной модели на естественном языке называется *содержательной* моделью.

Когнитивные модели субъективны, так как формируются умозрительно («в голове» исследователя) на основе всех его предыдущих знаний и опыта. Получить представление о когнитивной модели можно, только описав ее в знаковой форме. Нельзя утверждать, что когнитивные и содержательные модели эквивалентны, поскольку первые могут содержать элементы, которые исследователь не сможет или не хочет сформулировать. В то же время, если содержательная модель сформулирована кем-то другим или является продуктом коллективного творчества, то ее интерпретация, уровень понимания, степень доверия могут существенно изменяться в зависимости от того или иного интерпретатора. В естественно-научных дисциплинах и в технике содержательную модель часто называют технической постановкой проблемы.

По функциональному признаку и целям содержательные модели подразделяются на описательные. объяснительные и прогностические. Описательной моделью можно назвать любое описание объекта. *Объяснительная* модель позволяет ответить на вопрос, почему что-либо происходит. Наконец, *прогностическая (предсказательная)* модель должна описывать будущее поведение объекта. Можно заметить, что прогностическая модель не обязана включать в себя объяснительную.

Концептуальной моделью принято называть содержательную модель, при формулировке которой используются понятия и представления предметных областей знания, занимающихся изучением объекта моделирования.

В более широком смысле под концептуальной моделью понимают содержательную модель, базирующуюся на определенной концепции или точке зрения. Выделяют три вида концептуальных моделей, логико-семантические, структурно-функциональные и причинно-следственные.

Логико-семантическая модель является описанием объекта в терминах и определениях соответствующих предметных областей знаний, включающим все известные логически непротиворечивые утверждения и факты. Анализ

таких моделей осуществляется средствами логики с привлечением знаний, накопленных в соответствующих предметных областях.

При построении *структурно-функциональной* модели объект обычно рассматривается как целостная система, которую расчленяют на отдельные элементы или подсистемы. Части системы связываются структурными отношениями, описывающими подчиненность, логическую и временную последовательность решения отдельных задач. Для представления подобных моделей удобны различного рода схемы, карты и диаграммы.

Причинно-следственная модель часто используется для объяснения и прогнозирования поведения объекта. Данные модели ориентированы в основном на следующее:

– выявление главных взаимосвязей между составными элементами изучаемого объекта;

– определение того, как изменение одних факторов влияет на состояние компонентов модели;

– понимание того, как в целом будет функционировать модель и будет ли она адекватно описывать динамику интересующих исследователя параметров.

Формальная модель является представлением концептуальной модели с помощью одного или нескольких формальных языков (например, языков математических теорий, универсального языка моделирования (UML или алгоритмических языков).

Перечисленные выше разновидности моделей нельзя рассматривать изолированно одну от другой. Взаимоотношения моделей между собой показаны на рисунке 8.2.

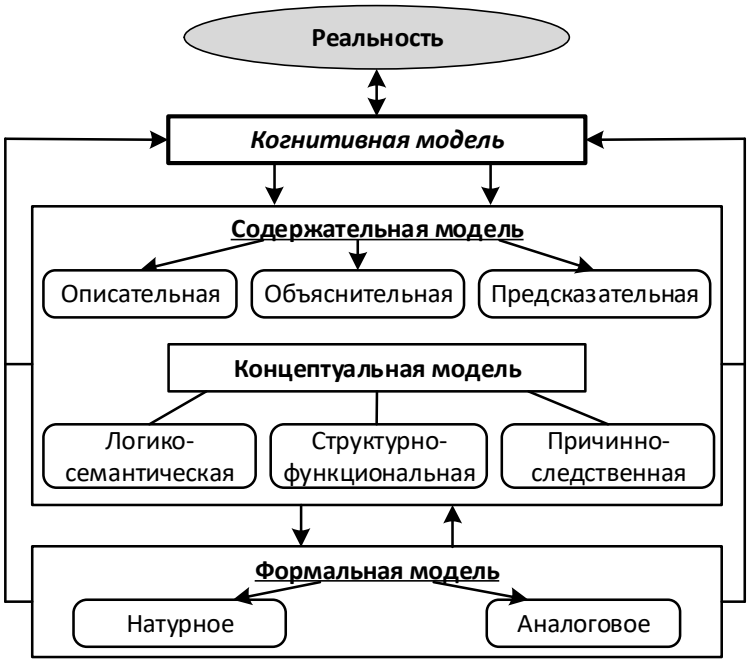


Рисунок 8.2 – Взаимосвязь моделей

8.4 Математическое моделирование

Математическое моделирование – это идеальное научное знаковое формальное моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов.

Достоинства математического моделирования:

– экономичность (в частности, сбережение ресурсов реальной системы);

– возможность моделирования гипотетических, т.е. не реализованных в природе объектов (прежде всего на разных этапах проектирования);

– возможность реализации режимов, опасных или трудновоспроизводимых в натуре (критический режим ядерного реактора, работа системы противоракетной обороны);

– возможность изменения масштаба времени;

– простота многоаспектного анализа;

– большая прогностическая сила вследствие возможности выявления общих закономерностей;

– универсальность технического и программного обеспечения проводимой работы (ЭВМ, системы программирования и пакеты прикладных программ широкого назначения).

Недостатки математического моделирования – не всегда удается построить модель для сложной системы ввиду множества связей между элементами системы, большого числа параметров и нелинейных ограничений, а для построенных моделей не всегда существует корректный способ исследования.

8.4.1 Математическая модель.

Математическая модель – информационная модель в виде совокупности математических соотношений, отражающих взаимосвязи и взаимозависимости между параметрами объекта.

Математическая модель отображает некоторое заданное множество Ω_X значений входных параметров X на множество значений Ω_Y выходных параметров Y. Данное обстоятельство позволяет рассматривать математическую модель как некоторый математический оператор A и сформулировать следующее определение.

Под математической моделью будем понимать любой оператор A, позволяющий по соответствующим значениям входных параметров X установить выходные значения параметров Y объекта моделирования:

$$A: X \to Y, \;\; X \in \Omega_X, \mathrm{Y} \in \Omega_Y,$$

где Ω_X и Ω_Y – множества допустимых значений входных и выходных параметров для моделируемого объекта.

Понятие оператора в приведенном определении может трактоваться достаточно широко. Это может быть, как некоторая функция, связывающая входные и выходные значения, так и отображение, представляющее символическую запись системы алгебраических, дифференциальных, интегрально-дифференциальных или интегральных уравнений. Наконец, это может быть некоторый алгоритм, совокупность правил или таблиц, обеспечивающих нахождение (или установление) выходных параметров по заданным исходным значениям.

Определение математической модели через понятие оператора является более конструктивным с точки зрения построения классификации таких моделей, поскольку включает в себя все многообразие имеющихся в настоящее время математических моделей.

С развитием вычислительной техники большое распространение получили *информационные модели,* представляющие, по существу, автоматизированные справочники, реализованные с помощью систем управления базами данных. Получая на входе некоторый запрос на поиск требуемой информации, подобные модели позволяют найти всю имеющуюся в базе данных информацию по интересующему вопросу.

Так как в качестве входных или выходных параметров моделей могут выступать математические объекты, а саму процедуру поиска данных можно представить в виде некоторого оператора, то информационные модели можно считать специфической разновидностью математических моделей.

8.4.2 Классификация математических моделей.

Классификация математических моделей в зависимости от сложности объекта моделирования.

Все объекты моделирования можно разделить на две группы: простые и объекты-системы (рисунок 8.3). В первом случае при моделировании не рассматривается внутреннее строение объекта, не выделяются составлявшие его элементы или подпроцессы.

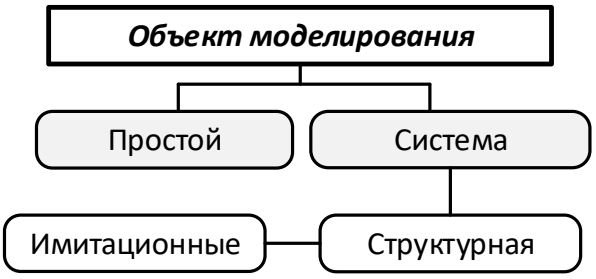


Рисунок 8.3 – Классификация объектов моделирования

Модели объектов-систем, учитывающие свойства и поведение отдельных элементов, а также взаимосвязи между ними, называются *структурными.*

Среди структурных динамических систем выделяют в отдельный

подкласс *имитационные* системы, состоящие из конечного числа элементов, каждый из которых имеет конечное число состояний. Число связей между элементами также предполагается конечным. Моделирование взаимодействий элементов внутри системы осуществляется с помощью некоторого алгоритма, реализуемого обычно с использованием ЭВМ. для моделирования на ЭВМ реального времени вводится понятие системного времени. В качестве моделей отдельных элементов могут быть использованы модели любого типа. Как правило, взаимодействие внешней среды со сложной системой полностью проследить не удается, что приводит к неопределенности внешних воздействий и, как следствие, неоднозначности в поведении самой системы. Наличие подобной неопределенности является характерной особенностью сложных систем.

По Шеннону: «Имитационное моделирование систем – искусство и наука».

Имитационное моделирование является экспериментальной и прикладной методологией, имеющей целью: описать поведение системы; построить теории и гипотезы, которые могут объяснить наблюдаемое поведение, использовать эти теории для предсказания будущего поведения и оценки различных стратегий, обеспечивающих функционирование данной системы.

Классификация математических моделей в зависимости от оператора модели.

Выше отмечалось, что любая математическая модель может рассматриваться как некоторый оператор А, который является алгоритмом или определяется совокупностью уравнений – алгебраических, обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), систем ОДУ (СОДУ), дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП), интегрально-дифференциальных уравнений (ИДУ) и др. (рисунок 8.4).

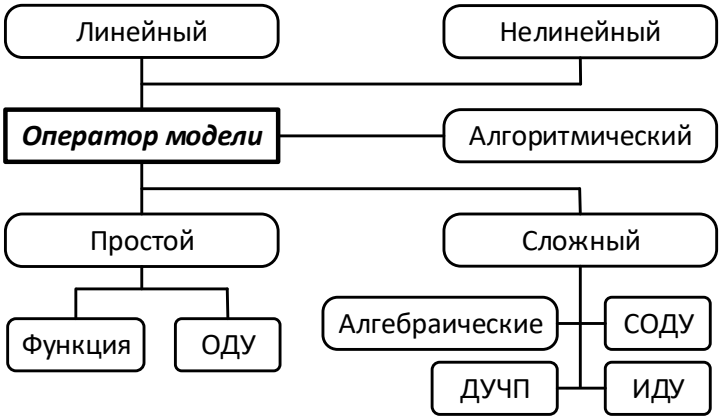


Рисунок 8.4 – Классификация в зависимости от оператора модели

Если оператор обеспечивает линейную зависимость выходных

параметров Y от значений входных параметров X, то математическая модель называется *линейной*. Линейные модели более просты для анализа.

В настоящее время все чаще возникает потребность не только в повышении точности моделирования, но и в создании качественно новых моделей, учитывающих нелинейность поведения реальных объектов исследования. Анализ подобных моделей намного сложнее, чем линейных, причем разработка методики и общих подходов к исследованию в настоящее время далека от завершения. Являясь более богатым и сложным, мир *нелинейных* моделей представляется для современной науки более перспективным в плане открытия новых закономерностей и описания сложных явлений. Например, такие явления, как солитоны и хаос, нельзя с достаточной степенью адекватности описать в рамках традиционных линейных моделей. Методы исследования нелинейных моделей в настоящее время быстро прогрессируют, складываясь в новые научные направления. К таким относительно новым направлениям можно отнести, например, синергетику – науку о сложных самоорганизующихся системах.

В зависимости от вида оператора математические модели можно разделить на *простые и сложные*.

В случае, когда оператор модели является алгебраическим выражением, отражающим функциональную зависимость выходных параметров Y от входных X, модель будем называть *простой.*

Модель, включающая системы дифференциальных и интегральных соотношений, уже не может быть отнесена к простым, так как для своего исследования требует применения довольно сложных математических методов. Однако в двух случаях она может быть сведена к простым:

– если полученная для подобной модели система математических соотношений может быть разрешена аналитически;

– если результаты вычислительных экспериментов со сложной моделью аппроксимированы некоторой алгебраической зависимостью. В настоящее время известно достаточно большое число подходов и методов аппроксимации (например, метод наименьших квадратов или метод планирования экспериментов).

Классификация математических моделей в зависимости от параметров модели.

В общем случае параметры, описывающие состояние и поведение объекта моделирования, разбиваются на ряд непересекающихся подмножеств:

– совокупность входных (управляемых) воздействий на объект (Ω_X);

– совокупность воздействий внешней среды (неуправляемых, (Ω_E);

– совокупность внутренних (собственных) параметров объекта (Ω_I);

– совокупность выходных характеристик (Ω_Y).

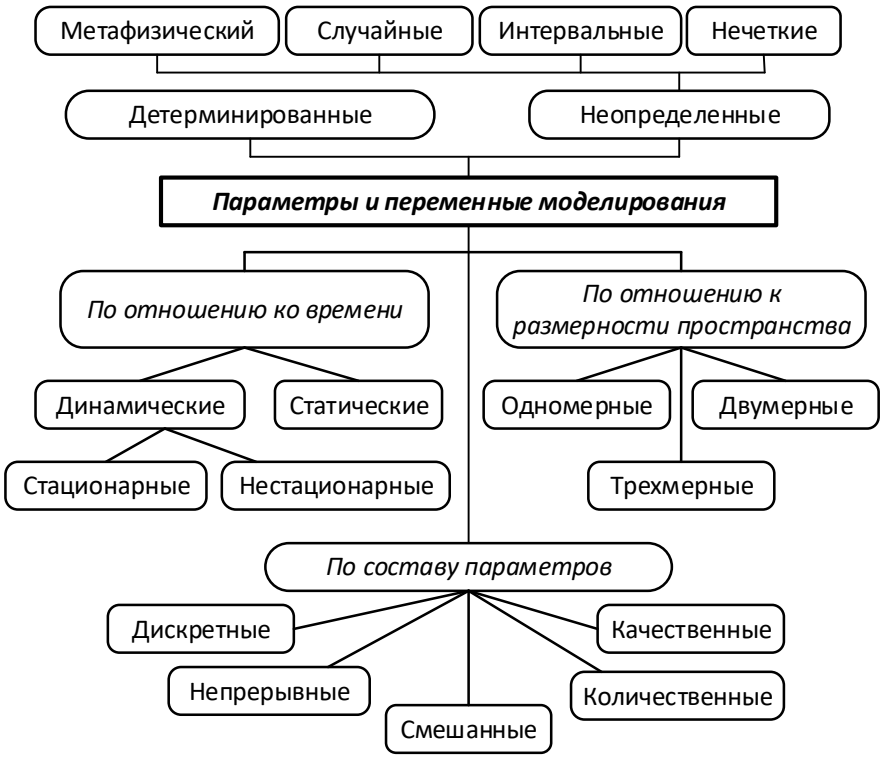


Рисунок 8.5. – Классификация математических моделей в зависимости от параметров

Входные параметры X, параметры, описывающие воздействие внешней среды E, и внутренние (собственные) характеристики I объекта относят обычно *к независимым (экзогенным)* величинам. Выходные параметры Y – *зависимые* (*эндогенные*) величины.

В общем случае оператор модели A преобразует экзогенные параметры в эндогенные $A: \{X, E, I\} \rightarrow Y$.

По своей природе характеристики объекта могут быть как качественными, так и количественными. Введение тех или иных количественных характеристик объекта моделирования возможно при наличии эталона сравнения.

Кроме того, количественные значения параметра могут выражаться дискретными или непрерывными величинами. Качественные характеристики находятся, например, методом экспертных оценок. В зависимости от вида используемых множеств параметров, модели могут подразделяться на *качественные и количественные, дискретные и непрерывные, а* также *смешанные.*

При построении моделей реальных объектов и явлений очень часто приходится сталкиваться с недостатком информации. Как правило, для любого исследуемого объекта распределение свойств, параметры воздействия и начальное состояние известны с той или иной степенью неопределенности. Это связано с множеством трудно учитываемых факторов, ограниченностью числа используемых параметров модели, конечной точностью экспериментальных

измерений. При построении модели возможны следующие варианты описания неопределенности параметров:

а) *детерминированное* – значения всех параметров модели определяются детерминированными величинами (т.е. каждому параметру соответствует конкретное целое, вещественное или комплексное число либо соответствующая функция). Данный способ соответствует полной определенности параметров;

б) *стохастическое* – значения всех или отдельных параметров модели определяются случайными величинами, заданными плотностями вероятности. В литературе наиболее полно исследованы случаи нормального (гауссова) и показательного распределения случайных величин;

в) *случайное* – значения всех или отдельных параметров модели устанавливаются случайными величинами, заданными оценками плотностей вероятности, полученными в результате обработки ограниченной экспериментальной выборки данных параметров;

г) *интервальное* – значения всех или отдельных параметров модели описываются интервальными величинами, заданными интервалом, образованным минимальными максимально возможными значениями параметра;

д) *нечеткое* – значения всех или отдельных параметров модели описываются функциями принадлежности соответствующему нечеткому множеству. Такая форма используется, когда информация о параметрах модели задается экспертом на естественном языке, а, следовательно, в «нечетких» (с позиции математики) терминах типа «много больше пяти», «около нуля».

Классификация математических моделей в зависимости от целей моделирования.

Целью *дескриптивных моделей* (от лат. descriptio – описание) является установление законов изменения параметров модели.

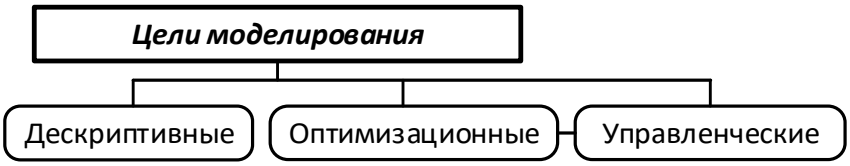


Рисунок 8.6 – Классификация в зависимости от целей моделирования

Оптимизационные модели предназначены для определения оптимальных (наилучших) с точки зрения некоторого критерия параметров моделируемого объекта или же для поиска оптимального (наилучшего) режима управления некоторым процессом.

Управленческие модели применяются для принятия эффективных управленческих решений в различных областях целенаправленной деятельности человека. В общем случае принятие решений является процессом, по своей сложности сравнимым с процессом мышления в целом.

Классификация математических моделей в зависимости от методов реализации.

Метод реализации модели относят к *аналитическим,* если он позволяет получить выходные параметры в виде *аналитических выражений,* т.е. выражений, в которых используется не более чем счетная совокупность арифметических операций и переходов к пределу.

Аналитические методы реализации модели являются более ценными в том плане, что позволяют с меньшими вычислительными затратами изучить свойства объекта моделирования, применяя традиционные хорошо развитые математические методы анализа аналитических функций. Существенно, что применение аналитических методов возможно без использования ЭВМ. Кроме того, знание аналитического выражения для искомых параметров позволяет исследовать фундаментальные свойства объекта, его качественное поведение, строить новые гипотезы о его внутренней структуре. Следует отметить, что возможности аналитических методов существенно зависят от уровня развития соответствующих разделов математики.

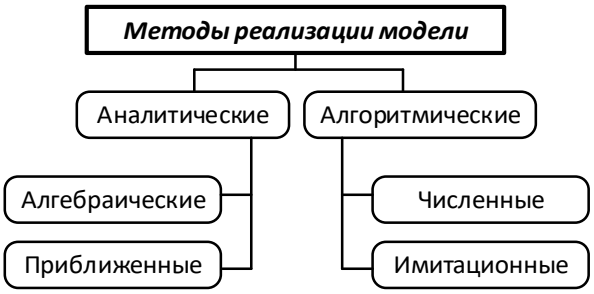


Рисунок 8.7 – Классификация в зависимости от методов реализации

В настоящее время мощный всплеск интереса к аналитическим методам при реализации моделей связан с появлением пакетов математических вычислений *(Derive, MatLab, Mathcad, Map1e, Mathematica* и др.).

К сожалению, существующие в настоящее время математические методы позволяют получить аналитические решения только для относительно несложных математических моделей в узком диапазоне значений параметров. В большинстве случаев при исследовании моделей приходится использовать алгоритмические подходы, позволяющие получить лишь *приближенные* значения искомых параметров.

При *численном* подходе совокупность математических соотношений модели заменяется конечномерным аналогом. Это чаще всего достигается дискретизацией исходных соотношений, т.е. переходом от функций непрерывного аргумента к функциям дискретного аргумента. После дискретизации исходной задачи выполняется построение вычислительного алгоритма, т.е. последовательности арифметических и логических действий, выполняемых на ЭВМ и позволяющих за конечное число шагов получить

решение дискретной задачи. Найденное решение дискретной задачи принимается за приближенное решение исходной математической задачи.

К настоящему времени круг вопросов, связанных с разработкой и использованием численных методов, а также построением на их основе вычислительных алгоритмов, выделился в самостоятельный быстро развивавшийся и обширный раздел – *вычислительную математику.*

Если при численном подходе дискретизации подвергалась полученная система математических соотношений, то при *имитационном подходе* на отдельные элементы разбивается сам объект исследования. В этом случае система математических соотношений для объекта-системы в целом не записывается, а заменяется некоторым алгоритмом, моделирующим ее поведение и учитывающим взаимодействие друг с другом моделей отдельных элементов системы. Модели отдельных элементов могут быть как аналитическими, так и алгоритмическими.

