

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

Кафедра Машин и аппаратов химических производств

А.Н. Веригин, Н.А. Незамаев

Системный анализ процессов химической технологии

Методические указания

Санкт-Петербург
2014

Системный анализ процессов химической технологии: Учебное пособие. А.Н. Веригин, Н.А. Незамаев - СПб.: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2014. - 102 с.

Эффективное использование достижений различных наук возможно лишь при наличии общей методологии, в рамках которой осуществляется проектирование. Такая методология называется системным анализом.

Значение системного анализа (анализа сложных систем) выходит далеко за рамки рассматриваемых нами проблем. Он находит самое широкое применение в различных отраслях науки и техники.

Излагаются методологические основы декомпозиции технических объектов с учетом их конструктивных и технологических особенностей. Большое внимание уделено применению методов системного анализа при выполнении основных этапов проектирования. Основные положения проиллюстрированы многочисленными примерами.

Системный анализ – это совокупность методов, основанных на использовании ЭВМ и ориентированных на исследование сложных систем технических, экономических, экологических и т. д. Ценность системного подхода состоит в том, что рассмотрение категорий системного анализа создает основу для логического и последовательного подхода к проблеме принятия решений. Эффективность решения проблем с помощью системного анализа определяется структурой решаемых проблем.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 151000 Технологические машины и оборудование, и соответствует рабочей программе по дисциплине «Системный анализ процессов химической технологии».

Введение

Системный анализ – это совокупность методов, основанных на использовании ЭВМ и ориентированных на исследование сложных систем- технических, экономических, экологических и т. д. Результатом системных исследований является, как правило, выбор вполне определенной альтернативы: плана развития региона, параметров конструкции и т. д. Поэтому истоки системного анализа, его методические концепции лежат в тех дисциплинах, которые занимаются проблемами принятия решений: теории операций и общей теории управления. Ценность системного подхода состоит в том, что рассмотрение категорий системного анализа создает основу для логического и последовательного подхода к проблеме принятия решений. Эффективность решения проблем с помощью системного анализа определяется структурой решаемых проблем.

Согласно классификации, все проблемы подразделяются на три класса:

- хорошо структурированные, или количественно сформулированные проблемы, в которых существенные зависимости выяснены очень хорошо;
- неструктурированные, или качественно выраженные проблемы, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми совершенно неизвестны;
- слабо структурированные, или смешанные проблемы, которые содержат как качественные элементы, так и малоизвестные, неопределенные стороны, которые имеют тенденцию доминировать.

Для решения хорошо структурированных количественно выражаемых проблем используется известная методология исследования операций, которая состоит в построении адекватной математической модели и применении методов для отыскания оптимальной стратегии управления целенаправленными действиями.

Процедура принятия решений согласно включает следующие основные этапы:

1. Формулировка проблемной ситуации;
2. Определение целей; Определение критериев достижения целей;
3. Построение моделей для обоснования решений;
4. Поиск оптимального (допустимого) варианта решения;
5. Согласование решения;
6. Подготовка решения к реализации;
7. Утверждение решения;
8. Управление ходом реализации решения;
9. Проверка эффективности решения
10. Проверка эффективности решения

1 Теоретические основы системного анализа

1.1 Основные принципы системного анализа

Знания и информация.

Знания - результат проверенного практикой познания действительности, верного ее отражения в знаковой форме.

Изучением знаковых систем как средства выражения знаний занимается семантика - раздел научной дисциплины семиотики. Поскольку полученные в процессе проектирования знания о техническом объекте непрерывно изменяются, являясь предметом хранения, переработки и передачи, то они могут иметь значение информации.

Семантическая информация - выраженные знаками знания об интересующей нас стороне (сторонах) объекта. При проектировании имеет место направленная смысловая переработка семантической информации, которая является единственным методом представления знаний о техническом объекте. Различают первичную и вторичную семантическую информацию.

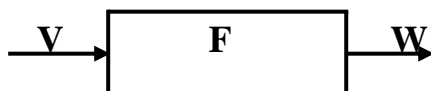
Первичной считается семантическая информация, отражающая посредством знаков (независимо от формы представления) результаты обобщений, исследований, разработок, наблюдений, имеющие завершенный характер; охватывает весь объем знаний, накопленный в конкретной области техники.

Вторичная семантическая информация отражает посредством знаков (для заданной формы представления) результаты логического преобразования первичной семантической информации; является основой для проектирования конкретного технического объекта.

Классификация проектных задач.

Основными особенностями, делающими процесс проектирования творческим, является нестабильность и неопределенность постановки задачи. Изменчивость задачи определяет трудность создания технических объектов, но вместе с тем создает предпосылки для широкого поля творческой деятельности.

Неопределенность может относиться как к входной V информации, выходной информации W , так и к методам проектирования F , которые можно рассматривать как трехзначные переменные:



$$V=(V^j, V^r, V^p); \quad W=(W^j, W^r, W^p); \quad F=(F^j, F^r, F^p),$$

где индекс j - соответствует однозначно заданной переменной, индекс r - множественной реализации переменной, индекс p - случаю, когда переменная подлежит определению.

С учетом принятых обозначений процесс проектирования можно представить следующим образом:

$$W = F(V)$$

Различные сочетания переменных позволяют формально выделить двадцать семь возможных постановок задачи на проектирование. Из них практическое значение имеют только 8 (таблица - 1).

Таблица 1 - Задачи на проектирование

Номер задачи	Комбинация переменных	Сущность задачи проектирования
1	V^j, W^j, F^j	Известны и однозначно определены исходные данные, алгоритм проектирования, вид проектируемого объекта (переменные заданы однозначно простой расчет)
2	V^j, W^r, F^j	То же, но используемый алгоритм проектирования приводит к получению нескольких вариантов одного и того же решения
3	V^j, W^r, F^r	Существует несколько алгоритмов проектирования, приводящих к различным вариантам при однозначном задании входной информации
4	V^r, W^r, F^r	То же, но входные данные сформулированы многозначно. Этим не создаются предпосылки принципиально новых решений
5	V^j, W^p, F^r	Однозначно определены исходные данные, применяются известные алгоритмы проектирования, но ищется новая, неизвестная область применения объекта
6	V^r, W^p, F^r	То же, но исходные данные сформулированы многозначно
7	V^p, W^p, F^r	Применяются известные алгоритмы проектирования, но ищутся как новые проектные решения, так и новые области их применения Создание нового оборудования.
8	V^p, W^p, F^p	Ищутся новые методы проектирования, новые потребности и новые объекты. Речь идет о развитии методологии проектирования

Что такое проектирование?

Для рассмотрения проектирования как процесса требуется четкое представление о сущности этого процесса, и в связи с этим стали появляться различные его определения.

Проектирование связано с инженерной деятельностью, направленной на создание новых объектов, методов, теорий, которые совершенствуют среду, окружающую человека.

Проектировать - значит творить, создавать нечто новое с учетом последствий, к которым приведет его создание и дальнейшее использование в условиях производства.

Согласно государственному стандарту, проектирование - это процесс составления описания, необходимого для создания еще не существующего объекта (алгоритма его функционирования или алгоритма процесса), путем преобразования первичного описания, оптимизации заданных характеристик объекта или алгоритма его функционирования, устранения некорректности первичного описания и последовательного представления (при необходимости) описаний на различных языках.

Под процессом проектирования мы будем понимать всестороннее познание еще не существующего в природе технического объекта и описание полученных знаний с использованием некоторых абстрактных представлений.

В связи с этим важное значение имеет раскрытие понятий следующих базовых категорий: **предмет, свойство, мера, отношение, знак.**

Предмет - категория, обозначающая нечто целое, выделенное из объекта (множества объектов) в процессе человеческой деятельности или познания.

Предмет может быть материальным (живой организм, машина, электромагнитное поле и др.) или идеальным (математическая формула, концептуальный образ, взятые как предмет познания). Один и тот же объект может быть предметом различных видов исследований. Например, машина может быть предметом исследования инженера, художника, врача и т. д. Основное структурное отличие предмета от объекта заключается в том, что в предмет входят лишь главные, наиболее существенные свойства и признаки (с точки зрения конкретного исследования).

Представление предмета в виде множества элементов позволяет описывать сложные структуры - системы. Система - это совокупность взаимодействующих элементов (предметов).

Свойство - категория, которая, выражая некоторую сторону предмета, обеспечивает возможность его сравнения с другими предметами путем выявления различий или общности между ними. Всякое свойство относительно. Оно не существует вне отношений к другим свойствам и предметам. Свойства предметов внутренне присущи им и существуют объективно независимо от человеческого сознания. Каждый предмет имеет множество свойств (сторон, признаков), характеризующих его качественную и количественную определенности. Совокупность свойств предмета составляет его качество.

Например, металлы при механических взаимодействиях проявляют такие свойства, как прочность, пластичность, твердость; при физических - плот-

ность, теплопроводность, электрическую проводимость; при химических - химическую активность, антикоррозионную стойкость. Следовательно, каждый предмет имеет множество качеств. Многочисленные качества предмета взаимосвязаны и определяются его основным качеством.

Основное качество характеризует предмет во всем его многообразии: во всех его связях, отношениях, на всем протяжении его существования. Потеряв одно или несколько свойств, определяющих его функциональное назначение, предмет перестает существовать, теряет смысл его применение по назначению.

Например, насос для перекачки жидкости должен обладать следующими свойствами: герметичностью, надежностью, работоспособностью в условиях производства. При потере одного из них насос не может быть установлен на производстве и для нас он не представляет интереса.

Размеры предмета, его масса, параметры работы и т. д. составляют его **количественные свойства**. Количественную определенность предмета можно характеризовать его структурой и параметрами. Например, насос выбирается по его рабочей характеристике, которая включает следующие параметры: подачу, напор, мощность, коэффициент полезного действия.

Качество и количество неразрывно связаны между собой и образуют меру.

Мера и есть те количественные границы, в которых может существовать данное качество.

Понятие "система" по отношению к предмету определяется как его свойство, а не как он сам. **Технический объект как предмет проектирования обладает тем свойством, что может быть представлен в качестве системы.**

Отношение - категория, устанавливающая взаимосвязи элементов, образующих предмет. Она имеет объективный и универсальный характер. При проектировании рассматриваются только предметы, их свойства и отношения, которые устанавливаются с другими предметами.

Отношение может выступать в роли свойства или признака предмета. Предмет, взятый в различных отношениях, проявляет различные свойства. Категория "**отношение**" тесно связана с понятием закона как выражения существенных отношений между объектами, явлениями и их свойствами. Например, закон Гука рассматривает в качестве объекта элемент конструкции и устанавливает отношение между возникающим в нем напряжением, его деформацией и модулем упругости.

Определение системы также основывается на установлении отношений между отдельными предметами (элементами). Систему можно представить как комплекс отношений между входами и выходами образующих ее элементов.

Сами по себе базовые категории еще не позволяют построить описание технического объекта - системы. Необходимо иметь некоторый способ их записи с использованием знаков. В связи с этим представляется важным раскрытие понятия "знак".

Знак - это условное обозначение чего-либо. Он не является обяза-

тельными.

Различают языковые и неязыковые знаки. Неязыковые знаки - это знаки копии, признаки и символы.

Знаки копии - воспроизведения, репродукции, более или менее сходные с обозначаемым. Например, фотографии, голограммы и т. д.

Знаки признаки - связаны с обозначаемыми предметами как действия со своими причинами. Например, дорожные знаки, ограничивающие правила уличного движения.

Знаки символы - в силу заключенного в них наглядного образа используются для выражения некоторого, часто весьма значительного и отвлеченного содержания предмета. Например, товарный знак, эмблема. Неязыковые знаки при проектировании технических объектов играют вспомогательную роль.

Языковые знаки не используются отдельно друг от друга, а образуют систему, правила которой определяют закономерности их построения (правила грамматики или синтаксиса), осмысления (правила смысла или значения знаков) и употребления.

Различают искусственные и естественные языковые системы (языки). Искусственные языковые системы образуются знаками математической, химической и другой символики; естественные - русским, латинским и другим алфавитом.

Таким образом, **знак - это материальный предмет (процесс, явление, событие), выступающий в качестве представителя некоторого другого предмета, свойства или отношения и используемый для приобретения, хранения и передачи знаний.**

Подведем итоги. В процессе проектирования, т.е. познания сущности еще не существующего в природе технического объекта, формируется описание полученных о нем знаний с помощью знаков с использованием базовых категорий (объект, свойство и отношение), которые обобщаются в рамках абстрактного представления - системы.

1.2 Роль и место системности при проектировании

Остаются малоизученными еще многие проблемы проектирования, возникающие при синтезе новых технических решений, когда свойства создаваемого технического объекта не представляется возможным однозначно описать через свойства его составных частей. Решение именно этих проблем приносит все новые познавательные и практические возможности изучения создаваемых объектов. К числу таких проблем, несомненно, относится и исследование системности как одной из важнейших концепций современной технической науки.

Принципы системности получили широкое развитие в различных областях техники. Широко известны системные исследования в химической технологии, машиностроении, приборостроении, космической технике, проек-

тировании промышленных предприятий, планировании и др.

Настоящее время - период интенсивного развития наук так называемого системного направления: общая теория систем; исследование операций; системный анализ; системотехника; теория эффективности; техническая кибернетика.

Система – техническая система – представляется как упорядоченная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, образующих единое функциональное целое, предназначенное для решения определенных задач.

Система - это нечто целое, представляющее собой единство закономерно расположенных и находящихся во взаимной связи частей. К системе (объективной, абстрактной, искусственной или смешанной) может быть отнесена и модель, к которой в полной мере применим системный подход. Например, система, построенная для описания времени пребывания ключевого компонента в аппарате с механическим перемешивающим устройством, является также его гидродинамической моделью.

Элемент - составная часть. Под элементом технической системы понимается ее часть, предназначенная для выполнения определенных функций и неделимая на составные части при заданном уровне рассмотрения. Элемент входит в состав системы и сам в свою очередь состоит из ряда элементов более низкого уровня.

Выделение элемента в ряде случаев носит условный характер, так как он при функционировании органически связан с верхним и нижним уровнями. Например, аппарат с механическим перемешивающим устройством состоит из корпуса, привода, уплотнения, крышки, опоры и т. д. В свою очередь каждый из них состоит из своих элементов конструкции.

Системность. Концепция, которая в самом общем виде определяет постановку методологических проблем проектирования и может рассматриваться как диалектическое единство двух фундаментальных философских посылок. Позитивной и негативной.

Смысл первой (позитивной) посылки был раскрыт еще Спинозой в его седьмой теореме „Этика“: „Мир и порядок вещей тот же, что и порядок идей“. Данная позитивная посылка, по существу, заимствует идею философского рационализма в широком смысле, выражая идею рациональной познаваемости мира и, следовательно, может быть распространена на проектирование. Это подтверждает правильность представлений о проектировании как познанию еще не существующего в природе объекта.

Вторая (негативная) посылка исключает в явном виде субъект познания из любых конкретных областей техники. Субъектом познания в данном случае являются знания или идеальная сущность включающая: познанные факты, закономерности, определенные методы и принципы проектирования.

Системный подход, или проявление системности в конкретных областях техники, начинаются там, где осуществляется синтез позитивной и негативной фундаментальных философских посылок.

Можно говорить о существовании двух типов противоречий, связанных с проблемами проектирования: предметных и методологических.

Предметные противоречия индивидуальны в каждой конкретной области техники и качественно не меняют уровня понимания системности. Методологические проблемы проектирования, естественно, повторяются в различных областях техники и во многом определяют пути перестройки понимания системности. Общим для них является то, что новые факты из непосредственной эмпирики лишь уточняют противоречивые ситуации, никак не меняют их качественно.

При достижении определенного этапа развития познания технических объектов или уровня их системности в различных областях техники стали возникать противоречия между уровнем их развития и требованиями производства. Анализ противоречий показывает, что их источник - дифференциация технических наук.

Химическая технология, как и другие разделы техники, складывается в достаточно стройную иерархическую систему понятий. Различают по уровню взаимодействий и пространственно-временным масштабам:

микромир, макромир, мегамир, метамир. Например, различные дисциплины химической технологии все более определенно группируются около методологических, построенных на основе феноменологических обобщений, уровней: химическая кинетика, физическая химия, явления переноса, процессы и аппараты химической технологии, общая химическая технология, машины и аппараты химических производств, химическая кибернетика.