Алгоритмические модели, использующие как численный, так и имитационный подход, не позволяют получить решения задач в аналитической форме, что затрудняет и усложняет процесс анализа результатов моделирования. Так как применение моделей данного типа возможно лишь при наличии вычислительной техники, то их эффективность зависит от мощности и быстродействия ЭВМ. Несомненным достоинством алгоритмических моделей является отсутствие принципиальных ограничений на сложность модели, что позволяет применять их для исследования систем произвольной сложности.

Использование математической модели, построенной алгоритмическими методами, аналогично проведению экспериментов с реальным объектом, только вместо реального эксперимента с объектом проводится *вычислительный эксперимент* с его моделью. Задаваясь конкретным набором значений исходных параметров модели, в результате вычислительного эксперимента находим конкретный набор приближенных значений искомых параметров. Для исследования поведения объекта при новом наборе исходных данных необходимо проведение нового вычислительного эксперимента.

Имитационное моделирование – изменение начальных условий и сравнение результатов.

Компьютерное моделирование – это проведение вычислительных экспериментов на компьютере с целью анализа, интерпретации и сопоставления результатов моделирования с реальным поведением изучаемого объекта и, при необходимости, последующего уточнения модели.

8.4.3 Экономико-математическое моделирование.

Экономико-математическая модель – это способ описания экономических систем с помощью математических средств. Это математический образ исследуемой системы, адекватно отражающий ее структуру, свойства и взаимосвязи между элементами.

Как правило, математико-экономические модели представляют собой уравнение или систему уравнений и неравенств, с помощью которых можно однозначно определить значения одних переменных по известным значениям других переменных.

Помимо вышеперечисленных классов, экономико-математические модели делятся еще на макро- и микроэкономические.

Экономико-математическое моделирование основывается на использовании однофакторных и многофакторных моделей. Применяются модели следующих видов:

– однофакторные: линейные модели, парабола и гипербола;

– многофакторные: линейная и логарифмическая.

Наиболее часто применяются линейные модели – однофакторные и многофакторные.

8.5 Алгоритмизация и программирование

8.5.1 Алгоритмизация:

– представление метода решения задачи в виде четкого алгоритма;

– процесс разработки алгоритма (плана действий) для решения задач.

Методы алгоритмизации:

– структурное программирование;

– разработка сверху вниз.

Идея структурного программирования – стандартизация.

Алгоритм:

– 825 г. – латинское слово «algorism» – правило выполнения арифметических действий с использованием арабских цифр;

– XVII век – слово «algorithmus» – объединение понятий о четырёх типах арифметических действий;

– конечная последовательность шагов в решении задачи, приводящая от исходных данных к требуемому результату;

– является информационной моделью деятельности исполнителя;

– понятное и точное предписание (указание) исполнителю совершить последовательность действий, направленных на достижение указанных целей или на решение поставленной задачи;

– записанный на «понятном» компьютеру языке программирования называется программой;

– последовательность действий, удовлетворяющая следующим свойствам:

1) Дискретность – разделение алгоритма на отдельные команды.

2) Детерминированность алгоритма (определённость) – однозначность результата процесса при заданных данных.

3) Понятность. Алгоритм, составленный для конкретного исполнителя, должен включать только те команды, которые входят в его систему команд.

4) Результативность – получение из исходных данных результата за конечное число шагов.

5) Массовость. Универсальность применения алгоритма для решения задач одного типа.

Виды алгоритмов.

Линейный алгоритм (следование) – набор команд (указаний), выполняемых последовательно во времени друг за другом.

Разветвляющийся алгоритм (ветвление) – алгоритм-развилка, в котором в зависимости от некоторого условия выполняется либо одна, либо другая последовательность команд.

Циклический алгоритм (повторение) – алгоритм, в котором некоторые действия выполняются несколько раз в зависимости от условия.

Последовательность действий, многократно повторяющаяся в процессе выполнения цикла, называется телом цикла.

Тип цикла с заданным:

– условием продолжения работы – Цикл – ПОКА;
– условием окончания работы – Цикл – ДО;
– числом повторений – Цикл – ДЛЯ.

Исполнители алгоритмов.

Исполнитель – объект, который выполняет алгоритм.

Идеальный исполнитель – машина, робот, компьютер.

Компьютер – автоматический исполнитель алгоритмов.

Способы описания алгоритмов.

Словесная форма – описание команд на естественном языке.

Графическая форма (схема алгоритма) – изображение алгоритма в виде последовательности связанных между собой функциональных блоков, каждый из которых соответствует выполнению одного или нескольких действий.

Псевдокод – система значений и правил, предназначенная для единообразной записи алгоритмов.

Алгоритмический язык:

– язык, используемый для формальной записи алгоритмов (программа);
– формализованный язык, предназначенный для точного описания вычислительных процессов или алгоритмов
– язык, предназначенный для записи алгоритмов. Как и любой другой, он включает:
– набор символов (алфавит);
– правила записи алгоритмов (синтаксис);
– правила истолкования записей (семантика).

8.5.2 Система программирования.

Программирование:

– раздел информатики, посвященный методам разработки программ управления компьютером;

– это процесс создания программ, разработки всех типов программного обеспечения.

Языки программирования (формальные языки) – специальные языки, предназначенные для записи программ.

Система программирования – это комплекс программных средств, предназначенных для разработки компьютерных программ на языке программирования.

Программа – алгоритм решения задачи, записанный на языке программирования.

Программное обеспечение – совокупность всех программ, предназначенная для решения задач на компьютере (ПО). Программное обеспечение можно условно разделить на три категории: системное ПО; прикладное ПО; инструментальное ПО.

Области применения языков программирования:

– научные вычисления (C++, FORTRAN, Java);
– системное программирование (C++, Java);
– обработка информации (C++, COBOL, Java);
– искусственный интеллект (LISP, Prolog);
– издательская деятельность (Postscript, TeX);
– описание документов (HTML, XML);
– удаленная обработка информации (Perl, PHP, Java, C++);
– языки, ориентированные на создание серверных приложений (Java, Perl, PHP).

Поколения языков программирования:

– языки 1-го и 2-го поколения –машинно-зависимы;
– языки 3-го поколения – это FORTRAN, Algol, Basic, Pascal;
– языки 4-го поколения – языки баз данных и электронных таблиц;
– языки 5-го поколения: СМОЛТОК, ЛИСП, ПРОЛОГ.

Контрольные вопросы.

1. Что такое объект моделирования?
2. Что такое модель?
3. Что такое моделирование?
4. Что такое математическое моделирование?
5. Что такое математическая модель?
6. На какие виды делятся все модели?
7. Приведите примеры форм представления моделей?
8. Экономико-математическое моделирование.
9. Что такое алгоритм?
10. Методы алгоритмизации.
11. Виды алгоритмов.
12. Что такое программирование?

9 Автоматизация и управление процессами

9.1 Что такое автоматизация ?

Автоматизация:

– одно из направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства и математические методы (применяемые методы вычислений иногда копируют нервные и мыслительные функции человека) с целью освобождения человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, изделий или информации, либо существенного уменьшения степени этого участия или трудоёмкости выполняемых операций;

– позволяет повысить производительность труда, улучшить условия труда и качество продукции, сократить потребность в рабочей силе и снизить производственный травматизм, а также оптимизировать процессы управления, отстранить человека от производств, опасных для здоровья;

– комплексная и системная задача, связанная с созданием современного оборудования и технологических процессов, систем организации производства и управления ими.

9.1.1 Автоматизация процессов.

На современном уровне развития автоматизация процессов представляет собой один из подходов к управлению процессами на основе применения информационных технологий. Этот подход позволяет осуществлять управление операциями, данными, информацией и ресурсами за счет использования компьютеров и программного обеспечения, которые сокращают степень участия человека в процессе, либо полностью его исключают.

Автоматизированный процесс обладает более стабильными характеристиками, чем процесс, выполняемый в ручном режиме. Во многих случаях автоматизация процессов позволяет повысить производительность, сократить время выполнения процесса, снизить стоимость, увеличить точность и стабильность выполняемых операций.

На сегодняшний день автоматизация процессов охватила многие отрасли промышленности и сферы деятельности: от производственных процессов до совершения покупок в магазинах. Вне зависимости от размера и сферы деятельности организации, практически в каждой компании существуют автоматизированные процессы. Автоматизация предусматривает для всех процессов единые принципы автоматизации.

Принципы автоматизации процессов.

Несмотря на то что автоматизация процессов может выполняться на различных уровнях, принципы автоматизации для всех уровней и всех видов процессов будут оставаться едиными. Это общие принципы, которые задают условия эффективного выполнения процессов в автоматическом режиме и устанавливают правила автоматического управления процессами.

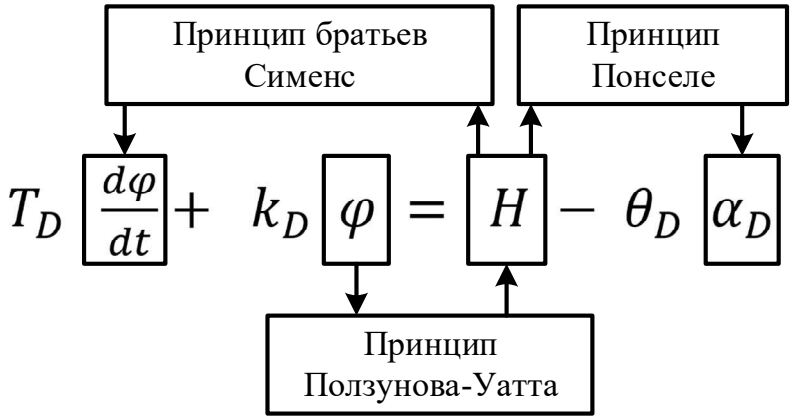
Основными принципами автоматизации процессов являются:

– принцип согласованности. Все действия в автоматизируемом процессе должны быть согласованы между собой и со входами и выходами процесса. В случае рассогласования действий может произойти нарушение выполнения процесса;

– принцип интеграции. Автоматизируемый процесс должен иметь возможность интегрироваться в общую среду организации. На различных уровнях автоматизации интеграция выполняется по-разному, но суть принципа остается неизменной. Автоматизация процессов должна обеспечивать взаимодействие автоматизируемого процесса с внешней средой (по отношению к этому процессу);

– принцип независимости исполнения. Автоматизируемый процесс должен выполняться самостоятельно, без участия человека, либо с минимальным контролем со стороны человека. Человек не должен вмешиваться в процесс, если процесс выполняется в соответствии с установленными требованиями.

Перечисленные общие принципы детализируются в зависимости от рассматриваемого уровня автоматизации и конкретных процессов. Например, автоматизация производственных процессов включает в себя такие принципы, как принцип специализации, принцип пропорциональности, принцип непрерывности и т.д. Ниже приведена схема образования принципов регулирования на примере машиностроения (двигателя внутреннего сгорания).



H – орган управления двигателем (исполнительный механизм); φ – регулируемый параметр; α_D – изменение нагрузки; $T_D,\ k_D, \theta_D$ - коэффициенты.

Рисунок 9.1 – Схема образования принципов регулирования

Уровни автоматизации процессов.

Автоматизация процессов необходима для поддержки управления на всех уровнях иерархии компании. В связи с этим уровни автоматизации

определяются в зависимости от уровня управления, на котором выполняется автоматизация процессов.

Уровни управления принято разделять на оперативный, тактический и стратегический.

В соответствии с этими уровнями выделяют и уровни автоматизации:

1) Нижний уровень автоматизации или уровень исполнителей. На этом уровне осуществляется автоматизация регулярно выполняющихся процессов. Автоматизация процессов направлена на выполнение оперативных задач (например, исполнение производственного процесса), поддержание установленных параметров (например, работа автопилота), сохранение определенных режимов работы (например, температурный режим в газовом котле).

2) Уровень управления производством или тактический уровень. Автоматизация процессов этого уровня обеспечивает распределение задач между различными процессами нижнего уровня. Примерами таких процессов являются процессы управления производством (планирование производства, планирование обслуживания), процессы управления ресурсами, документами и т.п.

3) Уровень управления предприятием или стратегический уровень. Автоматизация процессов уровня управления предприятием обеспечивает решение аналитических и прогнозных задач. Этот уровень автоматизации необходим для поддержки работы высшего звена управления организацией. Он направлен на финансово-хозяйственное и стратегическое управление.

Автоматизация процессов на каждом из указанных уровней обеспечивается за счет применения различных систем автоматизации (CRM-системы, ERP-системы, OLAP-системы и пр.). Все системы автоматизации можно разделить на три базовых типа.

Типы систем автоматизации включают в себя:

– неизменяемые системы. Это системы, в которых последовательность действий определяется конфигурацией оборудования или условиями процесса и не может быть изменена в ходе процесса;

– программируемые системы. Это системы, в которых последовательность действий может изменяться в зависимости от заданной программы и конфигурации процесса. Выбор необходимой последовательности действий осуществляется за счет набора инструкций, которые могут быть прочитаны и интерпретированы системой;

– гибкие (самонастраиваемые) системы. Это системы, которые способны осуществлять выбор необходимых действий в процессе работы. Изменение конфигурации процесса (последовательности и условий выполнения операций) осуществляется на основании информации о ходе процесса.

Эти типы систем могут применяться на всех уровнях автоматизации процессов по отдельности или в составе комбинированной системы.

Основные виды автоматизации.

Частичная автоматизация: автоматизируются отдельные производственные операции или установки. При этом человек принимает участие в производственном процесс, но его труд существенно облегчается. Например, дистанционное управление исполнительным механизмом.

Комплексная автоматизация технологического процесса – это автоматическое выполнение всего комплекса операций и установок по обработке материалов и их транспортировке по заранее заданным программам с использованием различных автоматических устройств, входящих в систему управления. При этом человек выполняет функции наблюдения за ходом процесса, осуществляет анализ изменения режима работы автоматических устройств с целью достижения наилучших экономических показателей.

Полная автоматизация отличается от комплексной тем, что выполняет функции выбора и согласования режимов работы машин и агрегатов с применением специальных автоматических устройств. При этом все основные и вспомогательные агрегаты функционируют в автоматическом режиме длительное время без участия человека. Обслуживающий персонал производит периодический осмотр, профилактический ремонт и готовит всю систему на новый режим работы.

Виды автоматизируемых процессов.

В каждой отрасли экономики существуют предприятия и организации, которые производят продукцию или предоставляют услуги. Все эти предприятия можно разделить на три группы, в зависимости от их «удаленности» в цепочке переработки природных ресурсов.

Первая группа предприятий – это предприятия, добывающие или производящие природные ресурсы. К таким предприятиям относятся, например, сельскохозяйственные производители, нефтегазодобывающие предприятия.

Вторая группа предприятий – это предприятия, выполняющие переработку природного сырья. Они изготавливают продукцию из сырья, добытого или произведенного предприятиями первой группы. К таким предприятиям относятся, например, предприятия автомобильной промышленности, сталелитейные предприятия, предприятия электронной промышленности, электростанции и т.п.

Третья группа – это предприятия сферы услуг. К таким организациям относятся, например, банки, образовательные учреждения, медицинские учреждения, рестораны и пр.

Для всех предприятий можно выделить общие группы процессов, связанные с производством продукции или предоставлением услуг.

К таким процессам относятся:

- бизнес-процессы;
- процессы проектирования и разработки;
- процессы производства;
- процессы контроля и анализа.

Бизнес-процессы – это процессы, обеспечивающие взаимодействие внутри организации и с внешними заинтересованными сторонами (потребителями, поставщиками, надзорными органами и пр.). К этой категории процессов можно отнести процессы маркетинга и продаж, взаимодействия с потребителями, процессы финансового, кадрового, материального планирования и учета и пр.

Процессы проектирования и разработки – это все процессы, связанные с разработкой продукции или услуг. К таким процессам относятся процессы планирования разработки, сбора и подготовки исходных данных, выполнение проекта, контроль и анализ результатов проектирования и пр.

Процессы производства – это процессы, необходимые для производства продукции или предоставления услуг. К этой группе относятся все производственные и технологические процессы. Они также включают в себя процессы планирования потребности и планирования мощностей, логистические процессы и процессы обслуживания.

Процессы контроля и анализа – эта группа процессов связана со сбором и обработкой информации о выполнении процессов. К таким процессам относятся процессы контроля качества, операционного управления, процессы контроля запасов и пр.

Все процессы, относящиеся к этим группам, могут быть автоматизированы. На сегодняшний день, существуют классы систем, которые обеспечивают автоматизацию этих процессов.

Стратегия автоматизации процессов.

Автоматизация процессов представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Для успешного ее решения необходимо придерживаться определенной стратегии автоматизации. Она позволяет улучшить процессы и получить от автоматизации ряд существенных преимуществ.

Кратко стратегию можно сформулировать следующим образом:

– понимание процесса. Для того чтобы автоматизировать процесс, необходимо понимать существующий процесс со всеми его деталями. Процесс должен быть полностью проанализирован. Должны быть определены «входы» и «выходы» процесса, последовательность действий, взаимосвязь с другими процессами, состав ресурсов процесса и пр.

– упрощение процесса. После проведения анализа процесса необходимо упростить процесс. Лишние операции, не приносящие ценности, должны быть сокращены. Отдельные операции могут объединяться или выполняться параллельно. Для улучшения процесса могут быть предложены другие технологии его исполнения.

– автоматизация процесса. Автоматизация процесса может выполняться только после того, как процесс максимально упростился. Чем проще порядок действий процесса, тем проще его автоматизировать и тем эффективнее будет работать автоматизированный процесс.

Основное развитие автоматизации идет в направлении создания систем автоматизации, способных выполнять функции или процедуры без участия человека.

Основные виды систем автоматизации:

– автоматизированная система планирования (АСП);

– автоматизированная система научных исследований (АСНИ);

– система автоматизированного проектирования (САПР);

– автоматизированный экспериментальный комплекс (АЭК);

– автоматизированная система управления предприятием (АСУП);

– автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП);

– система автоматического управления (САУ);

– гибкое автоматизированное производство (ГАП).

Преимущества автоматизации процессов.

Автоматизация процессов позволяет существенно повысить качество управления и качество продукта, над чем в настоящее время работают все уважающие себя предприятия, а также потребители. Поэтому при внедрении системы менеджмента качества (СМК) автоматизация дает существенный эффект и позволяет организации значительно улучшить свою работу. Однако прежде чем принимать решение об автоматизации процессов, необходимо оценить преимущества их выполнения в автоматическом режиме.

Как правило, автоматизация процессов дает следующие преимущества:

– увеличивается скорость выполнения повторяющихся задач. За счет автоматического режима одни и те же задачи могут выполняться быстрее, т.к. автоматизированные системы более точны в действиях и не подвержены снижению работоспособности от времени работы.

– повышается качество работы. Исключение человеческого фактора значительно снижает вариации исполнения процесса, что приводит к снижению количества ошибок и, соответственно, повышает стабильность и качество процесса.

– повышается точность управления. За счет применения информационных технологий в автоматизированных системах появляется возможность сохранять и учитывать большее количество данных о процессе, чем при ручном управлении.

– параллельное выполнение задач. Автоматизированные системы позволяют выполнять несколько действий одновременно без потери качества и точности работы. Это ускоряет процесс и повышает качество результатов.

– быстрое принятие решений в типовых ситуациях. В автоматизированных системах решения, связанные с типовыми ситуациями, принимаются гораздо быстрее, чем при ручном управлении. Это улучшает характеристики процесса и позволяет избежать несоответствий на последующих стадиях.

Несмотря на очевидные преимущества, автоматизация процессов не всегда целесообразна. После проведения анализа и оптимизации может оказаться, что автоматизация процессов не требуется или экономически невыгодна. В ряде ситуаций ручное выполнение процессов может оказаться более предпочтительным, чем автоматизация:

– операции процесса сложны для автоматизации. С технологической либо с экономической точки зрения некоторые операции процесса бывает очень сложно автоматизировать;

– короткий жизненный цикл продукции. Если продукт должен быть разработан и внедрен в короткий период времени или продолжительность его существования на рынке невелика, то автоматизация процесса может оказаться нецелесообразной. Ручное выполнение процессов будет менее затратным и более быстрым, чем автоматизация;

– уникальная или единичная продукция. Когда потребителю необходим продукт с уникальными характеристиками ручного труда, такой продукт может быть выпущен только, если процессы выполняются в ручном режиме;

– резкие колебания спроса. Изменение спроса на товар требует изменения объемов производства. Такие изменения легче выполняются при ручном выполнении процесса.

9.1.2 Автоматизация бизнес-процесса.

Бизнес-процесс – это совокупность взаимосвязанных мероприятий, процедур, операций, действий предприятия, которые регулярно повторяются и направлены на создание определенного продукта или услуги для потребителей.

Функционирование бизнес-процесса основано на использовании тех или иных ресурсов: человеческие, т.е. кадровые, сырьевые, технологические, технические, информационные, финансовые и прочие.

Одним из путей повышения качества и эффективного развития бизнес-процесса является автоматизация и управление элементами и бизнес-процесса в целом.

Автоматизация бизнес-процессов – это:

– перевод типовых бизнес-задач и стандартных операций под контроль программно-аппаратного комплекса;

– сэкономленные ресурсы, а также увеличение производительности труда и эффективности стратегического управления и концентрации усилий менеджмента на ключевых направлениях работы предприятия;

– превращение рабочего процесса в эффективный, результативный, прибыльный способ выживания на рынке товаров и услуг;

– поддержка оперативной деятельности организации, упрощение контроля и учета;

– минимизация влияния человеческого фактора на важные элементы бизнес-процесса.