Противоречия, разрешаемые в представленных иерархических системах понятий химической технологии, по своей природе предметны, т.е. относятся к вполне определенным предметным областям техники. История техники уже не раз сталкивалась с предметными противоречиями и с перестройкой, связанной с их разрешением.

Например, развитие "Химической технологии" привело к выделению из нее научной дисциплины - "Процессов и аппаратов химической технологии". Развитие "Механической технологии", в свою очередь, привело к выделению из нее "Химического машиностроения". Эти новые для своего времени научные дисциплины, как и любые прикладные дисциплины, были призваны, используя достижения естественных наук, решать стоящие перед промышленностью задачи. В настоящее время многие интересные для промышленности задачи нашли свое решение, каждое из которых многократно подтверждено на практике. Результатом явилось создание нормативных материалов для расчета конкретных машин и аппаратов. Дальнейшее же совершенствование химической техники требует новых знаний. Таким образом, налицо предметные противоречия, которые необходимо преодолеть. Их разрешение должно привести к перестройке существующих научных дисциплин.

Технико-экономическое состояние производства на конкретном этапе его развития складывается в ходе преодоления отдельных технических противоречий, в результате развития науки. Задачи непрерывного совершен-

ствования производства обуславливают изменение содержания и дифференциацию технических наук.

1.3 Системный анализ, основные этапы

Исходя из стоящих перед нами задач, под системным анализом будем понимать методологию исследования и преобразования семантической информации в процессе проектирования технического объекта.

Основной задачей системного анализа считается нахождение простого в сложном, а одним из его назначений - познание структуры технической системы, т.е. выявление законов построения, взаимосвязи элементов и поведения системы.

При решении практических задач возможны следующие этапы проведения системного анализа.

Возникновение проблемы. Изначальным толчком к проведению системного анализа следует считать возникновение противоречия между потребностями производства и известными техническими средствами. Это в полной мере относится и к решению проблемы создания гибких химико - технологических производств.

С одной стороны, существует потребность в такой организации малотоннажных производств химической технологии, когда в рамках одного производства можно организовать технологические процессы получения различных по свойствам продуктов. Например, производство различных по составу масел, которые получают путем смешения одних и тех же компонентов в различных пропорциях (число композиций может быть достаточно большим); производство красителей, различных по составу и окраске; придание дисперсным материалам различных потребительских свойств (гранулометрического состава, формы, степени совершенства кристаллической структуры, наружного покрытия).

С другой стороны, для реализации такого производства практически нет необходимых технических средств. Во многом даже не ясно, что рассматривать в качестве таких технических средств - отдельные аппараты, машины или некоторую их совокупность.

Постановка задачи.

Преодоление возникшего противоречия возможно только благодаря созданию новых высокоэффективных технических средств, которые рациональным образом учитывают технологические и технические требования, предъявляемые к химическим производствам. Для создания таких средств необходимо привлечение последних достижений науки о химической технологии на основе единой методологии системного анализа.

Выбор объекта исследования.

Целенаправленное и эффективное применение достижений науки в практике возможно только при правильном выборе и обосновании объекта научных

исследований (объекта проектирования) - обосновании границ технической системы. В нашем случае объект проектирования как самостоятельное машиностроительное изделие должен оптимальным образом отвечать требованиям производства. В процессе эксплуатации должен обеспечивать проведение с высокой эффективностью и надежностью некоторой технологической операции. При его изготовлении должны рациональным образом использоваться материальные, энергетические и людские ресурсы. Таким объектом может стать химико-технологический агрегат.

Исследование.

Создание первичной семантической информации о техническом объекте проектирования является сложным творческим процессом. Важны не все знания, накопленные в технике, а только те из них, которые отвечают поставленной цели проектирования. Познание объекта сопровождается огрублением. Сточки зрения теории познания **первичная семантическая информация** представляет собой зафиксированное отображение выделенной человеком стороны (сторон) объекта. Нет универсального алгоритма, пригодного для создания первичной семантической информации об объектах любой области техники, как нет и универсального алгоритма проектирования. При этом руководствуются выделением относительно устойчивых категорий своего рода каркаса - логической структуры первичной семантической информации.

Адекватной первичной семантической информацией по отношению к техническому объекту познания является такая информация, которая имеет объективное содержание, максимально соответствующее поставленной цели проектирования.

Анализ.

Это метод научного исследования путем рассмотрения отдельных сторон, свойств, составных частей чего-либо; он является первым этапом создания **вторичной семантической информации**, на основе которой можно непосредственно приступить к проектированию. Она, естественно, имеет меньшее содержание, чем первичная, так как при ее получении неизбежны потери. Для получения вторичной семантической информации необходим предварительный логический анализ первоисточников, переосмысление и сопоставление их содержания с ранее накопленными знаниями о техническом объекте. С этой точки зрения можно говорить о продолжении познания объекта, заключающегося в выявлении наиболее устойчивых и характерных его признаков.

Предметом исследования должны стать различные стороны химико-технологического агрегата (ХТА), как функциональные, так и структурные его особенности. На основе изучения типового оборудования, используемого в ХТА, разрабатываются следующие аспекты обобщенной модели:

- методы описания функциональных и структурных особенностей объекта проектирования;

- содержание информационного обеспечения;
критерий качества.

Синтез.

Завершает создание вторичной семантической информации об объекте проектирования путем обобщения результатов анализа на основании модельных представлений, например путем создания законченной методики расчета конкретного объекта - его обобщенной модели.

Задачи синтеза – обеспечение качества продукции.

Отличительными особенностями синтеза являются:

- необходимость использования информации с более высокого уровня иерархии на каждом этапе решения задачи;
- возможное (в принципе) бесконечное число путей перехода на следующий этап принятия решения;
- необходимость доказательства рациональности пути, принятого на каждом этапе;
- необходимость прогноза конечного результата на каждом этапе;
- наличие трудно формализуемых аспектов на каждом этапе;
- повышение роли творчества при выборе соответствующих решений;
- необходимость, как правило, проведения многократных итераций на каждом этапе решения задачи.

С возрастанием сложности объекта проектирования сложность решения задачи синтеза вторичной семантической информации (обобщенной модели) существенно возрастает. Это связано с взаимной зависимостью принимаемых решений при зависимости этапов решения задачи.

Построение расчетной модели. (методика расчета)

На данном этапе представляется возможным высказать в виде математического описания предварительные суждения об объекте проектирования. Исходным материалом является вторичная семантическая информация, которая, несмотря на свою относительную полноту, обладает неоднозначностью. Переход к аналитическим моделям позволяет устранить неоднозначность. Мы опять возвращаемся к принципу дополнительности, который может быть распространен и на проектирование технических объектов.

Расчетная модель, предназначенная для проектирования ХТА, должна включать методы:

- расчета отдельных химико-технологических процессов;
- оптимизации геометрических размеров элементов конструкции;
- расчета напряжений в элементах конструкций сложной геометрической формы при условиях их эксплуатации;
- расчета элементов конструкций по основным критериям работоспособности и надежности;
- комплексного технологического расчета **ХТА**;
- комплексной оценки работоспособности и надежности ХТА;
- имитационного моделирования для выявления эффективности и технологи-

ческой надежности работы ХТА в условиях конкретного производства;
- синтеза новых проектных решений.

Здесь перечислены далеко не все аналитические модели, которые находят применение при проектировании технических объектов. Из приведенного списка видно, что их практическое применение невозможно без использования электронно-вычислительной техники.

Моделирование.

Предполагает практическую организацию вычислений при проектировании, как с использованием ЭВМ, так и без нее. Не вызывает сомнения тезис о том, что повышение эффективности проектирования невозможно без использования ЭВМ. Развитие вычислительной техники и привело к появлению возможности автоматизировать проведение системного анализа на всех его этапах, т.е. автоматизировать восприятие знания и манипулирование ими, начиная от построения первичной семантической информации и кончая выдачей результатов (готового проекта). Стало возможным преодоление противоречий между описанием задачи на естественном языке и ее математической постановкой.

Благодаря использованию логико-лингвистических моделей, реализуемых с применением программно-аппаратных средств в системах искусственного интеллекта, становится возможным прямое общение инженера с ЭВМ. Взаимодействие специалистов с ЭВМ при решении стоящих перед ними задач осуществляется на профессиональном языке пользователя. При этом организацию вычислений и представление полученных результатов в удобной для пользователя форме берет на себя ЭВМ.

Анализ результатов системного анализа.

Предполагает выработку окончательного суждения относительно правильности выполненных вычислений. Какими бы мощными интеллектуальными возможностями ни обладала используемая нами вычислительная техника, она способна только повысить интеллект пользователя, увеличить объем его памяти и усилить способность к логическому выводу. Окончательное суждение о правильности полученных результатов, возможности практического применения того или иного технического решения должен делать только специалист, осуществляющий проектирование.

На данном этапе системного анализа может возникнуть необходимость внести изменения в предложенные ранее аналитические модели, изменить содержание вторичной семантической информации, хранящейся в ЭВМ. В современных системах искусственного интеллекта такая возможность также предоставляется инженеру. Он может вносить необходимые изменения непосредственно, не затрагивая внутреннего содержания используемых программно-аппаратных средств.

Результатом системного анализа должно стать создание высокоэффективных технических средств, способных найти применение при организации гибких химико-технологических производств.

В качестве примера рассмотрим два этапа - анализ и синтез, которые являются наиболее важными и трудно поддающимися формализации.

Задача анализа: для данного ХТА - определить стоимость его изготовления.

Решение задачи предполагает:

- представление ХТА в целом;
- разложение его на комплектующие детали;
- определение расходуемых материалов;
- определение затрат на материалы, изготовление комплектующих деталей и их сборку с учетом дополнительных расходов.

Каждый переход в рассмотренной последовательности конкретен и единствен. Так, спроектированный ХТА только одним способом можно разобрать на составляющие детали, детали преобразовать в заготовку (материал) и т. д.

Задача синтеза: на определенные денежные средства требуется создать некоторый ХТА.

Для решения задачи необходимо найти ответы на вопросы типа:

- какие купить материалы;
- какую схему придать каждой комплектующей детали;
- как из множества деталей создать ХТА, чтобы он был работоспособным.

На каждом этапе анализа принципиально возможно бесчисленное множество вариантов и каждое решение связано с необходимостью привлечения данных с другого иерархического уровня. В частных случаях, например при определении закона движения рабочего органа машины и при условии, что каждый вариант движения рабочего органа машины может быть однозначно определен. Задача синтеза кинематической схемы механизма не связана с отмеченными выше особенностями и принципиальной сложности не представляет.

Подведем итоги.

Системный анализ - методология получения информации, необходимой для полного и непротиворечивого описания объекта проектирования, удовлетворяющего исходному заданию. При его проведении можно выделить до девяти основных этапов, которые далеко не однозначны по содержанию. Первые два этапа определяют постановку задачи системного анализа, а последующие требуют более детального рассмотрения и наполнения конкретным содержанием.

1.4 Математическое моделирование в задачах проектирования

Последние годы характеризуются интенсивным развитием направлений, связанных с применением современных математических методов в различных областях химической технологии. Перед математиками открывается обширное поле деятельности, позволяющее им продемонстрировать эффективность весьма тонких и изящных методов современного анализа. Стремление добиться необходимой общности математического описания порой затрудняет его применение в инженерной практике при проектировании химических

производств. Не является исключением в этом плане и раздел химической технологии, посвященный изучению основ проектирования ХТА. Устранить возникшее противоречие возможно путем разработки модели, основанной на самых общих представлениях, не требующих применения сложных вычислительных методов, допускающих простую физическую интерпретацию.

Модель - это используемый для синтеза, оптимизации и анализа инструмент, позволяющий инженеру создать ХТА, определить его основные конструктивные и технологические параметры, прогнозировать работу ХТА при различных внешних и внутренних условиях и достаточно уверенно сказать, каким из них отдать предпочтение.

Модель служит обычным средством, помогающим нам в объяснении, понимании или совершенствовании окружающей нас природы.

Модель предполагает некоторое воспроизведение объекта с вполне определённой целью. Рассматриваются только те стороны, которые с определённой, достаточной для целей проектирования точностью описывают объект (ХТА). Задача нахождения адекватных каждому уровню познания моделей и пределов их справедливости составляет основное содержание физических исследований и теоретического разрешения технических проблем.

В качестве моделей аппаратов для химико-технологических процессов могут рассматриваться:

- модель физико-химических процессов, предназначенная для выполнения его комплексного технологического расчета или оценки эффективности работы в условиях конкретного производства;
- правила эксплуатации аппарата, обеспечивающие его рациональное, безопасное и надежное использование;
- комплекс рабочих чертежей, предназначенный для его изготовления;
- опытный образец, позволяющий увязку отдельных аппаратов и их узлов;

Следует отметить и относительность понятия модели, влияние на ее создание субъективного фактора. Те стороны модели, которые должны отражаться в ней, и те, которые опускаются из рассмотрения, во многом зависят от лица, которое строит модель с учетом условий конкретной задачи. Построение модели - процесс творческий. Предполагает использование разнообразных средств моделирования, применение разнообразных методов в рамках выбранных средств, принятие тех или иных допущений.

Функции (задачи) модели.

Идея исследования некоторого объекта, системы или понятия при помощи модели носит столь общий характер, что дать полностью классификацию функций модели затруднительно. Различают, по крайней мере, пять ставших привычными случаев применения моделей:

Модель - как средство понимания действительности,

Модель - как средство общения,

Модель - как средство обучения и тренажа,

Модель - как инструмент прогнозирования,
Модель - как средство постановки эксперимента.

Полезность модели при проектировании как средства понимания реальных закономерностей протекания рассматриваемого химико - технологического процесса очевидна. **Правильно построенная модель будущего ХТА вынуждает нас ограничить наши замыслы, оценить и проверить их обоснованность.** Вероятно, одно из наиболее важных применений модели при проектировании - **прогнозирование поведения создаваемого объекта.** Например, строить стометровую ректификационную колонну для определения эффективности разделения на ней некоторой смеси экономически нецелесообразно, однако она может быть рассчитана средствами моделирования.

Наконец, применение моделей позволяет проводить контрольные эксперименты при проектировании, где экспериментирование на реальных объектах невозможно.

Классификация моделей.

Попытка классификации моделей, как правило, отражает лишь отдельные аспекты исследований. Например, модели классифицируют: по объектам моделирования (ХТА, ХТС, аппарат, элемент конструкции и т. д.), по целям моделирования (анализ, синтез и т. д.), по средствам (физические, математические и т. д.), по методам (детерминированные, стохастические и т. д.), по способам конкретного представления объектов (аналитические, графические и т. д.), по исходной информации (экспериментальные, теоретические и т. д.).

К классификации моделей более рационально можно подойти с позиций классификации огромного многообразия возможных задач, решаемых в процессе проектирования технических объектов.

Можно выделить два случая моделирования:

- материальное (предметное);
- идеальное (абстрактное).

Материальное моделирование предполагает исследование объекта на физических моделях, при котором изучаемый процесс (объект) воспроизводится с сохранением его физической природы или используются другие аналогичные физические явления. Например: действующая модель машины, гидродинамическая модель элемента конструкции, учения соответствующих служб по эксплуатации конкретного ХТА и т. д.

Натуральное моделирование - частный случай материального моделирования. Основное требование материального моделирования - соблюдение подобия оригинала и модели.

Идеальное (абстрактное) моделирование - это описание объекта определенными символами. Особое место в абстрактном воспроизведении играют математические модели, исследования в которых осуществляются на основе идентичности формы уравнений и однозначности соотношений между переменными, фиксируемыми в натуре и модели.

Большинство из приведенных видов моделирования находит применение

ние при проектировании технических объектов.

Математическое моделирование основано на том, что реальный процесс, протекающий в аппарате и характеризующий эффективность его работы, представляют в виде совокупности физико-химических явлений, поведение которых описывается определенными математическими соотношениями.

Математическая модель, как правило, является моделью неполной аналогий, т.е. описывает только наиболее важные свойства объекта моделирования.

Математическое описание реальных объектов представляет собой достаточно сложную систему уравнений. Поэтому практически моделирование сколько-нибудь сложных объектов возможно только при использовании вычислительных машин, способных относительно быстро выполнять большой объем вычислений.

Можно говорить о том, что математическая модель реализуется в виде машины, моделирующей исследуемый объект с применением заданного алгоритма. Вычислительная машина выполняет последовательность операций, предписанную моделирующим алгоритмом, и вырабатывает информацию о протекающих в ХТА процессах, которая и используется как результат моделирования.