9.2 Что такое управление?

Управление (философия) – деятельность субъекта по изменению объекта для достижения определенной цели.

Философия управления – это наука о природе законов и закономерностей, о роли и месте величайших идей мировой теории управления в раскрытии сущности человеческого бытия.

Управление:

– «это дар делать всё самому чужими руками»

– древнейшее искусство и новейшая наука;

– это сложный социальный феномен, имеющий дело с объектами различной природы: материальными, социальными и духовными. С одной стороны, управление представляет собой устойчивую процессуальную структуру, с другой – выполняет в общественных отношениях инструментальную, проективную, познавательную, аксиологическую, методологическую, социально-интегративную и социально-преобразовательную функции;

– это процесс не только рационального разделения, но и рационального, сознательного «соединения» труда, процесс рационального включения продуктов и результатов труда в целостную, интегративную систему общественных отношений;

– это процесс планирования, организации, руководства и контроля, необходимый для того, чтобы сформулировать и достичь целей организации;

– это особый вид деятельности, превращающий неорганизованную толпу в эффективную целенаправленную и производительную группу людей (П. Друкер);

– есть целенаправленное воздействие одних объектов, которые являются управляющими, на другие объекты – управляемые (рисунок 9.2);

– это совокупность действий, выбранных на основании определенной информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования объекта в соответствии с имеющейся программой (алгоритмом) или целью функционирования.

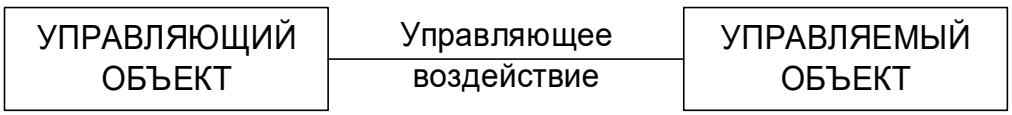


Рисунок 9.2 – Управление

В управлении следует выделить три особенности:

– информационный характер процесса управления;

– стремление принимать наилучшие решения;

– наличие обратной связи.

9.2.1 Технология управления.

Управление может осуществляться непрерывно и дискретно, циклами.

Управление есть процесс, а система управления – механизм (инструмент), который обеспечивает этот процесс. *Технология управления* включает информационные, вычислительные, организационные и логические операции, выполняемые руководителями и специалистами по определенному алгоритму: вручную или с применением технических средств. *Технология управления* – это приемы, методы, порядок и регламент выполнения процесса управления. В качестве регламента, содержащего описание процесса управления, используют технологическую карту управления. Такая карта должна содержать описание информации, используемой для управления, перечень ситуаций и их суть, перечень решений, принимаемых оператором, технологом или диспетчером, последовательность процесса управления.

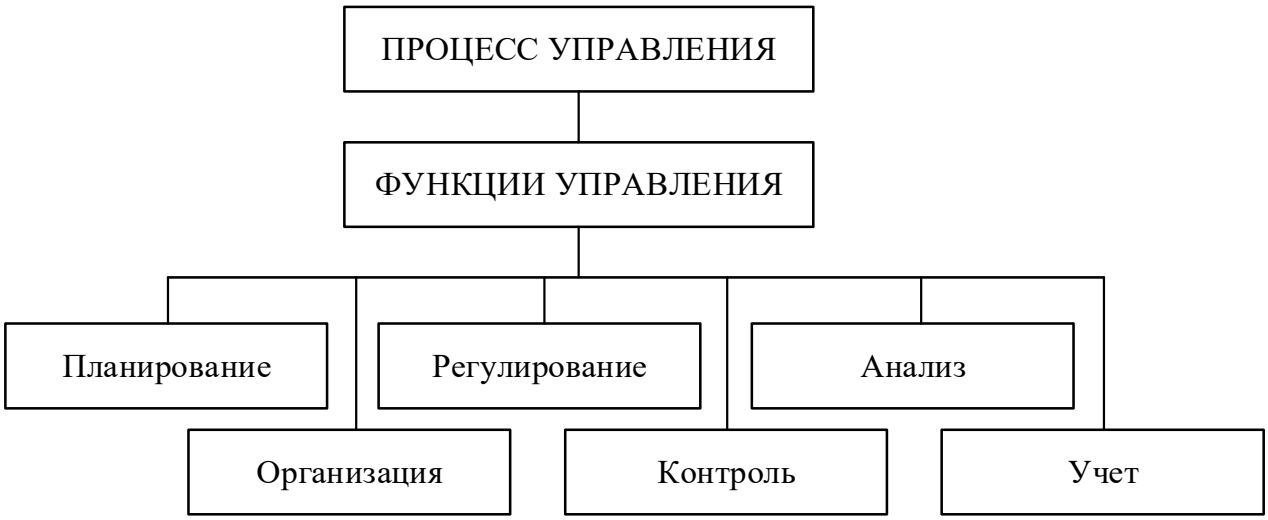


Рисунок 9.3 – Технология управления

9.2.2 Кибернетика.

Кибернетика определила фундаментальные основы управления и позволила установить общие свойства процесса управления в различных средах – в природе, обществе, технике – наличие приема, передачи, хранения и переработки информации.

Кибернетика как самостоятельная научная дисциплина:

– имеет философские аспекты, которые расширили наше представление о мире, введя, кроме материи и энергии, новую категорию – «информация»;

– рассматривает управляемые системы в динамике, в развитии и во взаимодействии с другими внешними системами;

– широко использует методы моделирования, исследуя эмпирические и физические модели реально существующих технологических процессов с использованием математического аппарата;

– изучает вопросы управления, связи, контроля и регулирования, обработки информации в любых сложных динамических системах.

9.2.3 Управление и законы диалектики, принципы управления.

Основные законы диалектики.

Законы диалектики – это всеобщие законы развития природы, общества, мышления.

Закон единства и борьбы (или взаимодействия) противоположностей.

Этот закон раскрывает источник, причины развития. С позиций этого закона, основной источник развития явлений и предметов – противоречия, то есть постоянная борьба пар, причем их существование друг без друга невозможно.

Противоречие – это отношение единства и борьбы между противоположными сторонами предметов и явлений (плюс-минус, спрос – предложение и т.д.).

Закон взаимного перехода количественных и качественных изменений.

Качество – категория, выражающая определенность предмета в единстве всех его свойств.

Количество – категория, выражающая объем, величину предмета или его свойства, темп протекания процессов и т.п.

Мера – категория, определяющая интервал количественных изменений, в пределах которых сохраняется качество предмета.

Этот закон раскрывает механизм (или форму) развития. Согласно ему, количественные изменения рано или поздно нарушают меру и вызывают переход предмета в новое качественное состояние, происходит неизбежный количественно-качественный скачок.

Закон отрицания отрицания.

Отрицание – это замена старого качества новым. Этот закон раскрывает направление развития, при этом последующая форма отрицает предыдущую, на новом качественном уровне продолжает предыдущую. Он гласит, что развитие происходит не по прямой, и не кругу, а по спирали, что в развитии одновременно наблюдается и поступательность, и цикличность, то есть любое развитие представляет собой, с одной стороны, движение вперед, с другой – повторение на новом уровне отдельных черт и свойств предмета, то есть возврат к старому.

Законы управления.

В сфере управления действуют многообразные законы. Эти законы имеют всеобщий характер для всех общественных формаций и способов производства. На современном этапе развития общества достаточно исследованы следующие законы управления.

Закон единства и целостности системы управления.

Вся система управления должна быть построена на основе единых принципов, подходов, интересов.

Закон обеспечения необходимого числа степеней свободы системы управления.

Число степеней свободы должно быть необходимым и достаточным. Управляющая система должна иметь больше степеней свободы, чем управляемая.

Закон необходимого разнообразия систем управления.

Системы управления, обладая разнообразием, должны отличаться внутренней структурой, пропорциями, которые определяются технологией процессов управления.

Закон соотносительности управляющих и управляемых систем.

Системы должны соответствовать друг другу по функциональным и структурным возможностям, уровням, направлениям, целям и задачам развития.

Принципы управления.

Принципы управления относятся к числу важнейших категорий управления. Под принципами управления подразумеваются основные фундаментальные идеи и представления об управленческой деятельности, вытекающие непосредственно из законов и закономерностей управления.

К числу основных принципов относятся:

- научность;
- системность и комплексность;
- единоначалие и коллегиальность;
- демократический централизм;
- цель;
- правовая защищенность управленческого решения;
- оптимизация управления;
- делегирование полномочий;
- соответствие;
- автоматическое замещение отсутствующего;
- первый руководитель;
- одноразовый ввод информации;
- новые задачи;
- повышение квалификации;
- «Монтера Мечникова» – «Вначале деньги, а потом – стулья» – И. Ильф, Е. Петров «12 стульев». Этот принцип гласит, что любое управленческое решение должно быть своевременно обеспечено документально и материально.

9.3 Управление производством – бизнес-процессом

Ф. Энгельс выделял два рода управления – *управление вещами и управление людьми.* Под управлением вещами понимается управление орудиями производства и различными производственными процессами, а под управлением людьми понимается управление производством.

9.3.1 Что такое управление производством?

Управление производством (бизнес-процессом) – это информационный процесс, обеспечивающий выполнение какого-либо материального или информационного процесса и достижение им определенных целей. Производством управляют люди. В процессе управления они воздействуют на людей.

Сущность управления производством проявляется при рассмотрении его как категории, обусловленной кооперацией и разделением труда. «Всякий непосредственно общественный или совместный труд, осуществляемый в сравнительно крупном масштабе, нуждается в большей или меньшей степени в управлении, которое устанавливает согласованность между индивидуальными работами и выполняет общие функции, возникающие из движения всего производственного организма в отличие от движения его самостоятельных органов. Отдельный скрипач сам управляет собой, оркестр нуждается в дирижёре». (К. Маркс и Ф. Энгельс. Полн. собр. соч., т. 23, с. 342).

Труд по управлению производством – это особая разновидность производительности труда. Работники управления – составная часть совокупного рабочего общества.

Труд по управлению производством направлен не на непосредственное изготовление материальных благ и оказание услуг, а на руководство другими работниками. Продукт труда в управлении производством – информация.

9.3.2 Что такое менеджмент?

Менеджмент (англ. management – управление):

– как вид трудовой деятельности;

– как процесс управления, со всеми его функциями, методами и средствами (рисунок 9.4);

– это орган управления, например, совокупность подразделений аппарата управления, объединяющего менеджеров;

– это категория людей, профессионально занимающихся управлением, работающих на должностях, входящих в аппарат управления;

– это научная дисциплина, по проблемам возникающим, когда люди управляют людьми;

– это не только наука, но и искусство управления;

– это практика реального управления и её осмысление;

– это учебная дисциплина, посвящённая управлению;

– это профессионально осуществляемый вид деятельности, направленный на достижение намеченных целей путём рационального использования материальных и трудовых ресурсов.

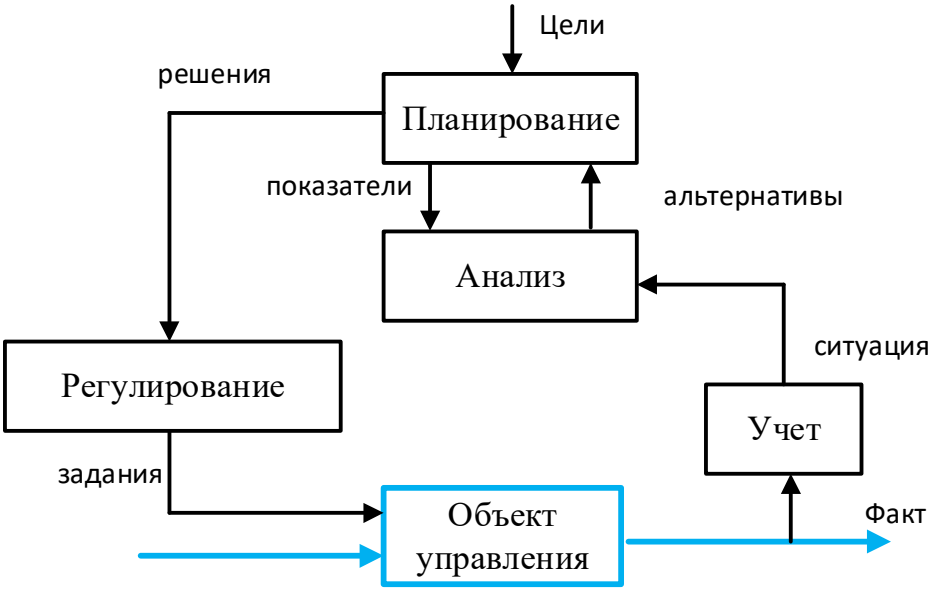


Рисунок 9.4 – Процесс управления

Менеджмент – *обеспечение выполнения работ с помощью других лиц* (Мэри Паркер Фоллет).

Объектами изучения менеджмента являются человек, организация, общество.

Предметом изучения менеджмента является управленческое взаимодействие: управленческие отношения реализуются как информационные связи при организации производства и управлении им.

Технология управления – это приёмы, способы и последовательность выполнения процесса управления.

Система управления

Субъект управления – тот, кто управляет – менеджер (группа менеджеров).

Объект управления – то, чем управляют (организация, отдельный работник, финансовые потоки и т.п.).

Управляющее воздействие – воздействие субъекта управления на объект.

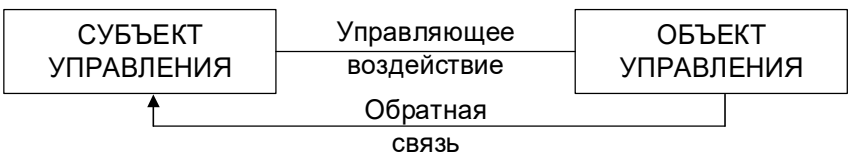


Рисунок 9.5 – Система управления

Функции менеджмента: планирование, организация, мотивация, контроль.

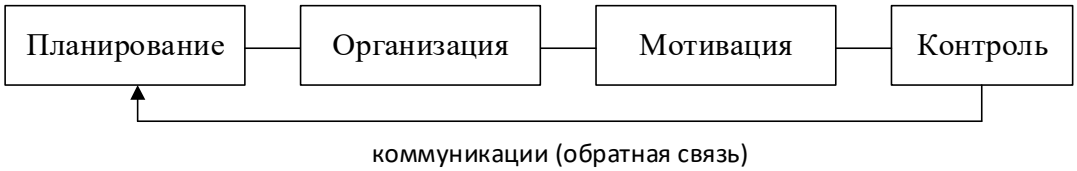


Рисунок 9.6 – Функции менеджмента

По видам и последовательности деятельности менеджмент подразделяют на три стадии – стратегическое управление, оперативное управление и контроль.

Основная задача менеджмента – создание рентабельного предприятия на основе имеющихся людских и материальных ресурсов.

Основатель менеджмента Ф. Тейлор в 1911 году опубликовал «Принципы научного управления», а Анри Файоль разработал 14 универсальных принципов управления.

9.3.3 Процессный подход к управлению бизнес-процессами.

Суть процессного подхода заключается в том, что каждый сотрудник обеспечивает жизнедеятельность конкретных бизнес-процессов, непосредственно участвуя в них. Обязанности, область ответственности, критерии успешной деятельности для каждого сотрудника сформулированы и имеют смысл лишь в контексте конкретной задачи или процесса. Горизонтальная связь между структурными единицами значительно сильнее. Вертикальная связь «начальник-подчиненный» слегка ослабевает. Чувство ответственности сотрудника качественно меняется: он отвечает не только за те функции, которые на него возложил начальник, но и за бизнес-процесс в целом. Функции и результат деятельности параллельных структурных единиц для него важны. Ответственность за результат бизнес-процесса в целом подталкивает его к ответственности перед коллегами, такими же участниками бизнес-процесса, как он сам.

При построении процессно-ориентированной системы управления основной упор делается на проработку механизмов взаимодействия в рамках процесса как между структурными единицами внутри компании, так и с внешней средой, т.е. с клиентами, поставщиками и партнерами. Именно процессный подход позволяет учесть такие важные аспекты бизнеса, как ориентация на конечный продукт, заинтересованность каждого исполнителя в повышении качества конечного продукта и, как следствие, заинтересованность в конечном выполнении своей работы. Процессный подход к управлению игнорирует организационную структуру управления организацией со свойственным ей закреплением функций за отдельными подразделениями. При процессном подходе организация воспринимается руководителями и сотрудниками как деятельность, состоящая из бизнес-процессов, нацеленных на получение конечного результата. Организация воспринимается как сеть бизнес-процессов, представляющая собой совокупность взаимосвязанных и

взаимодействующих бизнес-процессов, включающих все функции, выполняемые в подразделениях организации. В то время как функциональная структура бизнеса определяет возможности предприятия, устанавливая, что следует делать, процессная структура (в операционной системе бизнеса) описывает конкретную технологию выполнения поставленных целей и задач, отвечая на вопрос, как это следует делать.

Процессный подход основан на следующих принципах:

1) Деятельность компании рассматривается как совокупность бизнес-процессов.

2) Выполнение бизнес-процессов подлежит обязательной регламентации или формальному описанию.

3) У каждого бизнес-процесса есть внутренний или внешний клиент и владелец (лицо, отвечающее за результат бизнес-процесса).

4) Каждый бизнес-процесс характеризуется ключевыми показателями, описывающими его исполнение, результат или влияние на итог деятельности организации в целом.

Принципы процессного подхода к управлению определяют основные правила, руководствуясь которыми можно организовать эффективное функционирование бизнеса, нацеленное на конечный результат.

Первый принцип определяет видение деятельности компании как совокупности бизнес-процессов. Именно он определяет новую культуру восприятия организации при процессном подходе.

Второй принцип процессного подхода, требующий обязательной регламентации бизнес-процессов, опирается на то, что регламент – это документ, описывающий последовательность операций, ответственность, порядок взаимодействия исполнителей, порядок принятия решений по улучшению бизнес-процесса.

Выделение бизнес-процесса всегда связано с выявлением клиента или потребителя результата процесса, имеющего для него определенную стоимость. Кроме клиента, каждый бизнес-процесс имеет владельца – должностное лицо, в распоряжении которого находятся необходимые ресурсы, он управляет ходом бизнес-процесса и несет ответственность за его результаты и эффективность, по сути, является лидером бизнес-процесса. Эти преимущества гарантируют высокую результативность деятельности организации, управление которой имеет выраженный процессно-ориентированный характер.

Процессно-ориентированное управление позволяет качественно изменить деятельность копании на операционном, межфункциональном и межорганизационном уровнях ее интеграции. Функциональная интеграция перестает быть при этом источником сложно разрешаемых межфункциональных конфликтов. Операционный уровень интеграции получает новое видение благодаря сети бизнес-процессов организации и позволяет:

а) более эффективно разграничить полномочия и ответственность персонала;

б) развить эффективную систему делегирования полномочий;

в) обеспечить стандартизацию требований к исполнителям;

г) минимизировать риск зависимости от отдельного исполнителя;

д) снизить нагрузки руководителей;

е) сократить издержки;

ж) повысить эффективность управления персоналом;

з) выявить источники сокращения издержек и времени на исполнение бизнес-процессов;

и) снизить время принятия управленческих решений.

Как следствие, повышается управляемость компании, снижается себестоимость продукции и услуг. Все это приводит к изменению качества самой компании и формированию процессно-ориентированной организации, в которой весь коллектив является осознанным участником непрерывного процесса деятельности, связанного с конечным результатом производства продукции или оказания услуг.

Развитие процессного подхода к управлению получило широкий резонанс, фактически все ведущие организации мира имеют характер процессно-ориентированных организаций.

Исходя из понимания того, какие бизнес-процессы выполняются в организации, можно построить эффективную организационную структуру управления ими. В случае, если организационная структура сложилась традиционно, в анализе ее качества может помочь операционная система бизнеса.

Таким образом, отсутствие процессного подхода в управлении приводит к стихийным результатам, на которые невозможно опираться и которые невозможно анализировать, так как их сложно воспроизвести. Именно процессный подход позволяет понять, что конечный продукт деятельности компании является результатом совместной работы всех без исключения ее сотрудников, кроме того, он позволяет устранить разрывы на стыке процессов, восстанавливая связь между ними. Процессный подход не отвергает существующей в компании системы управления, а определяет пути ее улучшения и качественной модификации.

Преимущества: четкая система взаимных связей внутри процессов и в соответствующих их подразделениях; четкая система единоначалия – один руководитель сосредоточивает в своих руках руководство всей совокупностью операций и действий, направленных на достижение поставленной цели и получение заданного результата; наделение сотрудников большими полномочиями и усиление роли каждого из них в работе компании приводит к значительному повышению их отдачи; быстрая реакция исполнительных процессных подразделений на изменение внешних условий; в работе руководителей стратегические проблемы доминируют над оперативными; критерии эффективности и качества работы подразделений и организации в

целом согласованы и сонаправлены; повышенная зависимость результатов работы организации от квалификации, личных и деловых качеств рядовых работников и исполнителей; управление смешанными в функциональном смысле рабочими командами – более сложная задача, нежели управление функциональными подразделениями; наличие в команде нескольких человек различной функциональной квалификации неизбежно приводит к некоторым задержкам и ошибкам, возникающим при передаче работы между членами команды, однако потери здесь значительно меньше, чем при традиционной организации работ, когда исполнители подчиняются различным подразделениям компании.