Требования к хорошей модели. Приняв во внимание цели моделирования, мы можем сформулировать конкретные критерии, которым должна удовлетворять хорошая модель.

Такая модель должна быть:

- простой и понятной инженеру;
- целенаправленной;
- надежной в смысле гарантии от абсурдных ответов;
- удобной в управлении и общении, т.е. общение с моделью должно быть легким;
- полной, с точки зрения возможностей решения главной задачи;
- позволяющей легко переходить к другим модификациям или обновлять данные;
- допускающей постоянные изменения в том смысле, что, будучи вначале простой, она может во взаимодействии с проектировщиком становиться все более сложной.

Необходимость большинства перечисленных критериев совершенно очевидна, и мы к ним вернемся при рассмотрении вопросов практического построения моделей.

Цель моделирования.

Опыт показывает, что формирование цели моделирования есть непрерывный процесс, пронизывающий весь ход моделирования (проектирования). Моделирование непрерывно порождает новую информацию, касающуюся ограничений применимости модели, возможных альтернативных вариантов. Такая информация должна периодически использоваться для обновления формулировки и содержания цели.

Процесс, в ходе которого инженер создает модель изучаемой им системы, может быть лучше всего определен как интуитивное искусство.

Моделирование состоит: в способности анализировать проблему; выделять из нее путем абстракции ее существенные черты; выбирать и должным образом модифицировать основные предположения, характеризующие систему (аппарат, процесс) и затем совершенствовать модель до тех пор, пока она не станет давать требуемые для практики результаты.

Необходимо начинать с очень простой модели, постепенно продвигаясь к более совершенной ее форме, уточняя особенности объекта моделирования.

Сформируем это в виде перечня указаний, согласно которым надлежит:

- четко сформулировать цели,
- разложить исследуемую общую задачу на ряд более простых,
- подыскать аналогии,
- рассмотреть специально подобранный численный пример,
- выбрать определенные обозначения,
- записать очевидные соотношения.

Если полученная модель поддается математическому описанию, то необходимо расширить ее. До тех пор пока модель поддается математическому описанию, исследователь может добиться все больших ее улучшений или усложнить исходные предположения. Когда же модель становится "непослушной", т.е. неразрешимой, разработчик прибегает к ее упрощению и использованию более грубой абстракции.

Помните, что никто не решает задачу в чистом виде, каждый оперирует с моделью, которую он построил, исходя из поставленной цели.

Принципы построения моделей.

Повышение эффективности построения моделей возможно на следующих принципах, которые во многом носят рекомендательный характер.

Принцип информационной достаточности предполагает наличие определенной априорной информации о натуре. Существует некоторый критический уровень априорной информации, при котором можно построить модель, адекватную объекту. Если нет достаточной информации о натуре, то ее модель невозможно построить. **Если есть полная информация об объекте, то пропадает целесообразность построения модели.**

Принцип агрегирования предполагает условное разделение модели на частные модели. Этот принцип обеспечивает возможность представления объекта в виде системы, состоящей из элементов, подсистем, а его работы - в виде этапов, фаз и т. д. Для адекватного математического описания таких компонентов могут оказываться пригодными некоторые типовые решения, модели, блоки. Такие типовые блоки могут объединяться с помощью операторов сопряжения в единую модель.

Принцип последовательного наращивания моделей предполагает создание

некоторого каркаса модели с дальнейшим наращиванием частностей, учитывающих особенности объекта моделирования. Этот принцип отражает динамичность самой модели на этапах жизненного цикла объекта. По мере конкретизации его характеристик и изменения задач моделирования в модели все более точно (подробно) отражается влияние тех или иных параметров процесса.

Принцип использования параметров предполагает соответствующую замену модели конкретными параметрами. Этот принцип позволяет в отдельных случаях отказаться от описания в модели некоторых относительно изолированных процессов, а задать их работу в виде выходных характеристик. Параметры могут задаваться в виде аналитической функции, графика, таблицы и т. д. Это позволяет значительно упростить модель, сократить объем и продолжительность моделирования.

Принцип направленного эксперимента предполагает учет при построении модели результатов специальным образом поставленного эксперимента. На основе эксперимента проверяются или уточняются те параметры работы объекта проектирования, которые затруднительно получить непосредственно при моделировании.

Адекватность модели.

Адекватность является одним из основных требований, предъявляемых к модели. **Под адекватностью** можно понимать степень соответствия модели тому реальному процессу, для описания которого строится модель. Поэтому **основой построения модели** является доказательство ее адекватности. Если адекватность модели доказана, то на такой модели можно получить новые данные для проектирования.

Адекватность модели реальному процессу определяется:

- уровнем сложности модели,
- используемым математическим аппаратом,
- наличием и характером допущений.

Выбор тех или иных показателей и соотношений имеет важное значение для правильного воспроизведения работы аппарата. Считается, что не следует осуществлять моделирование, если имеется слишком большое число неизвестных параметров и трудно определяемых соотношений. В этом случае адекватность модели может оказаться весьма сомнительной.

Обсудим возможные пути обеспечения адекватности модели.

При выборе **последовательности построения модели** могут быть выделены два подхода:

- приближенное решение точно поставленной задачи,
- точное решение в упрощенной формулировке.

В первом случае вначале дается исчерпывающая формулировка задачи, даже если она в такой постановке не поддается решению. Затем обосновываются необходимые допущения и упрощения, позволяющие осуществить моделирование. Во втором случае уже на этапе постановки задачи необходимо избегать принятия решений без их количественной оценки. На практике име-

ет место некоторый промежуточный подход, когда для построения "работающей" модели упрощается как сама решаемая задача, так и **ищется доступный упрощенный метод ее решения.**

Поэтапное построение модели.

Процесс создания модели предусматривает многоэтапное ее построение с оценкой полученных результатов, анализа их точности и коррекцией модели предыдущего этапа.

Уточнение модели на основе учета экспериментальных данных предполагает физическое моделирование исследуемого процесса или использование имеющихся данных по аналогичным процессам.

Уточнение модели на основе полученных экспертных оценок предусматривает привлечение специалистов в области моделирования исследуемого процесса для оценки адекватности модели.

Проверка непротиворечивости результатов моделирования логике процесса, в частности в особых точках, близких к экспериментам. Выполнение этого требования может осуществляться путем анализа результатов моделирования, полученных при предельных значениях входных параметров.

Чувствительность модели характеризует соответствие относительных изменений выходных показателей наибольшим изменениям входных параметров модели. Анализ чувствительности базируется на количественных оценках. Управлять чувствительностью модели возможно путем изменения ее структуры.

Реалистичность модели характеризуется соответствием результатов моделирования тем частным случаям, по которым имеются или могут быть получены фактические данные. Оценка реалистичности не только дает исследователю уверенность в правильности модели, но и позволяет иллюстрировать ее справедливость возможным оппонентам.

Точность модели - это частный случай количественного выражения ее адекватности. Точность зависит от характера моделируемых процессов, используемых методов и средств моделирования, квалификации исполнителя и т.д. Каждая модель должна сопровождаться информацией о ее точности. Только в этом случае можно уверенно ее эксплуатировать и использовать результаты моделирования. Оценка точности модели базируется на определении погрешностей ее результата по сравнению с некоторыми данными. Достоверность последних может быть подтверждена экспериментально, с помощью других более точных моделей или другими способами.

Три аспекта моделирования.

Построение модели проходит через три, основных этапа (аспекта) - **смысловой, аналитический и вычислительный.**

Смысловой_аспект будущей модели - это формальное описание физико-химической природы протекающих в аппарате процессов.

Аналитический аспект - это выражение формального описания на языке математики в виде некоторой системы уравнений и функциональных

соотношений между параметрами модели.

Вычислительный аспект, моделирующий алгоритм, определяется как последовательность операций, которые необходимо выполнить над уравнениями математического описания, для того чтобы обеспечить возможность самого процесса моделирования.

Точность полученных результатов моделирования зависит от того, насколько полно отражены различные параметры реального объекта в его математической модели.

Для понимания дальнейшего материала большое значение имеет классификация математического описания. Различают:

- конечные алгебраические и трансцендентные уравнения,
- обыкновенные дифференциальные уравнения,
- дифференциальные уравнения в частных производных,
- интегральные уравнения.

В зависимости от того, входит время в качестве независимой переменной в уравнения математического описания или нет, модели принято разбивать на **стационарные и нестационарные**.

Для **стационарных моделей** математическое описание позволяет определить значение внутренних параметров модели, соответствующих стационарному состоянию объекта при заданной совокупности внешних параметров.

Для **нестационарных моделей** математическое описание характеризует временное изменение внутренних параметров при изменении внешних. В некоторых случаях нестационарная модель, описываемая уравнением с малым временем релаксации, может быть заменена квазистационарной моделью, описываемой стационарным уравнением.

Исследование объектов, описываемых дифференциальными уравнениями, методами математического моделирования представляет иногда весьма трудную вычислительную задачу. Поэтому в ряде случаев вместо математического описания объекта дифференциальными уравнениями используется система алгебраических уравнений. **Объект** с распределенными параметрами рассматривается как имеющий ячеичную структуру с сосредоточенными параметрами. С учетом сказанного возможная классификация математического описания представлена на рис. 1

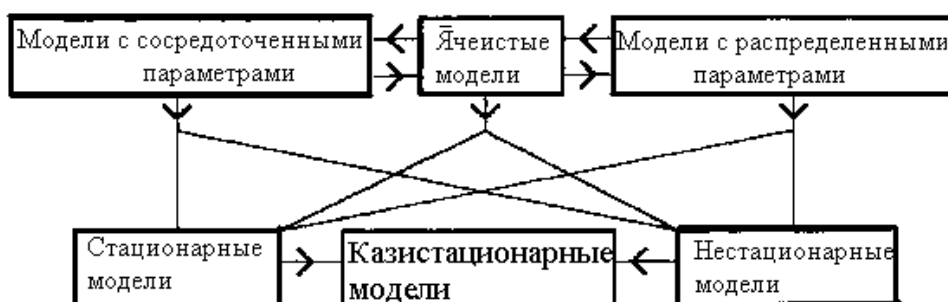


Рисунок 1 – Классификация математических моделей

Наиболее распространение получили ячеечные модели, которые позволяют моделировать как в статике, так и в динамике самые различные процессы химической технологии.

Например, модели, построенные с использованием математического аппарата цепей Марковского для описания работы аппарата в условиях производства.

Задачей моделирующего алгоритма чаще всего является решение системы уравнений математического описания, что позволяет находить внутренние параметры объекта моделирования при заданной совокупности внешних. Для решения различных задач на ЭВМ существует большое число методов. Из всех возможных методов в каждом конкретном случае следует выбрать тот, который обеспечивает решение задачи с желаемой точностью и быстродействием (с учетом технических возможностей имеющейся в распоряжении ЭВМ).

Подведем итоги. Математическое описание является отражением физической сущности протекающего процесса со свойственными ему особенностями и ограничениями, которые должны учитываться как при формулировке задачи, так и при выборе метода ее решения. Следствием этого являются часто возникающие трудности непосредственного использования классических методов численного анализа. Неправильный учет особенностей и ограничений, с одной стороны, может привести к абсурдным, физически нереальным результатам, а с другой - к значительному усложнению программы.

Таким образом, **три аспекта математической модели - смысловой, аналитический и вычислительный** - должны рассматриваться в тесной взаимосвязи. Возможность создания модели и последующее использование для решения задач автоматизированного проектирования часто обусловлены тем, насколько удачно согласуются три аспекта между собой.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИИ

Все полимерные материалы в определенном температурном интервале способны к большим необратимым деформациям - пластическому течению. Для линейных аморфных полимеров этот температурный интервал - по существу вся область температур, лежащая выше температуры стеклования. Для кристаллических полимеров - это область выше температуры плавления. Разумеется, в обоих случаях сверху эта область ограничивается температурой разложения (для термопластичных материалов) и температурой структурирования для терморезистивных или вулканизирующихся материалов.

Всякую конечную деформацию реального материала можно представить как результат последовательного проявления двух принципиально отличных видов деформации: деформации объемного сжатия или расширения, характеризующей изменение объема при неизменной форме, и деформации сдвига, характеризующей изменение формы при неизменном объеме.

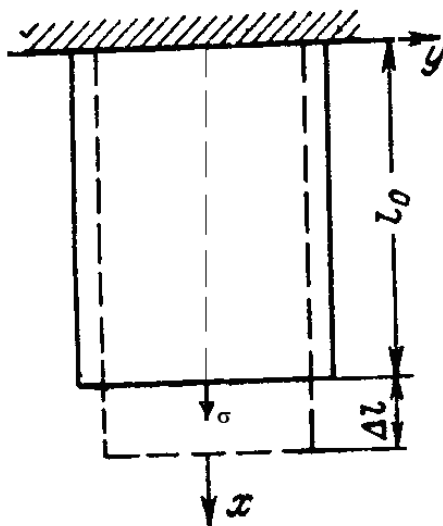


Рисунок 2 – Растяжение прямоугольной призмы.

Взаимное соотношение этих двух видов деформации реальных материалов определяется физической константой материала, называемой коэффициентом Пуассона.

Рассмотрим призму длиной l_0 , к торцу которой приложено растягивающее напряжение σ (рис.2). Предположим, что материал призмы подчиняется закону Гука. В этом случае под действием напряжения σ призма удлинится на величину Δl . Величина относительного удлинения $\Delta l / l_0 = \varepsilon_x$ определится при этом соотношением:

$$\varepsilon_x = \sigma/E$$

где E - модуль упругости, или модуль Юнга.

Одновременно уменьшится поперечное сечение призмы:

$$\varepsilon_y = \mu\sigma/E$$

где μ - коэффициент Пуассона.

Величина относительного изменения объема будет равна:

$$\frac{\Delta V}{V} = (1 - 2\mu) \frac{\sigma}{E}$$

Для всех полимерных систем при температурах выше температуры стеклования (или плавления) величина коэффициента Пуассона близка к 0,5. Поэтому во всех случаях деформация полимерных тел может быть сведена к изменению формы, т. е. к деформации сдвига.

Упругая и пластическая деформация

Рассмотрим деформацию элементарной призмы, к верхней и нижней поверхностям которой приложена тангенциальная сила F (рис.3).

Верхняя плоскость под действием силы F сместится на величину ΔS . Величина ΔS называется смещением. Опыт показывает, что чем больше F , чем меньше A (площадь грани AB) и чем больше высота призмы H , тем больше величина смещения ΔS .

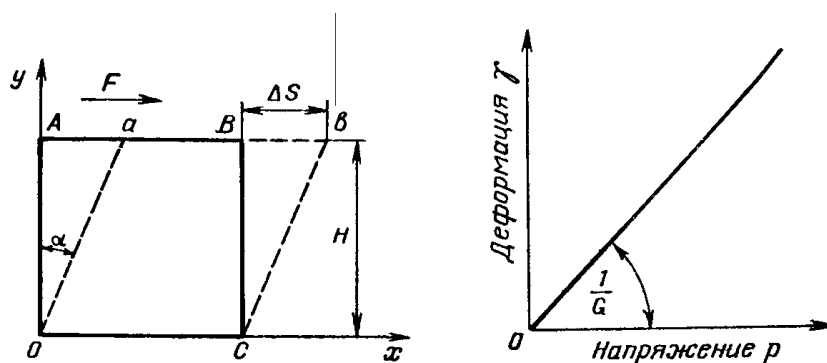


Рисунок 3 – Сдвиг прямоугольной призмы

Для призмы из абсолютно упругого материала справедливо следующее соотношение:

$$\frac{\Delta S}{H} = \frac{F}{A} \frac{1}{G}$$

Величина $\Delta S/H$ служит мерой деформации сдвига и равна $\text{tg}\alpha$, а при малых значениях угла α — самому углу. (Угол α определяет уменьшение прямого угла между основанием и боковыми гранями призмы.) В дальнейшем деформация сдвига будет обозначаться буквой γ .

Величина F/A — это тангенциальное напряжение или напряжение сдвига, которое обозначается в дальнейшем буквой σ .

И, наконец, величина G — это мера упругости тела, так называемый модуль упругости при сдвиге или модуль сдвига. Таким образом, уравнение можно записать в следующем виде:

$$\gamma = \sigma/G$$

Это уравнение известно как закон Гука, который гласит: “величина деформации упругого тела пропорциональна величине действующих напряжений и обратно пропорциональна модулю упругости тела”. Графически закон Гука можно изобразить в виде прямой, иллюстрирующей прямую пропорциональность между напряжением и деформацией (рис.3).