Разумеется, за счет одной только формализации бизнес-процессов добиться повышения эффективности нельзя, и процессный подход – не панацея от всех болезней организации. Он позволяет диагностировать проблемы как всей компании, так и взаимодействия различных ее подразделений при выполнении общей задачи.

9.3.4 Качество как объект управления.

Управление качеством рассматривается совместно с *менеджментом качества,* так как это тесно связанные и взаимодополнящие области деятельности, образующие *управление качеством* в масштабе компании.

Общая характеристика требований к продукции

Наиболее универсальными, т.е. применимыми к большинству товаров и услуг, являются требования:

- назначения;
- эргономики;
- ресурсосбережения;
- надёжности;
- экологичности;
- технологичности;эстетичности.

Особую группу требований составляют требования безопасности.

Менеджмент качества – это не только выполнение требований к качеству (управление качеством), но и планирование, управление, обеспечение и улучшение качества.

Управлять качеством, как и процессами в системе менеджмента, – это, значит, предпринимать определенные усилия, воздействия на процесс для достижения им определенных целей. Очевидно, что без такого воздействия процесс «сам» не придет к цели. Любым процессом, любой деятельностью необходимо управлять! И это является одной из основных задач менеджмента. В данном контексте (контексте систем качественного менеджмента) управлять нужно именно деятельностью для достижения результата (получение продукта, удовлетворяющего заданным требованиям), а не самим результатом (продуктом, управление которым в случае его материального воплощения может сводиться только к его перемещению в пространстве). Одним из самых

известных в менеджменте качества способов управления является следование циклу Деминга (Шухарта-Деминга) PDCA. Он состоит из четырех шагов:

1) Plan – определение целей и мероприятий;
2) Do – проведение запланированных мероприятий;
3) Chek – проверка проведения мероприятий;
4) Act – оценка и реакция на новую ситуацию.

Суть управления сводится к изменению целей, планов, формированию новых плановых мероприятий и пр. по итогам проверки выполненных работ. Оценка управления проводится на различных уровнях по-разному. В задачах стратегического управления (управления эффективностью бизнеса) она успешно может проводиться с использованием системы сбалансированных показателей BSC.

Одним из известных в менеджменте качества методов является всеобщий менеджмент качества (TQM).

Всеобщее управление качеством – концепция, предусматривающая реализацию скоординированного, комплексного и целенаправленного внедрения и применения систем и методов управления качеством во всех сферах деятельности от стадии проектирования до этапа послепродажного обслуживания при рациональном использовании технического потенциала и активном участии работников, служащих и руководителей всех подразделений и звеньев организации.

Следующим известным в менеджменте качества методом управления производством является управление по принципу «Точно вовремя».

Философия «Точно вовремя» (JIT) охватывает:

– методы и средства управления производством;
– всеобщее управление качеством;
– обслуживание, ориентированное на надежность;
– данная концепция основана на трех постулатах:
– *организация* – рабочие процессы должны систематически планироваться для уменьшения доработок, отходов и брака;
– *качество* – упор на непрерывное совершенствование качества;
– *обслуживание* – машины и оборудование должны обслуживаться на уровне, не допускающем поломок;
– требования: максимальная адаптация к изменению и нововведениям.

Преимущества: сокращение времени выполнения заказов.

Философия управления качеством «Качество рождается на каждом рабочем месте – от всех и каждого на предприятии зависит, какую продукцию получит покупатель».

История развития менеджмента качества начиналась с контроля качества готовой продукции и постоянно совершенствуется (рисунок 9.7).

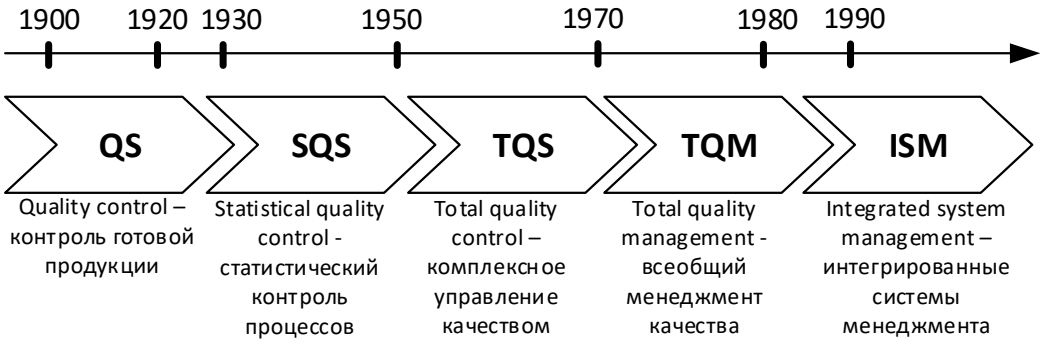


Рисунок 9.7 – История развития менеджмента качества

9.4 Управление технологическими процессами

Управление технологическим процессом реализуется в самых коротких циклах управления, и это накладывает определенный отпечаток на функции управления технологическим процессом. В качестве основных функций управления используются контроль и оперативное управление, реализуемые в коротких циклах. В управлении технологическим процессом реализуются функции связи со смежными работниками, выполняющими смежные технологические операции, поставляющими материалы, полуфабрикаты, инструмент и т.п., а также с управленческим аппаратом. Эти функции носят в основном информационный характер. Перечисленные функции составляют основное содержание управления технологическим процессом.

Система управления технологическим объектом – это совокупность оперативного технологического персонала и комплекса технических средств автоматизации управления, связанных общей задачей управления. Оперативный технический персонал (начальник установки, оператор, аппаратчик) с помощью комплекса автоматических устройств, в том числе и средств вычислительной техники, получает информацию о состоянии технологического объекта (входных и выходных параметрах, режимных параметрах, различного рода возмущениях) и воздействует на них таким образом, чтобы достигалась цель нормального течения технологического процесса (ТП).

Под автоматизированными системами управления технологическими процессами АСУ ТП в принятом иерархическом делении задач управления предприятием понимается вся совокупность алгоритмов, средств управления и обслуживающего персонала, имеющая отношение к оперативному управлению отдельными технологическими агрегатами и группами агрегатов.

В общей иерархической структуре системы управления производством АСУ ТП являются нижней ступенью иерархии, и поэтому они характеризуются более тесной связью с объектом, наибольшей независимостью от других ступеней иерархии, наибольшей оперативностью контроля и управления.

Объектами АСУ ТП нижнего уровня являются отдельные агрегаты (например, насос магистральный, насос подпорный, резервуар, и др.) или

группа взаимосвязанных агрегатов, представляющих собой единую технологическую установку (например, основная насосная станция, резервуарный парк и др.). В связи с многообразием объектов для АСУ ТП характерно разнообразие задач управления, методов управления и технических средств реализации алгоритмов управления.

Основные функции АСУ ТП сводятся к следующему:

– контроль за основными переменными технологического процесса;

– стабилизация технологического процесса на некотором постоянном уровне, определяемом технологическим регламентом производства;

– программное управление (включая пуск и остановку процесса) по заданным функциям времени;

– оптимальное управление технологическим процессом (исходя из технологических или технико-экономических критериев);

– защита оборудования от аварий;

– оперативная связь со старшими ступенями управления.

Как правило, АСУ ТП характеризуются непосредственной связью с объектом. В большем числе случаев информация вводится в систему управления от датчиков автоматически, управляющие воздействия могут поступать непосредственно на регулирующие клапаны и задвижки. В состав средств, применяемых на этом уровне, входят разнообразные специализированные аналоговые и цифровые устройства, специальные датчики, регуляторы, вычислительные машины и устройства связи вычислительных машин с объектом.

Перечисленные особенности АСУ ТП обусловливают специфику методики построения системы управления агрегатами и технологическими процессами.

В начале при разработке АСУ ТП производится формализация исходного представления об объекте и всей задачи управления. Далее либо математически строго, либо при помощи целого ряда дополнительных упрощающих предположений синтезируется (либо просто предлагается) алгоритм управления. Важной особенностью является то обстоятельство, что эффективность принятых решений до экспериментальной проверки на объекте проверяется в лабораторных условиях, опираясь на имеющиеся формальные представления об объекте, при помощи вычислительных машин.

Для решения сформулированной задачи управления на базе формализованного подхода нужно выполнить следующие стадии работы:

– провести исходную формализацию (постановку) задачи синтеза алгоритма управления;

– разработать соответствующие алгоритмы управления с проверкой на ЭВМ;

– подобрать рациональную структуру технических средств, реализующих АСУ ТП;

– провести всестороннее опробование разработанной АСУ ТП на реальном объекте.

В соответствии с традиционными представлениями любую систему управления рассматривают состоящей из объекта управления и управляющей части системы.

Под *объектом управления* понимают всю установку или ее часть, управление которой предполагается автоматизировать. Объект управления однозначно выделяется принятой совокупностью наблюдаемых величин, управляющих воздействий и критериев управления (наряду с ограничениями). Под наблюдаемыми величинами понимают сигналы (показания) измерительных приборов установки. Информация о наблюдаемых величинах поступает в управляющую часть системы.

Управляющими воздействиями называют переменные, характеризующие положения органов управления установкой. Изменения значений управляющих воздействий осуществляются на основании решений, принимаемых управляющей частью системы.

Критерием управления называется некоторый показатель (в общем случае функционал), определяющий качество работы системы, а ограничениями – допустимые пределы изменения тех или иных переменных, характеризующих протекание технологического процесса, конструктивные возможности установки, номенклатурные признаки продукта и т. п.

Одной из самых сложных проблем, возникающих при создании автоматизированных систем, является разработка соответствующих алгоритмов контроля и управления технологическими процессами.

С функциональной точки зрения АСУТП представляет собой программно-технический комплекс (ПТК или автоматизированный технологический комплекс – АТК), осуществляющий во взаимодействии с человеком ввод, обработку и отображение сигналов, характеризующих состояние технологического процесса (ТП), а также, при необходимости, выработку управляющего воздействия для управления ТП. ТОУ и АСУТП функционируют совместно. Совокупность ТОУ и АСУТП образует программно-технический комплекс или управляющий вычислительный комплекс.

Функции АСУТП следует отличать от функций, выполняемых всем комплексом технических средств системы или его отдельными устройствами. Они могут быть управляющими, информационными и вспомогательными.

Управляющие функции АСУТП – это выработка и реализация управляющих воздействий на ТОУ. Управляющие функции реализуются процедурами блока формирования управляющих воздействий, в котором в соответствии с заложенными алгоритмами и инструкциями формируются управляющие решения и соответствующие воздействия на ТОУ и блок-задания в целях максимизации или минимизации критерия оптимальности. Сформированные управляющие воздействия реализуются на ТОУ исполнительными органами.

Информационные функции АСУТП – это функции системы по сбору, обработке и предоставлению информации о состоянии ТОУ оператору или на последующую обработку в блок формирования управляющих воздействий. В процессе обработки информации выполняются операции суммирования, сглаживания, вычисления косвенных показателей, которые не могут быть определены непосредственно при контроле сопоставления текущих значений параметров технологического процесса с заданными. Одновременно могут осуществляться подготовка и передача информации в смежные системы управления, обобщение результатов и прогноз состояния ТОУ и технологического оборудования. Отличительной особенностью управляющих и информационных функций АСУТП является их направленность на конкретного потребителя.

Вспомогательные функции обеспечивают решение внутрисистемных задач. В отличие от управляющих и информационных функций АСУТП они предназначены для обеспечения собственного функционирования автоматизированной системы управления.

Общее в функциональной структуре АСУТП и функциональной схеме системы регулирования то, что в обеих сохраняются основные функции – измерение, сопоставление, вычисление и организация регулирующего (управляющего) воздействия. Однако, вследствие необходимости обработки чрезвычайно больших потоков информации, поступающих в ТОУ, сложности этой обработки, применения алгоритмов принятия оптимальных решений, необходимости корректировки совокупности параметров ТОУ, АСУТП приобрела качественно новое свойство – обеспечение в соответствии с заданным критерием управления наилучших результатов функционирования всего технологического процесса.

9.4.1 Особенности АСУ ТП.

Все АСУ ТП предназначены, в основном, для управления вещами. Кроме того, это единственный вид автоматизированных систем, который предназначен именно для управления вещами. Все остальные АСУ предусматривают управление людьми. В этом состоит *первая* особенность АСУ ТП.

Вторая особенность в том, что АСУ ТП в классификации АСУ по уровню управления обеспечивает самый низкий уровень управления в том смысле, что АСУ ТП непосредственно соприкасается с технологическим процессом. Все остальные АСУ с ним не соприкасаются и отделены от технологического процесса одним или несколькими уровнями управления.

Третья особенность АСУ ТП – они могут охватывать различные части технологического процесса от отдельного агрегата до отрасли, что в корне отличает АСУ ТП от других систем.

Отсутствие жесткой связи АСУ ТП с организационной структурой предприятия является *четвертой* особенностью АСУ ТП.

АСУ ТП агрегатов могут охватываться АСУ ТП цехом и образовывать новую, более совершенную и сложную иерархическую структуру АСУ ТП. Это *пятая* особенность АСУ ТП.

Подчиненность АСУ ТП мастеру цеха или главному технологу, или главному инженеру зависит от размера управляемой части технологического процесса – *шестая* особенность АСУ ТП.

В самых коротких циклах управления работают АСУ ТП по сравнению с другими АСУ. Это *седьмая* особенность АСУ ТП.

Только АСУ ТП могут работать в автоматическом режиме и используют замкнутую обратную связь. Остальные АСУ работают в автоматизируемых режимах. Это *восьмая* особенность АСУ ТП.

Контрольные вопросы.

1. Что такое автоматизация?
2. Что такое процессный подход к управлению?
3. В чем суть процессного подхода?
4. На каких принципах основан ПП?
5. Перечисли принципы автоматизации процессов.
6. Законы диалектики и законы управления. Какая взаимосвязь между этими законами?
7. Какие существуют уровни автоматизации в соответствии с уровнями управления?
8. Что включает в себя система автоматизации?
9. Что такое управление? Понятие менеджмента.
10. Виды предприятия. Приведи пример.
11. Какие группы процессов можно выделить связанные с производством или предоставлением услуг?
12. Что такое бизнес-процесс?
13. Качество как объект управления.
14. Как можно сформулировать стратегию автоматизации процессов?
15. Преимущества автоматизации процессов.
16. В чем суть в управления процессами?
17. Особенности АСУ ТП.

10 Примеры описаний технологических процессов как объектов управления

Анализ и описание процесса как объекта управления являются начальным этапом создания систем автоматизированного управления. Он проводится в период обследования процесса и на основании априорной информации о процессе, которая содержится в научно-технической литературе и других источниках.

При обследовании процесса как объекта управления необходимо:

– изучить технологическую схему и технологический регламент процесса;

– представить процесс в виде набора отдельных стадий, связанных между собой материальными потоками;

– получить приближенные оценки статистических параметров материальных, энергетических и информационных потоков с целью отбора существенных параметров, влияющих на производительность и качество результатов процесса;

– соблюдать общие принципы и методы представления объекта, изложенные в теории управления независимо от разной природы стадий процесса.

Конкретные особенности и характеристики каждого объекта должны учитываться при выборе и разработке:

– его математической модели;

– способов получения информации от объекта и вывода управляющих воздействий на объект;

– метода управления и определения требований к обеспечению системы управления;

– оценке технико-экономических показателей и критерия управления данным процессом

Все необходимые сведения по особенностям и характеристикам процессов для анализа и описания процесса как объекта управления приведены в предыдущих главах данного учебного пособия.

Характерные особенности различных технологических объектов и процессов приведены ниже.

10.1 Основные черты и особенности гидрометаллургических процессов

Некоторые общие черты гидрометаллургических и химических процессов, отражающие в основном характер их протекания, характер воздействий, приложенных к объектам управления, характер информации, получаемой о процессах, характер технико-экономических показателей и др., позволяют применить для их оптимизации единую методику. К характерным чертам и особенностям рассматриваемых процессов относятся:

1) *Непрерывность технологических процессов.* Значительное большинство современных технологических процессов как в гидрометаллургии, так и в других отраслях промышленности (химической, нефтеперерабатывающей и др.), характеризуется непрерывностью технологических операций. При этом через технологические аппараты проходят непрерывные материальные потоки сырья, реагентов, промежуточных продуктов, либо смешиваясь и взаимодействуя между собой,

либо разделяясь на фазы (твердую и жидкую, органическую и неорганическую и т. п.) в процессе своего движения.

Задача управления непрерывными процессами может быть представлена в общем виде как задача управления материальными потоками сырья, реагентов и других технологических сред в зависимости от получаемой информации об изменениях характеристик сырья, технологических параметров и технико-экономических показателей процесса таких, как количество (производительность) и качество продукции, а также стоимость переработки сырья (себестоимость продукции).

2) *Запаздывание в процессах (сдвиг во времени между выходом и входом каждого из объектов управления).* Можно считать, что основную часть запаздываний в непрерывных процессах составляют транспортные запаздывания, которые определяются размерами (протяженностью) управляемых объектов и скоростями потоков в них. Эти запаздывания могут вызывать значительные сдвиги во времени (от нескольких минут до нескольких часов) между изменениями параметров технологических сред на входе и выходе каждого из объектов управления.

3) *Большие постоянные времени объектов управления.* Если приближенно описывать объекты управления в виде звеньев первого порядка с запаздыванием, то постоянные времени таких звеньев для большинства рассматриваемых технологических процессов могут быть соизмеримы с запаздываниями. Так как при больших постоянных времени флуктуации технологических параметров на входе объекта управления сглаживаются по мере прохождения среды через объект, то обычно оказывается возможным выделять в воздействиях на объект низкочастотную составляющую и ограничиваться ее рассмотрением.

4) *Устойчивость объектов управления.* Большинство объектов регулирования в рассматриваемых технологических процессах обладают самовыравниванием (способностью самопроизвольно возвращаться в установившееся состояние) и поэтому являются устойчивыми при работе без регуляторов.

5) *Возможность линейного описания процессов.* В некотором интервале изменения переменных в окрестности точки, соответствующей заданному технологическому режиму, математическое описание статики многих объектов управления может быть представлено с достаточной для управления точностью линейными уравнениями.

6) *Ограниченность теоретических представлений о взаимосвязях переменных в технологических процессах.* В ряде случаев теоретические данные о технологических процессах оказываются недостаточными для исчерпывающего описания всех связей между технологическими параметрами и технико-экономическими показателями в процессе. При этом связи выявляются обычно на основании экспериментов, проведенных в лабораторных, полупромышленных и производственных условиях, и носят поэтому эмпирический характер. Приходится также учитывать, что

большинство процессов не поддается физическому моделированию, т. е. зависимости, выявленные при проведении лабораторных экспериментов, не могут быть отнесены без изменений к реальной промышленной установке.

7) *Стохастический характер возмущений.* Возмущающие воздействия, оказываемые на процесс изменением состава и физико-химических свойств сырья, можно считать случайными процессами, так как они отражают случайный характер изменения во времени встречающегося в природе сырья и материалов. В ряде случаев эти случайные изменения характеристик сырья могут с достаточной точностью описываться нормальным законом распределения вероятностей.

8) *Неполнота информации о составе и свойствах сырья, технологических сред и вырабатываемой продукции.* В гидрометаллургическом производстве так же, как и в ряде других, близких по характеру производств, в настоящее время отсутствуют такие многокомпонентные анализаторы состава вещества, которые могли бы обеспечить полную и своевременную информацию о всех изменениях состава сырья, технологических сред на всех переделах, а также готовой продукции. Ограниченность имеющейся информации о составе сред является серьезной помехой оптимизации процессов, поэтому необходимо считать одной из основных задач автоматизации создание таких многокомпонентных анализаторов, которые обеспечивали бы полную информацию об изменениях состава технологических сред. Даже при сложности такого рода анализаторов разработка их и внедрение вполне оправданы, а сами анализаторы должны довольно быстро окупиться благодаря значительным экономическим эффектам, которые могут быть получены при их внедрении. В настоящее время отсутствие такого рода анализаторов делает особенно важной разработку методов оптимального управления технологическими процессами, которые могут обеспечить удовлетворительную работу производства при неполной информации, получаемой системой управления. Создание многокомпонентных анализаторов в дальнейшем еще больше увеличит эффективность оптимального управления и упростит методику управления.

9) *Проблема оценки текущих значений технико-экономических показателей, а также показателей качества ведения процесса.* Так как рассматриваемые процессы характеризуются значительными транспортными запаздываниями, то появляются серьезные затруднения при попытке измерить или рассчитать текущие значения технико-экономических показателей. Это относится прежде всего к таким технико-экономическим показателям, как извлечение (в гидрометаллургии) и себестоимость продукции, которые определяются путем установления соответствия между характеристиками сырья, качеством продукции, расходом реагентов и электроэнергии, а также другими величинами. Из-за транспортных запаздываний многие из этих величин в зависимости от того, относятся они к входу или к выходу объектов управления, могут быть сдвинуты во времени. Поэтому удается определить только средние значения технико-экономических показателей за время, в

несколько раз превышающее время запаздывания в объекте, т. е. полностью исключается возможность эффективного управления процессом непосредственно по этим средним значениям технико-экономических показателей.