Если призма сделана из пластичного материала ее поведение будет несколько иным. Вначале, пока напряжения очень малы, он, будет вести себя подобно призме из упругого материала. Однако, с того момента, когда напряжения достигнут определенного значения, называемого пределом текучести дальнейшее увеличение деформации уже не будет требовать увеличения напряжений. Графическое выражение закона деформации пластичного материала приведено на рисунке 4.

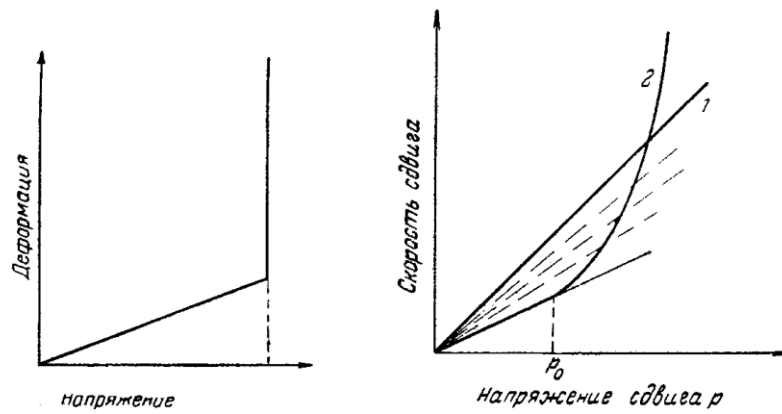


Рисунок 4 – График деформации пластичного материала

Вязкое течение

Рассмотрим деформацию призмы, вырезанной в жидкости. Если деформация осуществляется бесконечно медленно, то возникающие при этом напряжения бесконечно малы, т. е. слои жидкости сдвигаются относительно друг друга практически без всякого сопротивления.

На кривой течения рисунок 4 показано 1 – ньютоновская жидкость; 2 - аномально-вязкая жидкость.

МЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ. МОДЕЛЬ МАКСВЕЛЛА

Представления об упругости материала, полностью подчиняющегося закону Гука, и вязкой жидкости, удовлетворяющей закону Ньютона, оказываются двумя краеугольными камнями, опираясь на которые можно расшифровать поведение всех реальных материалов.

Для этого введем в рассмотрение простейшие механические модели, обладающие в отдельности свойствами упругого тела (рис.5) и ньютоновской жидкости.

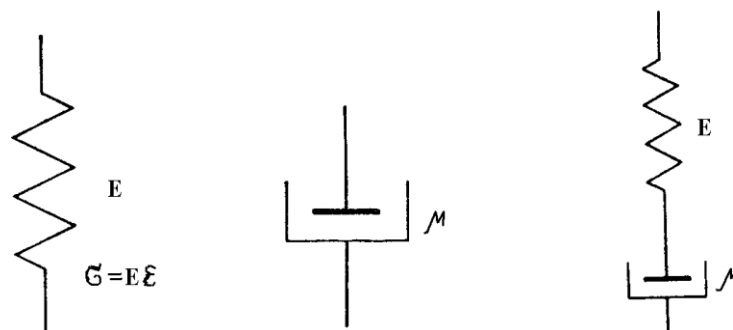


Рисунок 5 – Простейшие механические модели

В качестве простейшей модели упругого тела воспользуемся обычной пружиной. Единственной характеристикой такой пружины является ее жесткость, которую мы положим равной модулю упругости E . В том случае, если

к этой пружине приложено усилие, вызывающее напряжение σ , ее деформация будет описываться уравнением $\varepsilon = \sigma/E$.

В качестве простейшей механической модели ньютоновской жидкости воспользуемся цилиндрическим поршнем, передвигающимся в сосуде, заполненном вязкой ньютоновской жидкостью. Между силой, приложенной к поршню, и скоростью его смещения будет соблюдаться зависимость

$$\varepsilon = \mu(d\sigma/d\tau)$$

Рассмотрим простейшую комбинацию, образованную из этих двух последовательно соединенных элементов (рис. 5). Такое модельное тело, обладающее одновременно упругостью и вязкостью, называется телом Максвелла.

Если подвергнуть тело Максвелла деформации, приложив к нему постоянное усилие, то можно ожидать, что вначале оно скачкообразно деформируется на величину, соответствующую сжатию упругого элемента, а затем будет деформироваться с постоянной скоростью, соответствующей величине приложенного усилия. С другой стороны, если быстро сформировать тело Максвелла, а затем зафиксировать полученную деформацию и наблюдать за изменением силы (или напряжения) во времени, то можно ожидать, что начальное напряжение, соответствующее заданной величине деформации пружины, будет постоянно уменьшаться за счет смещения поршня вязкого элемента. При этом величина напряжения будет изменяться во времени.

Это явление постоянного уменьшения во времени существующих в деформированном образце полимерного материала напряжений хорошо известно и получило название релаксации напряжений

Используя представления о законах деформации отдельных элементов модели Максвелла, можно вывести уравнение деформации модели. При этом будем исходить из двух очевидных условий: во-первых, полная деформация модели равна сумме деформации упругого и вязкого элементов;

$$\varepsilon = \varepsilon_y + \varepsilon_v$$

во-вторых, величины напряжений, действующих в упругом и вязком элементах, одинаковы:

$$\sigma = \sigma_y = \sigma_v$$

Выражая деформацию упругого и вязкого элемента, получим дифференциальное уравнение, описывающее поведение тела Максвелла:

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{d\tau} + \frac{\sigma}{\mu}$$

или
$$E \frac{d\varepsilon}{d\tau} = \frac{d\sigma}{d\tau} + \frac{\sigma}{\theta}$$

Рассмотрим теперь более строго поведение тела Максвелла в условиях постоянной деформации $\frac{d\varepsilon}{d\tau} = 0$. В этом случае дифференциальное уравнение принимает вид:

$$\frac{d\sigma}{d\tau} = -\frac{\sigma}{\theta}$$

Интегрируя это уравнение и определяя постоянную интегрирования из усло-

вия $\sigma = \sigma_0$ при $\tau = 0$, получим следующую экспоненциальную зависимость:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\tau/\theta)$$

Величина $\theta = \theta/E$ имеет размерность времени и называется временем релаксации; обычно ее обозначают через τ . Физический смысл времени релаксации состоит в том, что по истечении промежутка времени $t = \tau$ величина первоначального напряжения уменьшится в e раз, т. е. составит около 37% первоначального значения.

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ МАКСВЕЛЛА. РЕЛАКСАЦИОННЫЙ СПЕКТР

Сопоставление полученных характеристик тела Максвелла с характеристиками реальных полимеров, находящихся в высокоэластическом и вязкотекучем состояниях, показывает, что между ними существует качественное сходство. Однако попытка применения полученных математических зависимостей для количественного описания упруговязких характеристик реальных полимеров сразу же показывает невозможность их непосредственного использования. Наилучшее представление об этом дает анализ уравнения. Если взять натуральные логарифмы правой и левой частей уравнения $\sigma = \sigma_0 \exp(-\tau/\theta)$, то получается $\lg \sigma = \lg \sigma_0 - t/\theta$

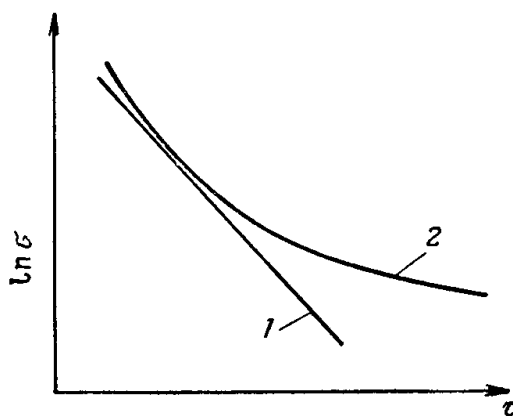


Рисунок 6- Кривые релаксации напряжений
1 – Тело Максвелла; 2 – реальный полимер.

Если релаксационные свойства реального полимера можно было бы описать при помощи тела Максвелла, эти данные должны были бы уложиться на прямую 1 (рисб.). В действительности же релаксационные свойства реальных полимеров описываются кривой 2 (рис.б).