10) *Трудности, связанные с наличием в технологическом процессе замкнутых материальных потоков.* Во многих противоточных технологических процессах, широко внедряемых в настоящее время как в гидрометаллургическое производство, так и в другие отрасли промышленности, появляется необходимость учета при оптимальном управлении специфики этих процессов. Имеются в виду, например, такие процессы, как экстракция, сорбция и т. п. В этих процессах, как правило, имеются замкнутые материальные потоки, связывающие две соседние технологические операции. При значительных транспортных запаздываниях в замкнутом потоке учет взаимного влияния друг на друга двух соседних операций усложняется, и, таким образом, эти операции могут вестись в режимах, далеких от оптимальных. В данном случае применение метода оптимального управления, позволяющего оценить хотя бы в вероятностном отношении связь между этими операциями, приблизит процессы к оптимальным режимам и даст определенный экономический эффект.

Можно показать, что все перечисленные черты и особенности технологических процессов характерны не только для гидрометаллургических процессов, но также и для целого ряда технологических процессов химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей производства. Поэтому вполне актуальна задача разработки такого метода оптимального управления технологическими процессами. Подробное рассмотрение основных особенностей процессов как объектов управления приводится с целью определения структуры математической модели и метода оптимального управления с обоснованием отдельных положений выбранного метода.

10.2 Особенности металлургических печей как объектов автоматического контроля и управления

Металлургические печи принадлежат к основным агрегатам металлургического производства. Тепловая энергия (рабочий вид энергии в металлургических печах) обеспечивает протекание соответствующих технологических процессов: плавление, рафинирование, нагрев, термообработку.

Металлургические печи могут быть классифицированы по целому ряду признаков.

По роду используемой энергии печи классифицируют на:

а) топливные;

б) электрические;

в) химические;

г) смешанного типа.

По режиму работы (по основной форме теплопередачи) различают печи:

а) радиационного режима;

б) конвективного режима;

в) слоевого режима.

По технологическому назначению печи подразделяют на:

а) плавильные;

б) нагревательные.

Двойственный характер работы металлургических печей, выполняющих как теплотехнические, так и технологические функции, предопределяет необходимость согласования теплового и технологического режимов работы, что существенно усложняет управление протекающими в них процессами.

При рассмотрении металлургических печей и происходящих в них процессов как объектов автоматического контроля и регулирования можно отметить ряд особенностей, выделяющих их из общего ряда промышленных объектов контроля и регулирования и налагающих специфические требования на автоматизированные системы управления при их создании. Эти особенности состоят в следующем:

1) *Металлургические процессы в основных агрегатах являются, как правило, сложными объектами,* т. е. объектами, которые можно подразделить на ряд элементарных звеньев, простых объектов, простых процессов. Регулирование температуры металла, например, в пламенных печах, происходит за счет сжигания топлива и зависит от накладывающихся в пространстве и во времени последовательных процессов аэродинамики (ввода к смешению топлива и воздуха), химических реакций горения и процессов теплообмена. С точки зрения понятий теории автоматического регулирования, сложные объекты могут быть представлены как системы, составленные из ряда параллельно и последовательно соединенных элементарных (типовых) звеньев.

Правильное представление о сложности объекта контроля и регулирования – необходимое условие для создания рациональной и эффективной системы автоматического управления. Так, например, только при правильном анализе механизма теплообмена и движения газов в рабочем пространстве металлургической печи можно достичь представительного замера температуры, так как на условиях теплообмена датчика температуры с окружающей средой сказываются светимость факела, его конфигурация, скорость движения продуктов сгорания и т. п.

Физическая сложность, многофакторность процессов выплавки и обработки металла приводят к тому, что металлургические печи являются многосвязанными объектами, функционирование которых определяется рядом входных и выходных величин, испытывающих взаимные влияния. Например, изменение расхода воздуха, подаваемого в печи, вызывает одновременное изменение температуры печи, состава газов, заполняющих рабочее пространство, и давления в печи.

2) *Подавляющее большинство металлургических объектов принадлежит к системам с распределенными параметрами*, т. е. к системам,

физические характеристики которых – температура, масса, тепловые потоки, теплоемкость, теплопроводность и т. п. – распределены в пространстве, являются функциями координат пространства. Например, температурные поля и поля концентрации в доменной печи распределены в шихтовых материалах, заполняющих шахту печи высотой до 30 м и более и диаметром (распара) до 12 м и более. В методических печах нагреваются заготовки, образующие как бы монолитную металлическую плиту размерами до 30х10 м и толщиной (0,2–0,3) м, температура металла, в которой меняется от 20—30°С у окна загрузки и до 1250°С у окна выгрузки, с зонами охлаждения в местах соприкосновения металла с глиссажными трубами и с другими неравномерностями температурного поля.

Процессы, происходящие в металлургических печах, подчиняются закономерностям тепло- и массопереноса, а также переноса количества движения.

В связи с тем, что математическое описание объектов с распределенными параметрами требует использования аппарата дифференциальных уравнений в частных производственных, в отличие от объектов с сосредоточенными параметрами, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями; теоретические методы анализа поведения систем управления с такими объектами являются более сложными и имеют ряд особенностей.

3) *Ограниченность теоретических представлений о взаимосвязях переменных в технологических процессах*. Несмотря на то что процессы в металлургических печах в принципе подчиняются основным законам переноса тепла, вещества и импульса, в настоящее время отсутствуют достаточно точные математические модели реальных производственных процессов. Существующие модели, построенные на ряде упрощений и допущений, оказывают большую помощь в исследовании и познании металлургических процессов, определении рациональных технологических и теплотехнических режимов и способов управлении этими режимами. Однако приближенность существующих моделей не позволяет решить все эти вопросы исчерпывающим образом и найти строго оптимальные режимы, конструкции агрегатов и создать полностью автоматические системы управления.

4) *Сложность металлургических процессов и разнообразие возмущений,* приложенных в различных местах агрегатов, приводят к тому, что объекты характеризуются большим числом контролируемых величин и управляющих воздействий.

Возмущениями, влияющими на ход доменной плавки, являются: колебания химического состава и физического состояния (прочности, крупности) руды, агломерата, кокса, флюсов; неконтролируемые изменения состояния шихтовых материалов в шахте печи (уровень засыпки, зависание материалов, прогары в шихте); колебания количества, давления и состава дутья; износ конструктивных элементов печи, например, фурм, холодильников, и изменения вследствие этого условий тепло- и массообмена в реагирующих материалах и т. д. Для контроля и управления всем комплексом доменной печи

требуется контролировать свыше 100 параметров – температуру, давление, расходы, составы, положения, уровни и т. д. Управление доменным процессом может осуществляться посредством изменений в соотношении количеств загружаемых материалов, последовательности подачи различных составляющих шихты, изменений распределения материалов по периметру шахты печи при загрузке. Управляющими воздействиями также являются целенаправленные изменения расхода дутья, его температуры, влажности, изменения расхода кислорода и природного газа.

Современные непрерывные многозонные протяжные печи для термообработки металлической ленты оборудованы системами автоматического контроля и регулирования, в которых осуществляются измерения многих десятков параметров, характеризующих состояние металла и агрегата. В термических отделениях прокатных цехов, оборудованных колпаковыми печами садочного действия, число стендов в которых достигает 200 в одном отделении, системы автоматического регулирования теплового режима работают на основе показаний около 300 датчиков температуры – термопар, установленных в каждом стенде и нагревательном колпаке.

Вследствие того, что в системах автоматики металлургических агрегатов выполняются многочисленные измерения, приходится применять компактные многоточечные приборы, машины централизованного контроля, развернутые мнемосхемы на щитах, вычислительные машины для обработки информации. Большое число управляющих воздействий, каждое из которых влияет, чаще всего, на несколько выходных величин, требует от операторов высокой квалификации при управлении процессами, а при создании автоматических схем управления требуются обширные исследования взаимных связей и влияний входных и выходных величин, разработка и приборная реализация сложных алгоритмов управления.

5) *Выполнение автоматического контроля основных параметров на металлургических объектах связано со значительными трудностями*, обусловленными высокими температурами и химической агрессивностью газов, жидких металлов и шлаков, а также недоступностью измерений в массе твердого металла и сыпучих материалов.

В настоящее время практически отсутствуют материалы, которые выдерживают достаточно длительное пребывание в расплавленной стали без износа, изменения физико-химических свойств и разрушения. Это затрудняет создание непрерывных, длительное время работающих датчиков температуры и состава металла. Существующие способы контроля состава металла и шлака по ходу плавок состоят в периодическом отборе проб с последующим их анализом химическими, спектрометрическими и другими методами, т. с. являются дискретными, что затрудняет управление процессами. Автоматические измерения температуры и состава газов в толщине шихтовых материалов доменной печи возможны лишь при помощи очень прочных водоохлаждаемых зондов, вдвигаемых в толщу материалов мощными электроприводами. При этом измерения могут осуществляться только

дискретно, так как большие массы медленно опускающихся горячих материалов способны разрушить любую введенную в них конструкцию.

Использование пирометров излучения для бесконтактного измерения температуры поверхностей металла ограничивается погрешностями, возникающими из-за изменения степени черноты этих поверхностей в процессе нагрева и термообработки.

6) Металлургические объекты принадлежат, как правило, к классу *нелинейных* объектов, т. е. объектов, поведение которых описывается нелинейными математическими выражениями, например, нелинейными дифференциальными уравнениями.

Методы анализа и синтеза нелинейных объектов и систем регулирования являются значительно более сложными, чем методы анализа и синтеза линейных объектов и систем регулирования. В ряде случаев возможна аппроксимация реальных нелинейных уравнений приближенными линейными, что упрощает теоретическое исследование работы соответствующих объектов.

7) Вся последовательность процессов получения и обработки металла реализуется в агрегатах как *непрерывного, так и периодического, циклического действия*. Агрегатами непрерывного действия являются агломерационные машины, доменные печи (с периодическим выпуском чугуна), разрабатываемые сталеплавильные агрегаты непрерывного действия (СЛМД), методические печи, различные проходные и протяжные печи для нагрева и термообработки металла. К агрегатам периодического действия принадлежат мартеновские печи, конверторы, нагревательные колодцы, различные камерные печи, колпаковые печи и т. д.

Непрерывные производственные процессы легче поддаются автоматизации. Они характеризуются стационарными режимами при относительно небольших отклонениях контролируемых параметров и управляющих воздействий от некоторых номинальных значений, что упрощает автоматизацию управления ими.

Контролируемые параметры периодических процессов претерпевают, как правило, значительно большие колебания, а управляющие воздействия могут варьироваться по абсолютной величине многократно. Например, в фиксированной точке методической печи под влиянием различного рода возмущений температура металла может колебаться в пределах нескольких десятков градусов, а расход топлива, являющийся управляющим воздействием, в пределах 10–20%. В камерной печи температура металла изменяется за цикл нагрева от 20 до 1300 °С, а расход топлива при этом уменьшается по мере прогрева металла н достигает в завершающий период нагрева лишь 20–30% максимального расхода в начальный период нагрева. Столь глубокие изменения параметров сопровождаются изменениями статических и динамических характеристик объектов во времени и усложняют анализ и синтез систем автоматического управления, так как регуляторы с постоянной структурой и настройками не могут обеспечить приемлемое качество регулирования при существенных изменениях характеристик объекта. Кроме

того, значительное изменение параметров затрудняет выбор и работу измерительных и регулирующих органов.

8) *Металлургические агрегаты принадлежат к энерго- и материалоемким объектам.* Черная металлургия расходует около 20% всего топлива, потребляемого в стране. Металлургический комбинат средней мощности, производительностью около 4 млн т/год готового проката, расходует приблизительно 6 млн т условного топлива, 1,8 млрд кВт/ч электроэнергии, 11 млрд $м^3$ доменного дутья, 780 млн $м^3$ сжатого воздуха и 360 млн $м^3$ кислорода. Тенденции развития основных металлургических агрегатов характеризуются увеличением их емкости и мощности. Освоены, строятся и разработаны доменные печи объемом 2700, 3200 и 5000 $м^3$. Кислородно-конверторные цехи оснащены конверторами емкостью 250, 300 т и более, мартеновские цехи имеют печи емкостью 600 и 900 т, а электросталеплавильные цехи — дуговые печи емкостью 100, 200 т и более. Столь мощные агрегаты являются потребителями огромных количеств сырья и энергии.

Большая материало- и энергоемкость металлургического производства предопределяет возможность значительных экономических эффектов, связанных с увеличением производительности, уменьшением расходов сырья и энергии, улучшением качества готовой продукции при внедрении совершенных систем автоматического контроля и управления. Например, экономия 1% энергии всех видов на крупном металлургическом заводе равноценна дополнительной добыче 70 тыс. т условного топлива.

9) *Большое разнообразие конструкций металлургических печей и видов тепловой обработки материалов* не исключает общности главных назначений печей — получения тепла и передачи его материалу. Эго приводит к тому, что ряд узлов систем автоматического регулирования различных печей выполняет одинаковые функции и имеет одинаковое структурное н аппаратурное построение. Наиболее распространенными в системах автоматизации металлургических печей являются узлы:

- регулирования температуры в печи;
- регулирования горения топлива, т. е. соотношения «топливо-воздух» (кислород);
- 3) регулирования давления в печи;
- 4) регулирования расхода и давления газа.

10.3 Энергосистема как объект управления

Энергетическая система (ЭС) представляет собой взаимосвязанную совокупность параллельно работающих электростанций и потребителей:

– электрической энергии – электроприемники, объединенные общей электрической сетью;

– тепловой энергии – жилые и производственные здания и сооружения, объединенные общей тепловой сетью.

Отличительной особенностью объединенной энергетической системы от других крупных промышленных и производственных объединений является одновременность процессов производства, распределения и потребления электрической и тепловой энергии, обусловленная невозможностью складирования готовой продукции.

10.3.1 Основные черты и особенности электроэнергетических систем как объекта управления.

Электроэнергетическая система (ЭЭС) в составе электростанций различных типов, электрических сетей, включающих ЛЭП и подстанции, осуществляющих передачу и распределение электроэнергии по потребителям требуемого качества, объединенных общим режимом с единым центральным оперативно-диспетчерским управлением, образуют Единую электроэнергетическую систему (ЕЭЭС) страны. К характерным чертам и особенностям процессов ЭЭС относятся:

1) *Непрерывность процессов ЭЭС.* Все составляющие ЭЭС характеризуются непрерывностью технологических операций от генерации до потребителя электроэнергии с учетом производства мощности, равной мощности, потребляемой нагрузки. При этом через котельные установки проходят непрерывные материальные потоки топлива, воздуха, воды и реагентов, взаимодействуя в процессе своего движения, в установке вырабатывается поток пара для турбины и дымовые газы, выбрасываемые в окружающую среду.

2) *Режимная взаимозависимость* параллельно работающих электростанций и линий электропередач.

3) *Пространственная распределенность* источников электрической энергии, расположенных в нескольких часовых поясах, что обеспечивает снижение пика нагрузки всей энергосистемы в связи с разновременностью пиков в отдельных ее частях.

4) *Сложность производственного комплекса* ЭЭС определяется ее внешними и внутренними энергетическими, транспортными, информационными и экономическими связями.

5) *Ваиморезервирование частей* ЭЭС с целью повышения надежности энергоснабжения потребителей, а также повышение экономичности за счет максимального использования наиболее экономичных источников электроэнергии.

6) *Высокая скорость (быстрота) переходных процессов*, распространяющихся за доли секунды на огромные расстояния. Также быстротечны аварийные процессы и процессы нормального рабочего режима.

В момент аварийных процессов возникают действия сверхтоков – это электромагнитные переходные процессы. Запаздывания в отключении КЗ или

возникновение каскадных возмущений может привести к дальнейшему развитию аварии.

Наивыгоднейшим средством предотвращения аварийных ситуаций явилось совершенствование управления энергосистемой, которое подразделяется на оперативно-диспетчерское и автоматическое. Развитие автоматических систем управления привело к созданию отдельной самостоятельной дисциплины – системной автоматики. Релейная защита и системная автоматика – это два вида автоматического управления в энергосистемах, взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга.

10.3.2 Система централизованного теплоснабжения как объект управления.

Теплоснабжающий комплекс включает артезианские колодцы, котельные установки, магистральные и квартальные тепловые сети, участки трубопроводов систем отопления, ограждения зданий различной теплоемкости, разнообразные схемы подключения индивидуальных тепловых пунктов и нагревательные установки в помещениях зданий и сооружений.

Элементы теплоснабжающего комплекса группируются по трем взаимосвязанным технологическим системам: котельные установки, тепловые сети и потребители.

К характерным особенностям теплоснабжающего комплекса относятся:

1) *Сложность объекта.* Тепловая нагрузка имеет сложную структуру: отопление, вентиляция, горячее водоснабжение. Эти виды нагрузок изменяются по различным сезонным и суточным графикам и требуют теплоэнергию различного потенциала. С информационной стороны имеется разнообразие решаемых задач и получаемых запросов, а также отчетных форм (в том числе, ответов на запросы).

2) *Устойчивость объектов управления*. Тепловые сети, как правило, сильно загружены и обладают вследствие этого низкой гидравлической устойчивостью. Поэтому возможности увеличения их пропускной способности весьма ограничены. Движение теплоносителя по многоконтурной тепловой сети, как и другой сплошной среды в различных трубопроводных системах, происходит, как правило, в установившемся режиме в соответствии с двумя известными законами Кирхгофа.

3) *Смешанное (линейные и нелинейные) математическое описания процессов.* Устоявшимися формами математического описания потокораспределения являются системы смешанных уравнений, которые имеют матричный вид и подразделяются на контурную и узловую модели.

4) *Стохастический характер возмущений.* Воздействия, прикладываемые к процессу при изменении температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, наличие рассеянной и направленной солнечной радиации, атмосферных осадков, т.е. факторов, имеющих вероятностный характер, отражают случайный характер изменения во времени переменных. В ряде случаев эти случайные изменения характеристик теплосети могут с достаточной

точностью описываться нормальным законом распределения вероятностей.

5) *Проблема оценки текущих значений технико-экономических показателей*, а также показателей качества ведения процесса. Основным показателем теплофикации является технико-экономическая эффективность функционирования технологических процессов теплоснабжения, на которую оказывают влияние объективные и субъективные факторы. Изменения режима работы объектов теплосети влияют на количество электроэнергии, потребляемой технологическим оборудованием теплосети. Изменения режимов энергетических потоков, характеризующих деятельность теплосети, предъявляют требования к информационным потокам, циркулирующим в структуре управления теплоснабжением. Кроме этого, как объект информатизации особенностью является наличие значительного объема перерабатываемой информации, охватывающей технологические и технико-экономические показатели деятельности предприятий как в текущей, так и в ретроспективе.

6) *Трудности, связанные с наличием в технологическом процессе замкнутых материальных потоков*. Во многих технологических процессах теплоснабжения, широко внедряемых в настоящее время, существуют замкнутые материальные потоки. С информационной стороны трудность определяется взаимосвязью (по информационной базе) решаемых задач – выходные данные одних задач могут являться входными для других.

7) *Кинетика физических явлений*. Теплота на нагрев помещений передается двумя сопутствующими процессами – конвективным и лучистым теплообменами.

8) *Распределенность параметров объекта*. Оно характеризуется удаленностью точек измерения друг от друга, поэтому имеет место транспортное запаздывание, вследствие чего при одинаковой температуре наружного воздуха, к потребителям, расположенным на различных расстояниях от источника, в данный момент может поступать тепловой поток с различной температурой.

Деятельность теплоснабжающего предприятия оценивается по следующим факторам:

- качеству поддержания технического состояния тепловых сетей;
- режимной надежности;
- качеству аварийно-восстановительных работ;
- качеству строительства и замены тепловых сетей;
- управлению надежностью на предприятии.

На практике часто бывает сложно оценить качество функционирования предприятия: соответствие качества продукции (товара или услуги), предъявленным требованиям; корректность и прозрачность управления предприятием; действия по улучшению функционирования бизнес-процессов; правильность ведения документации; компетентность и удовлетворенность сотрудников и, наконец, самое важное, удовлетворенность потребителей. В комплексе СЦТ существуют также трудности, обусловленные особенностью

деятельности, которая заключается в наличии обратной связи: теплоноситель (вода), нагретый до заданных температур в котельных, транспортируется и распределяется по потребителям тепловой энергии и с остаточной температурой возвращается к источнику тепловой энергии. Ввиду того, что основной целью функционирования комплекса СЦТ является обеспечение качественного и надежного теплоснабжения потребителей наиболее экономичным образом, при соответствии требований экологических стандартов, необходимо наличие системы, позволяющей добиться данной цели и осуществить оценку функционирования предприятия.

Следует отметить, что системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) при сложившейся конъюнктуре цен на топливо и оборудование оказались конкурентоспособными с децентрализованными системами, несмотря на значительные капиталовложения в строительство трубопроводов тепловых сетей и проблемы коррозии.

Еще более выгодным делает СЦТ совместная выработка тепловой и электрической энергии.

Отмечается положительное значение централизованного теплоснабжения в деле защиты окружающей среды от загрязнения и сбережения топлива.

Проведены исследования и анализ сравнительных характеристик различных типов СЦТ централизованных и децентрализованных, а также системы с тепловыми насосами и установками с солнечными коллекторами. Исследования показали, что наименьших капиталовложений требует СЦТ, далее следуют местные системы на жидком и газообразном топливе, тепловые насосы.

Современные технологии выпуска солнечных комплексов и тепловых насосов показывают, что дальнейшее развитие получат комбинированные технологии теплоснабжения на базе различных СЦТ.

В общеэнергетическом смысле совершенствованию технологии СЦТ способствует более глубокое использование *энтальпии* топлива.

Тем более, что ужесточение рыночных процессов, экологических и планировочных решений также определяют требования к совершенствованию СЦТ.

В трудах отечественных и зарубежных специалистов сформулированы основные требования, предъявляемые к развитию СЦТ с учетом необходимости совершенствования их технологии и управления. Прогресс в системе отпуска и транспорта теплоты должен следовать по пути:

– увеличения степени использования температурного потенциала сетевой воды;

– заводской готовности;

– внедрения взаимосвязанных систем регулирования отопления, вентиляции и горячего водоснабжения с ограничением суммарного расхода сетевой воды.

Основные направления повышения надежности СЦТ – повышение надежности элементов и структурной надежности.

Основными путями повышения структурной надежности являются следующие принципы проектирования:

– размещение пиковой мощности в районах теплопотребления;

– создание целенаправленной резервной тепловой мощности в источниках теплоты;

– усиление гидравлических связей между тепломагистралями и теплоисточниками;

– надземная прокладка наиболее ответственных тепломагистралей (надежность надземной прокладки примерно равна коллекторной или туннельной);

– присоединение потребителей к тепловым сетям через ГТП тепловой мощностью 20–50 МВт;

– создание автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) и управления технологическими процессами теплоснабжения (АСУ ТП), которые позволяют уменьшить количество и глубину перебоев в подаче теплоты;

– совершенствование хозяйственного механизма теплоснабжающих и теплопотребляющих предприятий.

Из анализа общих и специфических особенностей теплоснабжающего комплекса следует, что для эффективного функционирования предприятия необходимо создание и внедрение интегрированной информационно-аналитической системы управления (ИИАСУ) теплоснабжающим комплексом с использованием современных достижений теории управления, кибернетики, информационных технологий и технических средств телекоммуникаций и автоматизации.

10.3.3 Особенности котельных агрегатов как объекта регулирования.

Котельные агрегаты являются сложными объектами автоматического регулирования с большим числом регулируемых параметров и регулирующих воздействий. Котлы обладают значительной аккумулирующей способностью тепловой энергии в воде, паре и металле пароводяного тракта. Наконец, котельные агрегаты характеризуются значительными скоростями протекания процессов в пароводяном тракте. Так, снижение уровня воды в барабане котла на 100 мм при полной паропроизводительности котельного агрегата с прекращением подачи питательной воды происходит за 20 с.

Для водогрейных котлов характерна повышенная коррозия, закипание воды и гидравлические удары. Гидравлическим ударом называется волновой процесс, возникающий в капельной жидкости при быстром изменении ее скорости. Вызываются они недостаточной скоростью воды в поверхностях нагрева вследствие ограниченной скорости циркуляции в тепловых сетях. Пониженная скорость в поверхностях нагрева котлов способствует ее

вскипанию. Образование пузырей пара и последующая его конденсация в потоке воды сопровождается гидравлическими ударами, распространяющимися в тепловые сети и абонентские вводы.

Показателями течения тепловых процессов на котельном агрегате являются регулируемые параметры. В их числе внешние – расход пара, давление пара при выходе из котла, температура перегрева пара и внутренние – уровень воды в барабане котельного агрегата, коэффициент избытка воздуха, разрежение в топке и др.

Характер течения процессов в котельном агрегате определяется видом и величиной воздействий: внешних – со стороны потребителя, внутренних – изменение состава и качества топлива, избытка воздуха, подаваемого в топку котла, разрежения в топке, изменение расхода питательной воды.

Паровой котел представляет сложную динамическую систему с несколькими взаимосвязанными входными и выходными величинами. Однако выраженная направленность участков регулирования по основным каналам регулирующих воздействий позволяет осуществлять стабилизацию и изменение регулируемых параметров с помощью независимых одноконтурных систем, связанных через объект регулирования – котельный агрегат.

Кроме того, при работе котельных на твердом топливе особое внимание нужно обратить на вопросы охраны окружающей среды при складировании, топливоподаче и топливоприготовлении, а также очистки дымовых газов от золы и шлаков. Котельные оснащаются дымовыми трубами, обеспечивающими рассеивание и доведение концентрации вредных выбросов в приземном слое атмосферы до предельно допустимой.

Анализ работы котельных установок показывает, что технологические процессы в котельных установках протекают при экстремальных температурах и скоростях и обусловливают использование технических средств регулирования высокого класса, быстродействия и точности действия.

Эти системы автоматизации обеспечат надежность и экономичность работы котлов при малом числе обслуживающего персонала.

10.3.4 Насосные станции теплоснабжения как объект управления.

В водяных тепловых сетях насосы используются для поддержания заданных давлений и подачи необходимого количества воды к потребителям. Сетевые насосы создают циркуляцию воды в системе теплоснабжения, а подпиточные компенсируют утечку воды и поддерживают необходимый уровень пъезометрических линий как при статическом, так и динамическом режимах.

Особенностью работы насосных агрегатов в системах теплоснабжения является неравномерность графика потребления воды в зависимости от времени суток, дня недели и времени года. Поддержание постоянного объема подачи воды приводит к существенному ослаблению напора в «часы пик», повышению разбора воды и к значительному увеличению давления в магистрали, а когда расход воды снижается, возникают потери воды на пути к

потребителю и увеличивается вероятность разрывов трубопровода, т.е. возникновения гидравлического удара. В трубопроводах тепловых сетей этот процесс возникает при внезапном отключении сетевых насосов или насосов на насосных подстанциях, при включении насосов на полностью открытые задвижки на входе и выходе воды и сопровождается мгновенными местными повышениями и понижениями давления, приводящими к разрушению трубопроводов.

Эти причины обусловливают появление все большего числа разработок в области автоматизации насосных станций. При этом существуют определенные требования к работе насосных станций, основными из которых являются следующие факторы:

– поддержание высокой точности заданного давления в системе теплоснабжения;

– диагностика питающего напряжения станций и восстановление работы станции после сбоев питания;

– диагностика всех датчиков системы и поддержание работоспособности станции при неисправности датчиков;

– калибровка датчиков с пульта управления; защита насосов от сухого хода;

– функциональная диагностика работы насосов;

– возможность передачи параметров работы станции по выделенным каналам связи;

– настройка параметров работы станции с пульта управления;

– обеспечение противопожарного режима работы станции;

– обеспечение ручного режима работы станции при техническом обслуживании;

– переключение насосов для равномерной выработки ресурса насосных агрегатов.

10.3.5 Тепловые сети как объект управления.

Как объект управления, тепловая сеть комплекса представляет собой сложную динамическую систему с пространственно-распределенными элементами, обладающими различными теплогидравлическими свойствами, многие особенности которой присущи и другим большим системам энергетики.

В числе общих особенностей теплоснабжающего комплекса следует отметить:

– непрерывность во времени процессов производства, транспорта, распределения и потребления тепловой энергии;

– сложность внутренних взаимосвязей процессов отопления, горячего водоснабжения и вентиляции;

– инерциальность тепловых процессов теплоснабжения;

– нестационарность процессов потребления тепловой энергии и горячего водоснабжения, гидравлического и теплового режимов теплоснабжения;

– стохастичность характера возмущений;

– пространственную распределенность элементов комплекса по геодезическим отметкам местности;

– повышенную чувствительность теплоносителя на участках и в узлах тепловой сети к утечкам воды и авариям;

– высокую плотность теплоносителя, требующего дополнительных затрат электроэнергии на перекачку сетевой воды и создание давлений для заполнения нагревательных элементов потребителей;

– наличие проблем при оценке текущих значений технико-экономических показателей качества ведения процесса;

– иерархичность структур управления при непосредственном участии субъекта в контуре управления;

– высокую степень централизации управления с одновременной децентрализацией оперативного управления процессами теплоснабжения комплекса;

– неполноту и недостаточную достоверность информации о параметрах и режимах комплекса.

Следующая особенность заключается в том, что теплоснабжающий комплекс характеризуется неопределенностью:

– модели объекта управления которой связаны с нестационарностью параметров объекта;

– гидравлическая характеристика трубопроводов зависит от срока службы;

– состояние тепловой изоляции трубопровода – от ее увлажненности; теплопотери здания – от климатических данных и инфильтрации через дверные и оконные проемы, а также рассредоточенное расположение потребителей по территории города;

– внешних возмущений со стохастическим характером климатического фактора и структурой потребляемой нагрузки, зависящей от времени суток, дня недели и т.д.;

– критериев управления, связанных с противоречием между производителем и потребителем. Производитель заинтересован отпустить максимум теплоты при минимальных затратах, а потребитель заинтересован в удовлетворении собственных потребностей. Его цель – удовлетворение собственных потребностей, при этом для систем:

– отопления – температура в помещении 22–24°С;

– вентиляции – воздухообмен и температура 18–20°С;

– горячего водоснабжения – температура 55–60°С и необходимый расход. Централизация производства теплоты выгодна производителю.

К основным специфическим особенностям теплоснабжающего комплекса относятся: динамические свойства комплекса, которые характеризуются большими емкостными и транспортными запаздываниями по каналам передачи возмущений и управляющих воздействий.

Режим функционирования теплоснабжающего комплекса характеризуется различными, по физической сущности, параметрами:

1) Динамические характеристики по трактам передачи давления (измерение расхода) и температуры резко отличаются друг от друга. Расходы воды в сети практически меняются безынерционно. Процесс же прохождения температурной волны по разветвленной тепловой сети, определяемый скоростью движения теплоносителя, может длиться часами.

2) Вскипание воды в тепловой сети. Если при прохождении через регулирующую арматуру или автоматические клапаны перегретой воды с T_{wl} = 130°С (подача от центрального источника) давление в трубопроводе, транспортирующем эту воду, понизится, то часть воды вскипает и в трубопроводе образуется водяной пар. Это может привести к разрыву струи воды в трубопроводе (образованию паровой пробки) и при включении циркуляции – возникновению гидравлического удара, который может разрушить трубопровод, арматуру и нагревательные приборы в помещениях. Поэтому перегретая вода должна транспортироваться при давлениях – трубопроводах выше давления парообразования при температуре транспортируемой воды. Во избежание аварий это правило при эксплуатации необходимо соблюдать.

3) Высокая теплоемкость, массовая плотность и хорошие гигиенические качества воды (при достаточном количестве) делают ее наиболее предпочтительным теплоносителем в системах отопления. Однако основным недостатком воды является возможность ее замерзания в трубопроводах при температурах ниже 0 ^{0}С, что может привести к разрыву труб и разрушению, а также образованию высокого гидростатического давления в системе теплоснабжения.

4) Инерционные свойства отдельных, параллельно расположенных звеньев существенно отличаются друг от друга. Тепловые волны, проходящие при колебаниях температуры наружного воздуха через теплоемкие ограждения (стены), в значительной мере затухают, отстают по фазе и могут быть охарактеризованы как медленные тепловые потери. Тепловые волны, проникающие через нетеплоемкие наружные ограждения (окна), следуют практически синхронно за изменением наружной температуры и характеризуются как быстрые тепловые потери. Исследованиями С.А. Чистовича еще в 1961 г. установлено, что для оптимального автоматического управления отпуском теплоты необходимо предусматривать дифференцированный учет медленных и быстрых теплопотерь.

В связи с вышесказанным, при управлении СЦТ приходится учитывать не только комплекс метеофакторов в данный момент времени, но и метеорологические условия за предыдущий период, а также их возможные изменения в будущем.

Помимо общих и специфических особенностей СЦТ, отличают также:

– высокий уровень автоматизации источника теплоты и почти полное отсутствие средств автоматизации теплосетевого оборудования и тепловых пунктов потребителей;

– по тепловым сетям транспортируются, в отличие от других трубопроводных систем, не сам продукт, а его параметры (теплота, температура, давление), которые должны удовлетворять требованиям различных потребительских систем – отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;

– основная нагрузка потребителей – отопительная, характеризуется низкой чувствительностью к изменению параметров из-за высокой аккумулирующей способности зданий;

– потребители теплоты находятся в различных режимных условиях, что вынуждает вести управление по «худшему» или «дальнему» потребителю, при этом остальные потребители получают ненужную теплоту, т.е. находятся в режиме «перетопа».

Из структурных особенностей СЦТ следует отметить локализацию СЦТ в пределах территории города и наличие, как правило, (одного - трех) крупных основных источников теплоты, определяющих многие характеристики системы в целом.

Отличительная особенность тепловой сети:

– значительный перепад геодезических отметок местности между котельной установкой и нижней точкой кольцевой магистрали (46 м.), что обусловило установку четырех насосных станций на перекачку обратной сетевой воды в главную котельную;

– в том, что квартальные тепловые сети отличаются различным количеством присоединенных индивидуальных тепловых пунктов, последовательным, последовательно-параллельным подключением абонентов к сети. В итоге каждая квартальная сеть имеет свой обособленный технологический режим теплоснабжения, и, следовательно, каждая сеть обусловливает необходимость разработки индивидуального адекватного алгоритма управления.

Одним из главных недостатков системы централизованного теплоснабжения является недостаточная управляемость, проявляющаяся в несогласованном изменении режима различных звеньев системы-источника тепла, тепловой сети и тепловых пунктов. Это происходит, с одной стороны, в силу отсутствия системы оптимального управления централизованным отпуском тепла, а с другой стороны, из-за отсутствия в тепловых сетях и у потребителей автоматизированной системы распределения на основе регулирования, контроля и учета.

10.4 Электрофильтры как объект управления

Цель процесса электрической очистки промышленных газов в электрофильтре состоит в улавливании (твердых) компонентов из газов путем зарядки взвешенных частиц и осаждения их на электродах под действием сил неоднородного электрического поля коронного разряда.

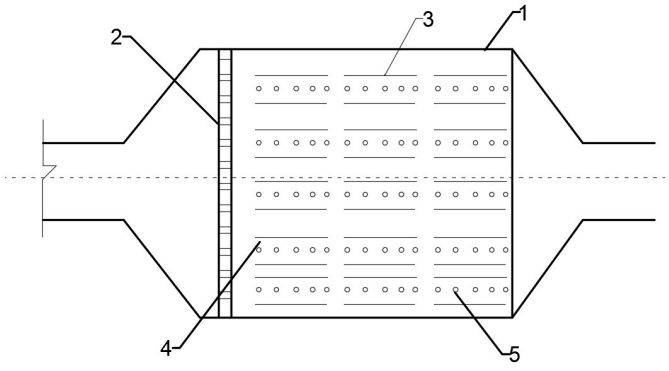
Установка для электрической очистки запыленных газовых потоков состоит из электрофильтра и высоковольтного агрегата питания.

В практике электрической очистки промышленных газов применяют установки горизонтальных пластинчатых многопольных электрофильтров. Электрические поля электрофильтра конструктивно представляют собой самостоятельные части установки и рассматриваются как совокупность последовательно расположенных аппаратов, объединенных в едином корпусе (рисунок 10.2).

Поле электрофильтра состоит из чередующихся рядов осадительных и коронирующих электродов (рисунок 10.1), которые образуют межэлектродные промежутки секции и характеризуются идентичностью физических процессов. При этом каждое поле делится на ряд параллельно работающих секций, число которых n=2a (a- число рядов коронирующих электродов), причем напряжение на электродах равно напряжению питания U поля, количество газов, поступающих на очистку в каждый промежуток $G_n = G/n$ (G- общее количество газов, поступающих в поле), запыленность газов в каждой секции равна входной запыленности поля.

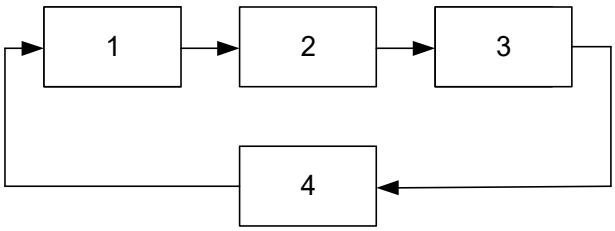
На входе электрофильтра устанавливаются газораспределительные решетки для равномерного распределения газа в активной зоне аппарата.

Питание полей электрофильтра осуществляется выпрямленным током высокого напряжения с помощью электрических агрегатов питания, основными элементами которых являются повышающий трансформатор, преобразующий переменный ток напряжением 380/220 В в ток напряжением 100 кВ, высоковольтный выпрямитель и устройство управления (рисунок 10.2).



1-корпус электрофильтра; 2-распределительная решетка; 3-электрические поля; 4-осадительные электроды; 5-коронизирующие электроды.

Рисунок 10.1 – Расположение полей и электродов электрофильтра



1-источник высокого напряжения; 2-выпрямитель;3-электрофильтр;
4-устройство управления.

Рисунок 10.2 – Система электрофильтр-агрегат питания

При подаче на электроды тока высокого напряжения в междуэлектродном пространстве поля электрофильтра возникает коронный разряд, создающий неоднородное электрическое поле, напряженность которого регулируется изменением величины напряжения питания.

В узкой области, прилегающей к коронирующему электроду, протекают процессы образования положительных и отрицательных ионов, под действием сил электрического поля положительные ионы движутся к коронирующему электроду, а отрицательные – к осадительному.

Взвешенные частицы газового потока заряжаются ионами и под действием сил электрического поля движутся к электродам и оседают на них (рисунок 10.3), а очищенные газы выводятся из электрофильтра. Электроды периодически встряхиваются, слой осажденной пыли разрушается и осыпается в бункер, откуда её периодически удаляют.

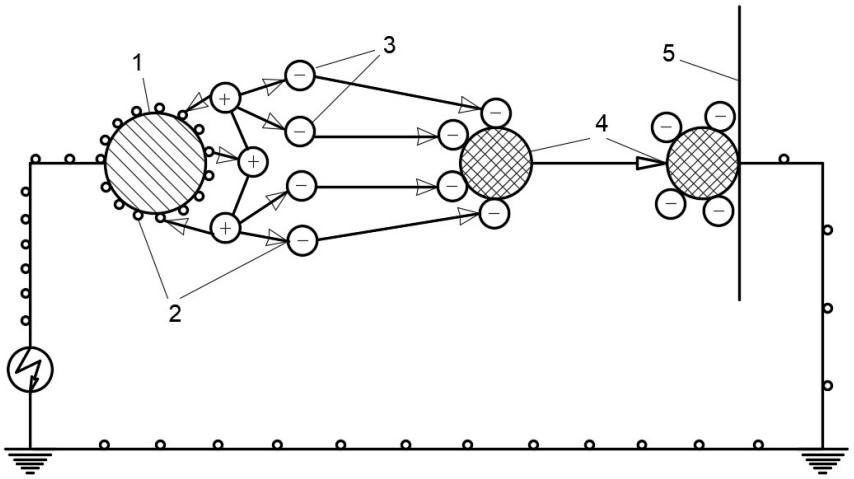
Основным показателем работы электрофильтра является степень очистки газа (КПД или коэффициент пылеулавливания), на которую оказывают влияние многие факторы: напряжение электрического поля, температура, скорость газа, запыленность газа и свойства пыли.

Приведенное краткое описание процесса электрической очистки промышленных газов в электрофильтрах позволяет подчеркнуть следующие особенности данного технологического процесса, как объекта управления:

1) *Непрерывность процессов*. Входным материальным потоком является непрерывно поступающий на очистку запыленный газовый поток от промышленных агрегатов, выходными – непрерывно удаляемый очищенный газовый поток и периодически выгружаемая пыль из бункеров электрофильтра. При этом, газы с взвешенными частицами пыли и возгонов проходят через последовательно расположенные камеры поля электрофильтра.

Под действием сил электрического поля протекают непрерывные процессы ионизации газов, зарядки и осаждения частиц пыли на электродах. Встряхивание осадительных и коронирующих электродов на практике производят без отключения напряжения и без прекращения подачи газа. Непрерывность процессов, протекающих в электрофильтре, и

последовательное расположение полей позволяют отнести электрическую очистку промышленных газов к числу непрерывных процессов.



1-коронирующий электрод; 2-электроны; 3-ионы;
4- частицы пыли; 5-осадительный электрод.

Рисунок 10.3 – Механизм образования ионов, зарядки и осаждения частиц в электрофильтре

2) *Основная величина,* определяющая процессы зарядки, движения и осаждения взвешенных частиц – это напряженность неоднородного электрического поля в междуэлектродном пространстве электрофильтра, нелинейно зависящая от образования между электродами, величины приложенного напряжения и силы тока короны. Ток короны в свою очередь нелинейно зависит от технологических параметров потока: температуры, давления, влажности, скорости и свойств газа, концентрации, дисперсности и состава частиц пыли. К тому же следует отметить, что коронный разряд обладает нелинейной вольтамперной характеристикой. Все это позволяет отнести процессы электрической очистки газов к классу нелинейных многомерных процессов.

3) *Случайные колебания количественных и качественных характеристик* газового потока, изменение электрических режимов, дрейф характеристик фильтра определяют стохастичность и нестационарность процесса пылеулавливания в электрофильтре.

4) *Неполнота информации о составе и свойствах* газового потока заключается в отсутствии датчиков запыленности и влажности газовых потоков, химического состава, дисперсности и удельного электрического сопротивления пыли, которые характеризуют процесс электрической очистки газов как *объект управления с неполной информацией*.

5) *Неустойчивость процессов и критические режимы электрофильтра*. Коронный разряд в электрофильтре относится к неустойчивым физическим процессам. С повышением напряжения на электродах увеличивается ток

короны, способствующий возрастанию напряженности электрического поля в пространстве между электродами. При определенном напряжении питания *электрическая проводимость газового промежутка между электродами нарушается искровым, а затем и дуговым разрядами* (наступает пробой междуэлектродного пространства), *приводящими к ухудшению процесса электрической очистки газов. При очистке газов в электрофильтре с большим содержанием мелких частиц аэрозолей, наступает так называемый процесс запирания короны, характеризующийся уменьшением тока короны почти до нуля и ухудшением очистки газов. Кроме того, в электрофильтре могут возникать процессы обратного коронирования, сопровождающиеся выделением с осадительных электродов положительных ионов, движущихся по направлению к коронирующим электродам с частичной нейтрализацией отрицательных ионов и частиц пыли и уносом пыли с осадительных электродов*, в результате чего пробивная прочность разрядного промежутка падает, рабочее напряжение электрофильтра снижается. Поэтому *поддержание в электрофильтре оптимального рабочего напряжения для эффективной очистки газов встречает определенные трудности*.

Таким образом, процесс электрической очистки запыленных газовых потоков, как объект управления, характеризуется нелинейностью, многомерностью, стохастичным характером протекания процесса, значительным уровнем внешних и внутренних возмущений, неполнотой информации о составе и свойствах пылегазового потока, тесной взаимосвязью входных и выходных переменных.

Приведенные особенности процесса электрогазоочистки предъявляют жесткие требования к условиям ведения процессов пылеулавливания и, следовательно, к задаче синтеза системы автоматического управления.

В настоящее время управление процессом электрогазоочистки осуществляется технологом и сменным операторами на основании субъективного анализа оценки состояния процесса и сводится к выбору реализации электрического режима, не всегда обеспечивающего заданную технологическим регламентом процесса пылеулавливания степень очистки газов.

Таким образом, система управления электрофильтром должна обеспечивать оптимальный режим очистки газов и не допускать аварийных режимов – мощных искровых и дуговых пробоев, ведущих к обрыву коронирующих электродов, ухудшению очистки газов и появлению критических режимов обратного коронирования и запирания короны, также снижающих эффективность электрофильтра.

10.5 Особенности резервуара как объекта управления

Целью оптимального управления процессами испарения легколетучих фракций из резервуара для хранения нефти, является сокращение потерь от испарения. Особенности физико-химических процессов, протекающих при

заполнении, хранении и опорожнении резервуара, характер возмущающих воздействий, приложенных к резервуару как объекту управления, недостаточность получаемой информации о процессах, влияют на технико-экономические показатели транспорта нефти. Характерные особенности рассматриваемых процессов приведены ниже.

1) *Многостадийность.* Процессы, происходящие в резервуаре, характеризуются многостадийностью:

а) закачка (заполнение). Процесс закачки нефти в резервуар является непрерывной технологической операцией, которая сопровождается процессами смешения и разделения фаз в непрерывном потоке нефти. При этом нефть закачивают с нижней части резервуара, что позволяет значительно уменьшить ее потери от испарения;

б) отстаивание (хранение). В процессе отстаивания в резервуаре происходит разделение нефти на фазы, в результате чего более тяжелые фракции оседают, а легкие поднимаются вверх и испаряются за счет улетучивания углеводородов. В резервуаре во время отстаивания также образуется подтоварная вода, которую в дальнейшем необходимо выкачать;

в) опорожнение. Процесс опорожнения также является непрерывной технологической операцией;

г) при пустом резервуаре. Когда вся нефть из резервуара выкачена и на дне остаются самые тяжелые и высокопарафинистые фракции нефти.

2) *Неполнота информации о составе и свойствах нефти*. Отсутствие многокомпонентных анализаторов состава вещества, которые могли бы обеспечить полную и своевременную информацию о всех изменениях состава нефти на всех пределах, а также готовой продукции, ограничивает информацию о составе сред и является серьезной помехой оптимизации процессов. Поэтому особенно важно разработать такие методы оптимального управления технологическими процессами, которые обеспечивали бы удовлетворительную работу производства при неполной информации, получаемой системой управления.

3) *Проблема оценки текущих значений технико-экономических показателей*, а также показателей качества ведения процесса. Так как в резервуаре постоянно происходит испарение нефти, то появляются серьезные затруднения при попытке измерить, или рассчитать текущие значения технико-экономических показателей. Кроме этого, при длительном хранении нефти в резервуаре наряду с испарением происходит осаждение воды и парафиновых фракций. Это относится, прежде всего, к таким показателям, как себестоимость продукции, которые определяются путем установления соответствия между характеристиками нефти, качеством продукции, расходом электроэнергии, а также другими величинами.

4) *Кинетика физико-химических явлений.*

В резервуаре происходит постоянное разделение компонентов нефти на фракции. Более тяжелые фракции оседают внизу, а легкие поднимаются вверх

и впоследствии испаряются. Распределение фаз по высоте резервуара показано на рисунке 10.4.

В процессе испарения вначале испаряются наиболее легкие фракции, в результате чего жидкая фаза постепенно утяжеляется.

В нормальных условиях резервуар представляет собой герметизированный, закрытый сосуд, и процессы испарения в нем подчиняются законам испарения в закрытой емкости. Величина выбросов углеводородов в атмосферу из резервуаров в значительной степени зависит от амплитуды колебания температуры паровоздушной смеси в них.

Если в закрытом сосуде над поверхностью жидкости имеется свободное пространство, то оно постепенно насыщается парами этой жидкости. Физически происходит так называемый процесс массового обмена между жидкой и паровой фазой, т.е. переход вещества из одной фазы в другую. Переход вещества в обеих фазах происходит путем молекулярной и конвективной диффузии (проникновение). При молекулярной диффузии происходит проникновение молекул из жидкости в пар (испарение) или из пара в жидкость (конденсация). При конвективной диффузии происходит перенос движущихся частиц вещества за счет тепловых воздействий. В пределах каждой фазы, где происходит интенсивное перемешивание, перенос вещества осуществляется, главным образом, за счет конвективной диффузии.

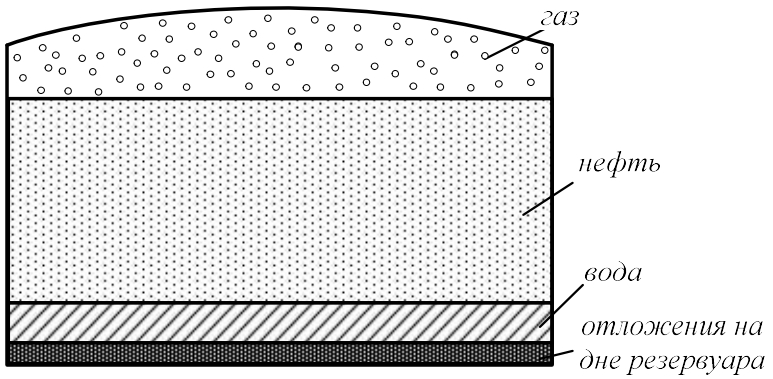


Рисунок 10.4 – Распределение фаз нефти на фракции по высоте резервуара

Между жидкой и паровой фазами существует пограничный слой, который характеризуется резким изменением концентрации распределяемого вещества. В области пограничного слоя перенос вещества осуществляется одновременно путем конвективной и молекулярной диффузии, причем по мере приближения к поверхности раздела фаз конвективные потоки уменьшаются, и возрастает роль молекулярной диффузии. При установившемся процессе на границе раздела фаз наблюдается равновесие между концентрациями обеих фаз. Процесс испарения протекает во времени, и поэтому равновесное состояние достигается не сразу, а постепенно.

5) *Распределенность параметров объекта*. Оно характеризуется удаленностью точек измерения друг от друга, то есть основные переменные

процесса изменяются как во времени, так и в пространстве. Давление нефти в резервуаре тем выше, чем ниже находится измеряемая точка от высшего уровня нефти и, наоборот, для температуры. Концентрация паров вблизи поверхности нефтепродукта равна концентрации насыщенных паров, а с удалением к кровле – постоянно убывает.

Интенсивность переноса массы паров, выделяющихся из нефти в резервуаре, существенно отличается от процесса испарения нефти в открытых пространствах, так как парциальное давление фракций в газовом пространстве герметичного резервуара асимптотически стремится по времени к давлениям насыщения. Разность концентрации паров вблизи поверхности и вдали от нее постепенно уменьшается, что приводит к уменьшению скорости массопереноса и установлению в ряде случаев динамического равновесия между жидкостью и парами. Явление осложняется тем, что нефть является многокомпонентной средой с переменным по времени и пространству составом. В жидкой фазе имеются растворенные газовые компоненты, которые выделяются при изменении внешних условий.

6) *Сложности при создании имитационных моделей*. Для создания современных имитационных моделей приходится разрабатывать и уточнять математические модели процессов массопереноса в резервуарах. По существу, происходит процесс накопления информации, а получаемые эмпирические и полуэмпирические (основанные на законах сохранения и законах тепломассопереноса) модели должны дополняться и уточняться по мере накопления новых опытных данных, полученных в модельных и натурных условиях.

Контрольные вопросы.

1. Металлургическая печь как объект управления.
2. Основные признаки классифицирования металлургических печей.
3. Какие особенности выделяют металлургическую печь из общего ряда промышленных объектов?
4. Характерные черты и особенности гидрометаллургических процессов.
5. Что представляет собой энергосистема?
6. Особенности централизованного теплоснабжения как объекта управления.
7. Котельный агрегат как объект регулирования.
8. В чем суть использования насоса в водяных тепловых сетях?
9. Тепловая сеть как объект управления и особенности теплоснабжения.
10. Какие факторы оценивают деятельность теплоснабжающего предприятия?
11. Основная цель процесса электрической очистки промышленных газов?
12. Опишите процесс электрической очистки металлургических газов.
13. Резервуар хранения нефти как объект управления.

11 История развития автоматизации управления

11.1 Развитие мировой техники как основа зарождения автоматизации

Автоматизация процессов зародилась и развивается совместно с развитием информационных, научных, промышленных и научно-технических революций, которые приведены ниже.

Информационные революции:

– *первая* революция связана с изобретением письменности (знаковой системы передачи речи), что привело к гигантскому качественному и количественному скачку. Появилась возможность передачи знаний от поколения к поколениям. Считается, что письменность появилась в конце IV тысячелетия до н.э. в древней стране Шумер (в Месопотамии);

– *вторая* (середина XVI в.) вызвана изобретением книгопечатания, которое радикально изменило индустриальное общество, культуру, организацию деятельности;

– *третья* (конец XIX в.) обусловлена изобретением электричества, благодаря которому появились телеграф, телефон, радио, позволяющие оперативно передавать и накапливать информацию в любом объеме;

– *четвертая* (70-е гг. XX в.) связана с изобретением микропроцессорной технологии и появлением персонального компьютера, позволяющим создавать информационные коммуникации.

Глобальные научные революции:

1) *Аристотелевская* – VI - IV вв. до н. э.
2) *Ньютоновская* – XVI - XVIII века.
3) *Эйнштейновская* – XIX - XX века. «Потрясение основ».
4) *Синергетика* стала ведущей методологической концепцией в понимании и объяснении исторически развивающихся нелинейных систем.

Неолитическая революция.

Неолит (от нео – новый, лит – камень) – новый каменный век (5-3 тыс. лет до н. э.), время перехода от присваивающего (собирательство, охота) к производящему (земледелие, животноводство) хозяйству. Значительные изменения в технике и формах производства.

Промышленные революции.

Первая промышленная революция началась во второй половине XVIII века после появления паровых машин, которые позволили перейти от ручного труда к машинному и использовать для механизации производства силу воды и пара.

Вторая промышленная революция использовала для конвейерного производства электричество.

Третья – началась во второй половине XX века с создания цифровых компьютеров и привела к развитию автоматизации производства с помощью электроники и информационных технологий.

Четвёртая промышленная революция опирается на Третью – с середины XX века длится цифровая революция во всех областях жизни. Технологии сливаются, и границы физического, цифрового и биологического миров стираются.

Научно-технические революции.

1) Конец XVIII – начало XIX вв. – переход от ручного труда к машинному производству на научной основе.

2) Конец XIX – начало XX вв. Изменение энергетической основы производства, автоматизация производства.

3) Середина XX в. – техническое развитие производства на научной основе, комплексная автоматизация.

4) Последние десятилетия XX в. – преобразование технологии производства на основе электроники, применение биотехнологии, развитие информационных технологий.

Из анализа приведенных революций следует, что развитие мировой техники шло в трех направлениях:

1) Создание машин двигателей (водяные, ветряные, паровые, дизельные и электрические), которые освободили человека от тяжелого физического труда.

2) Создание машин-орудий, т.е. станков и технологического оборудования различного назначения.

3) Создание машин для контроля и управления производственными процессами. Развитие этого направления было вызвано необходимостью надежно, точно и быстро управлять машинами-двигателями, машинами-орудиями и сложными технологическими процессами.

Процесс автоматизации начался намного раньше, чем нам могло бы казаться: автоматизация на самом деле появилась практически сразу же с возникновением производства, а само по себе производство существует уже так давно, что точно никто и не скажет. Мы начнем рассматривать с появления самодействующих устройств.

Самодействующие устройства – прообразы современных автоматов – появились в глубокой древности. Однако в условиях мелкого кустарного и полукустарного производства, вплоть до XVIII в., практического применения они не получили и, оставаясь занимательными «игрушками», свидетельствовали лишь о высоком искусстве древних мастеров.

С необходимостью построения управляющих устройств первыми столкнулись создатели высокоточных механизмов, в первую очередь, часов. Даже очень небольшие помехи, но действующие непрерывно, накапливаясь, приводили, в конечном итоге, к отклонениям от нормального хода, недопустимым по условиям точности. Противодействовать им чисто конструктивными методами, например, улучшая точность и чистоту обработки деталей, повышая их массу или увеличивая полезные усилия, не всегда удавалось. И для повышения точности, в состав часов стали вводить

регуляторы. На рубеже нашей эры арабы, например, снабдили поплавковым регулятором уровня водяные часы.

Первым примером применения обратной связи в автоматических устройствах является поплавковый регулятор уровня. Такой регулятор был применен в водяных часах александрийского ученого *Ктезибия,* построенных в II веке до н. э.

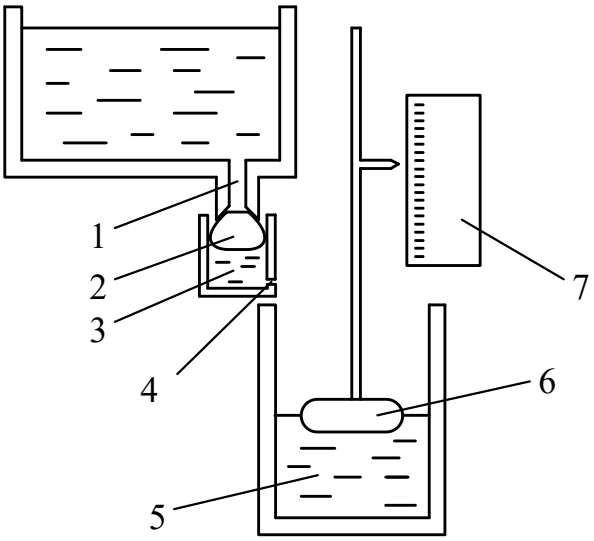


Рисунок 11.1 – Структура водяных часов Ктезибия

Вода из верхнего резервуара через сопло 1, прикрываемое поплавком 2, поступает в резервуар 3, откуда и вытекает через мерное отверстие 4 в накопитель (нижний бак) 5. По мере наполнения накопителя поплавок 6 поднимает указатель, отмечающий время, по циферблату 7. Фактически часы Ктезибия имели более сложное устройство. Дело в том, что в Древнем Риме сутки имели 12 дневных и 12 ночных часов, продолжительность которых была разная, так как определялась длиной светового дня, зависящей от времени года. Поэтому в этих часах циферблат был нанесен на вращающийся барабан, поворачивающийся на один оборот в год с помощью не показанного на рисунке дополнительного водяного механизма в основании.

В данном случае использовано два автоматических устройства:

– поплавковый регулятор уровня воды в баке;

– водяной интегратор, отмеряющий уровень воды в накопителе, пропорциональный времени.

Первое автоматическое устройство практического назначения было изобретено Гюйгенсом в 1657 г. – автоматический регулятор маятникового типа для стабилизации скорости хода часового механизма.

Другой причиной, побудившей строить регуляторы, была необходимость управлять процессами, подверженными столь сильным помехам, что при этом утрачивалась не только точность, но зачастую и работоспособность системы вообще. Предшественниками регуляторов для таких условий можно считать

применявшиеся еще в средних веках центробежные маятниковые уравнители скорости хода водяных мукомольных мельниц.

Впервые в истории технический переворот так зримо и явственно сказался на всех сторонах человеческой жизни. Начало этой великой машинной революции связано с созданием прядильного и ткацкого станков – самых первых машин, получивших широкое распространение в производстве. Можно сказать, что эти машины оказались прообразом всех последующих станков и механизмов, и поэтому изобретение их по своему значению далеко выходило за узкие рамки текстильного и прядильного дела. В каком-то смысле ее появление символизировало собой рождение современного мира.

Первые автоматические устройства промышленного назначения:

– поплавковый регулятор питания парового котла, разработанный знаменитым русским механиком и изобретателем Н.И. Ползуновым в 1765 году. Он был применен на барнаульском механическом заводе для поддержания заданного уровня воды в паровом котле паровой поршневой машины;

– центробежный регулятор скорости паровой машины, используемый для поддержания постоянства частоты вращения, разработал в 1784 году английский механик Джеймс Уатт.

Принцип работы этих регуляторов оказался одним и тем же: они поддерживают заданное значение физического параметра не точно, а в некотором заданном диапазоне, поэтому такой принцип регулирования, широко применяемый в настоящее время, называется принципом «Ползунова-Уатта».

К первым промышленным регуляторам относят также первое программное устройство управления ткацким станком от перфокарты, построенное в 1808 году Жаккаром. Оно применялось для воспроизведения узоров на коврах.

Эти регуляторы:

– основные источники механической энергии для привода станков, машин и механизмов;

– открыли путь потоку изобретений принципов регулирования и регуляторов.

С появлением механических источников электрической энергии – электромашинных генераторов постоянного и переменного тока (динамо-машин, альтернаторов) – и электродвигателей оказалась возможной централизованная выработка энергии, передача её на значительные расстояния и дифференцированное использование на местах потребления. Тогда же возникла необходимость в автоматической стабилизации напряжения генераторов, без которой их промышленное применение было ограниченным. Лишь после изобретения регуляторов напряжения с начала 20 в. электроэнергия стала использоваться для привода производственного оборудования. Наряду с паровыми машинами, энергия которых распределялась трансмиссионными валами и ремёнными передачами по станкам, постепенно

распространялся и электропривод, вначале вытеснивший паровые машины для вращения трансмиссий, а затем получивший и индивидуальное применение, т. е. станки начали оснащать индивидуальными электродвигателями.

Переход от центрального трансмиссионного привода к индивидуальному в 20-х гг. 20 в. чрезвычайно расширил возможности совершенствования технологии механической обработки и повышения экономического эффекта. Простота и надёжность индивидуального электропривода позволили механизировать не только энергетику станков, но и управление ими. На этой основе возникли и получили развитие разнообразные станки-автоматы, многопозиционные агрегатные станки и автоматические линии. Широкое применение автоматизированного электропривода в 30-е гг. 20 в. не только способствовало механизации многих отраслей промышленности, но, по существу, положило начало современной автоматизации производства. Тогда же возник и сам термин «Автоматизация производства (АП)».

С 60-х гг. 19 в., в связи с быстрым развитием железных дорог, стала очевидна необходимость автоматизации железнодорожного транспорта и прежде всего создания автоматических приборов контроля скорости для обеспечения безопасности движения поездов. В России одними из первых изобретений в этом направлении были автоматический указатель скорости инженера-механика С. Прауса (1868) и прибор для автоматической регистрации скорости движения поезда, времени его прибытия, продолжительности остановки, времени отправления и местонахождения поезда, созданный инженером В. Зальманом и механиком О. Графтио (1878). О степени распространения автоматических устройств в практике железнодорожного транспорта свидетельствует то, что на Московско-Брестской железной дороге уже в 1892 существовал отдел «механического контроля поездов».

Промышленная революция создала необходимые условия для механизации производства в первую очередь прядильного, ткацкого, металло- и деревообрабатывающего. К. Маркс увидел в этом процессе принципиально новое направление технического прогресса и подсказал переход от применения отдельных машин к «автоматической системе машин», в которой за человеком остаются сознательные функции управления: человек становится рядом с процессом производства в качестве его контролёра и регулировщика. Важнейшими изобретениями этого периода стали изобретения русским механиком И. И. Ползуновым автоматического регулятора питания парового котла (1765) и английским изобретателем Дж. Уаттом центробежного регулятора скорости паровой машины (1784), ставшей после этого основным источником механической энергии для привода станков, машин и механизмов.

Паровая машина не случайно стала первым объектом для применения техники и теории управления, т.к. она не обладала способностью работать сама по себе, не имела «самовыравнивания». Ее неблагоприятные динамические свойства часто приводили к тому, что подключенный к ней регулятор действовал не так, как ожидал конструктор, «раскачивал» машину или вообще

оказывался неспособным управлять ею. Все это, естественно, побуждало к проведению теоретических исследований.

Три фундаментальные работы внесли коренное изменение в подходе к проблеме и в методологии исследований и содержали, по существу, изложение начал новой науки об управлении.

Это работы Дж. Максвелла «О регуляторах» (1866 г.) и И. А. Вышнеградского «Об общей теории регуляторов» (1876 г.) и «О регуляторах прямого действия» (1877 г.).

Максвелл и Вышнеградский впервые рассмотрели паровую машину и регулятор как единую динамическую систему, что позволило разработать методику исследования самых разнообразных по принципам действия и конструкции систем, заложить основы теории устойчивости и установить ряд важных общих закономерностей регулирования (по принципу обратной связи).

Особо важную роль в то время сыграла работа профессора Петербургского технологического института Вышнеградского «О регуляторах прямого действия» (1877 г.). В этой работе был проведен детальный анализ характеристик паровой машины и регулятора Уатта, раскрыта динамика работы машины и доказано, что во время работы регулятор и машина образуют единую систему. Эта работа отличалась глубоким инженерным подходом, рассмотрением важных для техники тех лет объектов и содержала, кроме ценных практических рекомендаций, истоки ряда современных методов исследования качества регулирования (диаграммы устойчивости и распределения корней, выделение областей устойчивости и монотонности и так далее).

Поэтому современники считали Вышнеградского основоположником теории автоматического управления (регулирования).

Работа Максвелла осталась в то время практически незамеченной, поскольку рассматривала малоинтересный для широкого круга инженеров объект (механизм ведения телескопа), явно полезных практических выводов не делала и рекомендовала регуляторы (астатические), практически непригодные для промышленных машин того времени. Ее роль была оценена значительно позже, когда теория автоматического управления (ТАУ) сформировалась в самостоятельную дисциплину.

Одна из первых теоретических работ, посвященных созданию теоретических основ работы и расчёта автоматических регуляторов, выполнена русским математиком П. Л. Чебышевым и посвящена теории работы астатического регулятора.

Помимо этих ученых, большой вклад в развитие ТАУ внесли работы:

1) Стодолы, словацкого инженера и ученого, рассматривавшего вопросы устойчивости регулирования паровых и гидравлических турбин, в учете влияния на процесс регулирования длинного трубопровода;

2) Гурвица, разработавшего детерминантный критерий устойчивости по просьбе Стодолы (детерминантный – от лат.: «определитель» - определяющий);

3) Гаусса, разработавшего алгоритм для оценки расположения корней характеристического уравнения и устойчивости (по рекомендации Максвелла).

В 1892 году А.М. Ляпунов опубликовал работу «Общая задача устойчивости движения», в которой доказал возможность решения вопросов устойчивости регулирования. Большой вклад в развитие автоматики внесли работы русских ученых Циолковского и Жуковского. Н.И. Жуковский является автором труда «О прочности движения» и первого русского учебника «Теория регулирования хода машин» (1909 г.), в которых дал описание процессов в длинных трубопроводах, рассмотрел влияние сухого трения в регуляторах, исследовал некоторые процессы импульсного регулирования посредством уравнений в конечных разностях.

11.2 Развитие автоматизации в бывшем СССР

Значительное развитие получили работы по теоретическим и прикладным вопросам автоматики в республиках бывшего СССР. Фундаментальные работы выполнены И.Н. Вознесенским, А.А. Андроновым, И.М. Крыловым, А.Н. Колмогоровым, А.В. Михайловым, В.Н. Петровым, Л.С. Понтрягиным, А.А. Фельдбаумом, В.В. Солодовниковым, А.Г. Бутковским и многими другими. Эти работы способствовали установлению приоритета науки в ряде ведущих областей теории управления.

Развитие науки позволило осуществить широкое внедрение автоматического управления в технике и промышленности, в том числе в металлургии и химической промышленности.

Начало работ по автоматизации процессов черной металлургии СССР следует отнести к концу тридцатых годов двадцатого века, когда были разработаны и внедрены системы регулирования теплового режима мартеновской печи.

В СССР освоение автоматизированных средств управления и регулирования производственных процессов началось одновременно с созданием тяжёлой промышленности и машиностроения и проводилось в соответствии с решениями советского правительства об индустриализации и механизации производства. В 1930 по инициативе Г. М. Кржижановского в Главэнергоцентре Высшего совета народного хозяйства (ВСНХ) СССР был организован комитет по автоматике для руководства работами по автоматизации в энергетике. В правлении Всесоюзного электротехнического объединения (ВЭО) в 1932 было создано бюро автоматизации и механизации заводов электропромышленности. Началось применение автоматизированного оборудования в тяжёлой, лёгкой и пищевой промышленности, совершенствовалась транспортная автоматика. В специальном машиностроении наряду с отдельными автоматами были введены в действие конвейеры с принудительным ритмом движения. Организовано Всесоюзное объединение точной индустрии (ВОТИ) по производству и монтажу приборов контроля и регулирования.

В научно-исследовательских институтах энергетики, металлургии, химии, машиностроения, коммунального хозяйства создавались лаборатории автоматики. Проводились отраслевые и всесоюзные совещания и конференции по перспективам её применения. Начались технико-экономические исследования значения автоматизации производства (АП) для развития промышленности в различных социальных условиях. В 1935 в АН СССР стала работать Комиссия телемеханики и автоматики для обобщения и координации научно-исследовательских работ в этой области. Началось издание журнала «Автоматика и телемеханика».

В 1936 Д. С. Хардер (США) определял автоматизацию как «автоматическое манипулирование деталями между отдельными стадиями производственного процесса». По-видимому, вначале этим термином обозначали связывание станков с автоматическим оборудованием передачи и подготовки материалов. Позднее Хардер распространил значение этого термина на каждую операцию производственного процесса.

Высокая экономическая эффективность, технологическая целесообразность и часто эксплуатационная необходимость способствовали широкому распространению автоматизации в промышленности, на транспорте, в технике связи, в торговле и различных сферах обслуживания. Её основные предпосылки: более эффективное использование экономических ресурсов – энергии, сырья, оборудования, рабочей силы и капиталовложений. При этом улучшается качество и обеспечивается однородность выпускаемой продукции, повышается надёжность эксплуатации установок и сооружений.

Практически 50-е гг. явились периодом, когда АП начала внедряться во все имеющие значительный удельный вес отрасли народного хозяйства СССР. В машиностроении – производстве тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин – были пущены автоматические линии; начал работать автоматизированный завод по производству поршней для автомобильных двигателей. Закончен перевод на автоматическое управление агрегатов ГЭС, многие из них были полностью автоматизированы. На ряде крупнейших ТЭЦ были автоматизированы котельные цехи. В металлургической промышленности около 95% чугуна и 90% стали выплавлялось в автоматизированных печах; были введены в эксплуатацию первые автоматизированные прокатные станы. Пущены автоматические установки на нефтеперерабатывающих предприятиях. Осуществлено телемеханическое управление газопроводами. Автоматизированы многие системы водоснабжения. Начали действовать автоматические бетонные заводы. Лёгкая и пищевая промышленность стала широко оснащаться автоматами и полуавтоматами для расфасовки, дозировки и упаковки продукции и автоматическими линиями по производству продуктов. Парк автоматизированного оборудования в 1953 по сравнению с 1940 вырос в 10 раз. В металлообрабатывающей промышленности появились станки с программным управлением. Для производства массовой продукции были применены роторные автоматические линии. Во взрывоопасных химических

производствах получило широкое распространение телемеханическое управление процессами.

11.3 Развитие автоматизации в Казахстане

В Казахстане теория управления получило развитие на основе школы выдающегося ученого А. А. Ашимова. Он родился 1 января 1937 г. в селе Берлик Коктерекского района Жамбылской области. С 1945 г. отлично учился в средней школе на станции Чу Казахской железной дороги, в 1954 г. поступает на металлургический факультет Казахский политехнический институт им. Ленина (КазПТИ, ныне Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева) по специальности «Автоматизация металлургических процессов». Студенческие годы определили его склонности к научной работе, познанию философских и гуманитарных проблем человеческих отношений, что было отмечено видными учеными института, которые приехали в свое время из России в Казахстан для становления здесь науки и научной интеллигенции. В 1960 г. он с отличием окончил институт и был рекомендован для продолжения учебы в аспирантуре. В 1963 г. А. Ашимов окончил аспирантуру Московского института стали и сплавов. В 1964 г. защитил там же кандидатскую диссертацию по техническим наукам на тему: «Исследование шахтной плавки окисленных никелевых руд с помощью математической модели» по специальности «автоматическое управление и регулирование». Работал в КазПТИ: в 1963-1964 гг. – старший инженер, в 1964-1965 гг. – исполняющий обязанности доцента, в 1965-1989 гг. – заведующий кафедрой. В 1972 г. защитил диссертацию в Московском институте стали и сплавов на соискание ученой степени доктора технических наук на тему: «Оптимальное управление плавкой руд и концентратов цветных металлов в шахтных печах». С 1974 г. – профессор по кафедре «Техническая кибернетика».

При непосредственном участии А. Ашимова и его учеников К. Ш. Асаубаева, Б. А. Джапарова, Г. З. Казиева, К. С. Сагынгалиева, Д. Ж. Сыздыкова, С. П. Соколовой, Г. М. Тохтабаева, У. А. Тукеева, Д. Н. Шукаева и др. выполнены фундаментальные исследования в области теоретических основ идентификации, современной теории автоматического управления и организационных систем. Результаты исследований, полученные Ашимовым А. А., легли в основу разработки алгоритмического обеспечения автоматизированных систем управления комплексами и отдельными инерционными непрерывными технологическими процессами, подсистем оперативно-календарного планирования производственной деятельности предприятий с непрерывно-дискретным характером производства и планирования профилактических и капитальных ремонтов оборудования автоматизированных систем управления предприятий.

Высокая эрудиция в области теории идентификации и теории усреднения стандартных дифференциальных уравнений позволили выполнить теоретические исследования по беспоисковой идентификации одномерных и

многомерных непрерывных динамических объектов управления с применением упрощенных алгоритмов для перестройки параметров моделей с целью синтеза упрощенных беспоисковых алгоритмов. Показаны способы приведения к стандартной форме дифференциальных уравнений, описывающих динамику процессов в поисковой системе автоматической идентификации с синхронным детектированием. Методом теории усреднений стандартных дифференциальных уравнений выделены усредненные движения и получены упрощенные беспоисковые алгоритмы идентификации для квазистационарного и форсированного режимов. Вторым методом Ляпунова получены условия устойчивости беспоисковой системы идентификации одномерных и многомерных объектов управления. Результаты исследования обобщены на беспоисковых дискретных системах идентификации, для которых, с применением дискретного аналога второго метода Ляпунова, получены условия устойчивости и асимптотической устойчивости системы идентификации.

Контрольные вопросы.

1. Информационная революция.
2. Научно-техническая революция.
3. Промышленная революция.
4. Пример первого применения обратной связи.
5. Первые промышленные регуляторы.
6. Развитие автоматизации в бывшем СССР.
7. Развитие автоматизации в Казахстане.

Список литературы

Основной

1 Акофф Р. Акофф о менеджменте. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.

2 Смирнов Э.А. Теория организации: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 248с.

3 Теория организации: Учебник / Под ред. В. Г. Алиева. – М.: ЭКОНОМИКА, 2006. – 431 с.

4 Большой экономический словарь. Под ред. А. Н. Азрилияна // 5-е изд. доп и перераб., – М.: Институт новой экономики, 2002. – с. 469.

5 Экономико-математический энциклопедический словарь. Гл. редактор В. И. Данилов-Данильян // – М.: Большая Российская энциклопедия: ИНФРА-М, 2003. – С. 289.

6 Тьетар Р.А. Менеджмент. Под ред. Д. О. Ямпольской // Пер с фр. ИД «Нева». – СПб, 2003. – С. 10.

7 Абчук В. Д. Менеджмент // Учебник. – СПб.: Союз, 2002.

8 Теория управления. Учебник. Под общ. ред. док. экон. наук, проф. А. Л. Гапоненко, док. экон. наук, проф. А.П. Панкрухина // – М.: Издательство РАГС, 2003.

9 Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для студентов вузов./ Г.П. Плетнев. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 352 с.:ил.

10 Отчет о научно-исследовательской работе по теме: Исследование, разработка и внедрение научно-методической основы системы сбалансированных показателей и программно-аппаратных средств энергоэффективной информационно-аналитической системы управления теплоснабжением городов Казахстана, с типовыми проектными решениями на примере г. Тараз, Алматы, 2013.

11 Богданов Р.И. Фазовые портреты динамических систем на плоскости и их инварианты. – М.: Вузовская книга, 2008. – 428 с.

12 Пантелеев А. В., Якимова А. С., Босов А. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2001.

13 Малинецкий Г.Г. Пространство синергетики. Взгляд с высоты. /Синергетика: от прошлого к будущему. №60. – М.: Либроком, 2013. – 248 с.

14 Никитенков Н.Н., Никитенкова Н.А. Синергетика для инженеров: Учебное пособие. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 168 с.

15 Пригожин И., Николис Г. Познание сложного. – М.: Ленанд, 2014.

16 Прудковский Б.А. Зачем металлургу математические модели? / Отв.ред. Полухин П.И. Изд. 3-е – М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 200 с.

17 Философия управления: метологические проблемы проектв [Текст] / Рос.акад.наук, Ин-т философии; Отв. Ред.:В.И.Аршинов, В.М.Розин. – М.: ИФРАН, 2013. – 303 с.

18 Зайцев С.А., Парфеньева И.Е., Вячеславова О.Ф., Блинкова Е.С.Ларцева Т.А. Управление качеством // - Учебник, - Изд. АНС «СибАК», 2016. – 468 с.

19 Л. Голубкова, В.Розин. Философия управления. – Марийский государственный технический университет, 2010. – 608 с.

20 Козлов В.В. Философия управления / В.В. Козлов – «КноРус медиа», 2013. 315 с.

21 Некрасова Н.А, Некрасов С.И. Философия науки и техники: Тематический словарь справочник. Учебное пособие. – М.: МИИТ, 2009. – 424 с.

22 Попкова Н.В. Философия. Краткий курс. Философия техники. – М.: Ленанд, 2015. – 224 с.

23 Черняк В.З. История и философия техники: пособие для аспирантов. – М.: КНОРУС. 2003. – 576 с.

24 Ашихмин В.Н., Гитман М.Б., Келлер И.Э., Наймарк О.Б., Столбов В.Ю., Трусов П.В. (ред.), Фрик П.Г. Введение в математическое моделирование. Учебное пособие. – М.: Логос, 2005. – 440 с.

Дополнительный

1 Богданов А. А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн. – М.: Экономика, 1989. Кн. 1. – 303 с.; Кн. 2. – 350 с.

2 Гиг Дж. Ван. Прикладная общая теория систем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. 733 с.

3 Пригожин А. И. Организация: системы и люди. – М.: Политиздат, 1983. – 176с.

4 А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. Теория колебаний. – М.: Физматгиз, 1959. – 916 с.

5 Принципы самоорганизации: Сб. докл.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 621 с.

6 Теория организации / В. С. Лапшин, А. А. Козлов, Л. В. Шаборкина. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1996. – 104 с.

7 Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 404 с.

8 Эшби У. Росс. Введение в кибернетику. – М.: Иностр. литер.,1959. – 432 с.

9 Анисимов И.В. Автоматическое регулирование процесса ректификации. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 180 с.

10 Свечников Г. А. Причинность и связь состояний в физике. – М.: Наука, 1971. – 304 с.

11 Философский энциклопедический словарь / Л. Ф. Ильичёв, П. Н. Федосеев, С. М. Ковалёв, В. Г. Панов. – М.: Советская энциклопедия. Гл. редакция: 1983.

12 Мякишев Г. Я. Общая структура фундаментальных физических теорий и понятие состояния // Физическая теория. – М.: Наука, 1980. – с. 420-436.

13 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. 10-е изд., стереотипное, доработанное. Перепеч. с изд. 1973 г. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

14 Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. – М.: Химия,1995. – 400с.: ил.

15 Каганов В.Ю., Блинов О.М., Глинков Г.М., Морозов В.А. Автоматизация металлургических печей. – М.: Металлургия, 1989. – 376с.

16 Кафаров В.В., Ветохин В.Н. Основы автоматизированного проектирования химических производств. – М.: Наука, 1987.

17 Баласанов Г.И. Оптимальное управление гидрометаллургическими процессами. – М.: Атомиздат, 1967.

18 Еренчинов К.К. Моделирование и автоматическая оптимизация процесса электрической очистки металлургических газов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Алма-Ата, 1983.

19 Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления. – М.: 1970. – 620 с.

20 Шаталов А.С. Отображение процессов управления в пространствах состояний. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.

21 Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. – М.: Мир, 1979. – 512 с.

22 Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.

23 Философия техники: история и современность. – М.: 1997. – 283 с.

24 Кондаков В.А. Философия техники в творчестве Н.А. Бердяева и современность // Вестник ОГУ, 1980. – с. 16-18.

25 Фрэнкс, Роджер. Математическое моделирование в химической технологии / Пер. с англ. Д. К. Бейлиной и Э. Ф. Ишмаевой; Под ред. канд. техн. наук В. С. Торопцова. – М.: Химия, 1971. – 272 с.

Оглавление

Предисловие ……..…….. 4
1 Процессы, объекты, системы 4
1.1 Что такое процесс? 4
1.2 Качество процессов 4
1.3 Технология процесса 6
1.4 Свойства процесса 16
1.5 Разновидности процессов 18
1.6 Состояние процессов 21
1.7 Идентификация процессов 32
1.8 Что такое объект? 34
1.9 Что такое система? 36
2 Организация как процесс, система и явление 40
2.1 Организация как процесс 40
2.2 Организация как система 41
2.3 Организация как явление 44
2.4 Самоорганизация 45
2.5 Синергетика – теория самоорганизации, саморазвития открытых систем 48
3 Промышленное производство как процесс 54
3.1 Что такое производство? 54
3.2 Состав и структура промышленного производства 55
3.3 Производственный процесс 57
3.4 Материальные и энергетические балансы производства 59
3.5 Принципы организации производственного процесса 61
3.6 Виды производства с позиции автоматизации 62
3.7 Виды производств с позиции объёма выпускаемой продукции 63
4 Технологические процессы 64
4.1 Технологический процесс 64
4.2 Классификация технологических процессов 65
4.3 Теоретические основы технологических процессов 67
4.4 Способы функционирования технологических процессов 68
4.5 Особенности технологической топологии процессов 71
4.6 Технологический регламент 75
4.7 Термодинамика и технологические процессы 76
4.8 Эксергия 79
4.9 Критерии и показатели эффективности технологических процессов 79
5 Структура и переменные технологических процессов 83
5.1 Структура объектов автоматизации 83
5.2 Формулировка ограничений на технологические переменные 87
5.3 Управляемые переменные 88
5.4 Возмущающие воздействия в объектах управления 89
6 Основные свойства технологических процессов 94

6.1 Надежность и безопасность технологических процессов 94
6.2 Чувствительность технологических процессов 96
6.3 Помехозащищенность технологических процессов 96
6.4 Устойчивость технологических процессов 97
6.5 Управляемость технологических процессов 100
6.6 Наблюдаемость технологических процессов 102
6.7 Эмерджентность технологических процессов 103
6.8 Сложность технологических процессов 105
6.9 Нагрузка объекта управления 105
6.10 Емкость объекта 106
6.11 Самовыравнивание 109
6.12 Запаздывание 112
6.13 Инерционность 114
6.14 Постоянная времени 117
7 Характеристики объектов управления 119
7.1 Статические характеристики объектов и уравнения балансов 120
7.2 Линейность и нелинейность технологических процессов 124
7.3 Динамические характеристики объектов и уравнения динамики 125
7.4 Технологические процессы с сосредоточенными и распределенными параметрами 133
8 Математическое моделирование процессов 135
8.1 Что такое моделирование? 135
8.2 Цели, виды и этапы моделирования 137
8.3 Что такое модель? 139
8.4 Математическое моделирование 142
8.5 Алгоритмизация и программирование 150
9 Автоматизация и управление процессами 153
9.1 Что такое автоматизация ? 153
9.2 Что такое управление? 160
9.3 Управление производством – бизнес-процессом 163
9.4 Управление технологическими процессами 171
10 Примеры описаний технологических процессов как объектов управления 175
10.1 Основные черты и особенности гидрометаллургических процессов 176
10.2 Особенности металлургических печей как объектов автоматического контроля и управления 179
10.3 Энергосистема как объект управления 184
10.4 Электрофильтры как объект управления 195
10.5 Особенности резервуара как объекта управления 198
11 История развития автоматизации управления 202
11.1 Развитие мировой техники как основа зарождения автоматизации 202
11.2 Развитие автоматизации в бывшем СССР 208
11.3 Развитие автоматизации в Казахстане 210

Еренчинов Данияр Кагазбекович
Еренчинов Кагазбек Калыкбаевич
Базил Гулмира Дуйсенбеккызы

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ. ЧАСТЬ 1. ПРОЦЕССЫ КАК ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор: Л. Т. Сластихина

Подписано в печать_____
Тираж 100. Формат_____.

Бумага типографическая_____.
Уч.-изд.л. 13,85. Заказ №____.
Цена 6900 тг.

Некоммерческое АО «АУЭС»
г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126