Оказывается, что для описания релаксационных свойств реальных полимеров необходимо использовать модели, состоящие из ряда параллельно соединенных элементов Максвелла, каждый из которых характеризуется

своим значением модуля упругого элемента E_i и своим значением времени релаксации τ рисунок 7.

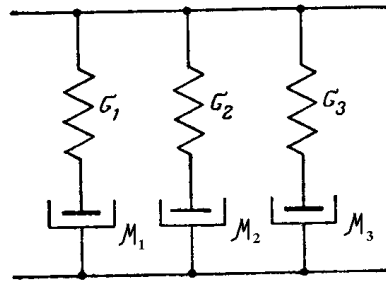


Рисунок 7 – Обобщенная модель Максвелла

При этом, чем больше число параллельно соединенных элементов Максвелла, тем точнее такая обобщенная модель описывает деформационные характеристики реального полимера. Значения основных деформационных характеристик обобщенной модели Максвелла описываются следующими формулами:

$$\sigma(\tau) = \varepsilon_0 \sum_i^n E_i \exp\left(-\frac{\tau}{\theta}\right)$$

Необходимость введения большого числа параллельно соединенных элементов Максвелла для описания деформационных характеристик реальных полимеров является следствием сложности полимерной структуры и механизма деформации реальных полимеров. В самом деле, всякий реальный полимер представляет собой смесь полимерных молекул с самыми различными молекулярными весами, конформациями и образующих различные надмолекулярные структуры, характеризующиеся разными величинами подвижности и соответственно значениями времени релаксации.

1.5 Графы как средства описания технических объектов

Не все задачи моделирования могут быть решены с использованием традиционных математических методов. В связи с этим необходимо рассмотреть некоторые специальные разделы математики: семантические сети и графы. Последние находят самое широкое применение при описании сложных технических объектов.

При использовании естественного языка описание объекта проектирования является последовательным. Мы последовательно переходим от одного предложения к другому. Возможен альтернативный способ описания, при использовании которого не требуется проводить этот процесс последовательно. При этом рассматривается множество объектов и отношений между ними, т.е. строится семантическая сеть или графы.

Семантические графы дают наглядное изображение, как объектов, так

и отношений между ними.

Деление на объекты и отношения является в некотором смысле условным. Отношения могут быть представлены как объекты, связанные своими отношениями.

$\langle Y R X \rangle$

где \langle кортеж – определенная последовательность элементов;

Y, X – объекты; R – отношение.

Большие буквы – множество объектов.

Графы.

Граф состоит из ряда вершин и ребер (дуг). Он должен содержать, по крайней мере, одну вершину. Ребро является отрезком прямой, вершина – точкой. Для каждого ребра должны существовать две вершины. Пример графа показан на рисунке 8.

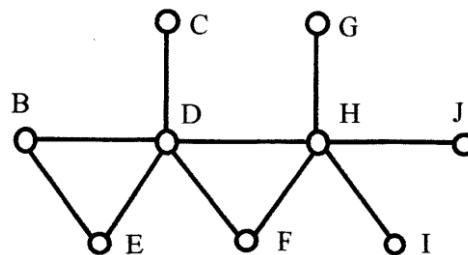


Рисунок 8 – Пример графа

Вершины представляют объекты, а ребра показывают, между какими объектами существует некоторое отношение. Отношение едино для всего графа. Так как отношение существует между двумя объектами, то в графе каждое ребро имеет две связанные отношением вершины.

В математике граф рассматривается как нечто абстрактное. Мы же вкладываем в понятия ребро и вершина смысловую нагрузку и получаем полезную концепцию для описания объекта проектирования.

Граф, в котором задана ориентация, называется ориентированным графом. В ориентированном графе дуги по-прежнему связывают вершины рисунка 9.

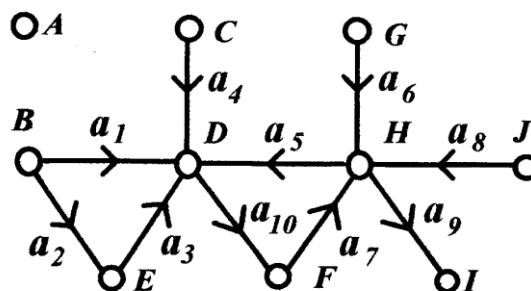


Рисунок 9 – Пример ориентированного графа

Различают три типа отношений (рефлексивные a , симметричные b и

транзитивные в) рисунок 10.

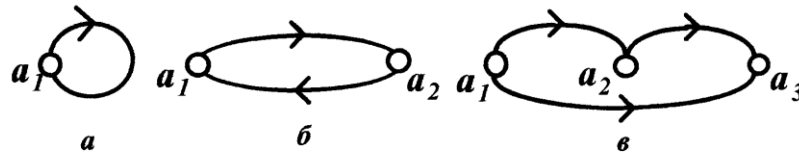


Рисунок 10 – Пример отношений
 а – рефлексивное; б – симметричное; в – транзитивное.

Для **рефлексивного отношения** стрелка начинается и заканчивается в вершине a_1 , поскольку отношение начинается и заканчивается в вершине a_1 , отношение устанавливается между объектом и им самим.

В **симметричном отношении** первая стрелка начинается в a_1 и заканчивается в a_2 , а вторая начинается в a_2 и заканчивается в a_1 , так как отношение устанавливается в двух направлениях.

В **транзитивном отношении** первая стрелка направлена от a_1 к a_2 , вторая - от a_2 к a_3 , а третья, определяющая транзитивность, от a_1 к a_3 . (если $a_1 \succ a_2$, а $a_2 \succ a_3$, то $a_1 \succ a_3$)

Некоторые свойства графов.

Маршрутом называется путь, проходящий от одной вершины к другой через ребра и вершины графа. Правильнее было бы определить маршрут как последовательность ребер, образующую непрерывный путь от исходной до конечной вершины. Например, для графа, отражающего отношение геометрических размеров элемента конструкции, в качестве маршрутов могут рассматриваться размерные цепи. Сопоставление различных маршрутов позволяет определить недостающие размеры.

На рисунке 11 изображен граф с несколькими вершинами и ребрами.

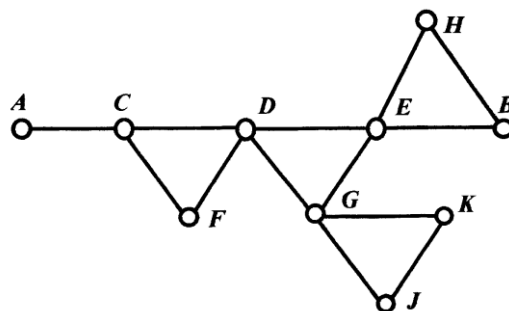


Рисунок 11 - Граф с несколькими вершинами

Предположим, что необходимо пройти от **А** к **В**. Мы должны рассмотреть несколько последовательностей ребер. Самая прямая из них - **ACDEB**. Поскольку здесь возможны варианты, определим принцип их клас-

сификации. Будем считать, что последовательность ребер:

– **элементарная**, если в ней ни одно ребро или вершина не повторяется более одного раза, например **ACDEB**;

простая, если в ней ни одно ребро не появляется более одного раза, например **ACDGJKGEB**;

- **непростая** в остальных случаях.

Последовательность ребер, в которой исходная и конечная вершины совпадают, называется циклом. Если последовательность ребер включает циклы, то она не может быть элементарной. Например, на рис. 10 последовательность **GJKG** является циклом, так как она берет начало и заканчивается в одной вершине **G**. Последовательность **ACDGJKGEB** содержит цикл **GJKG**. Она является простой, так как в ней не повторяются ребра, но она не элементарна, так как вершина **G** повторяется дважды.

Многие структуры используют асимметричные отношения и поэтому представляются ориентированными графами.

Маршруты между различными вершинами ориентированного графа называются последовательностями или цепочками дуг. Например, ориентированный граф представляет собой удобный способ описания потоков массы, энергии, количества движения в химико-технологических агрегатах. Данный подход будет использован при построении потоковых графов, а также при описании геометрических особенностей, как отдельных конструктивных элементов, так и аппарата в целом.

На рисунке 12 изображен ориентированный граф, в котором существует несколько последовательностей дуг между вершинами **A** и **B**.

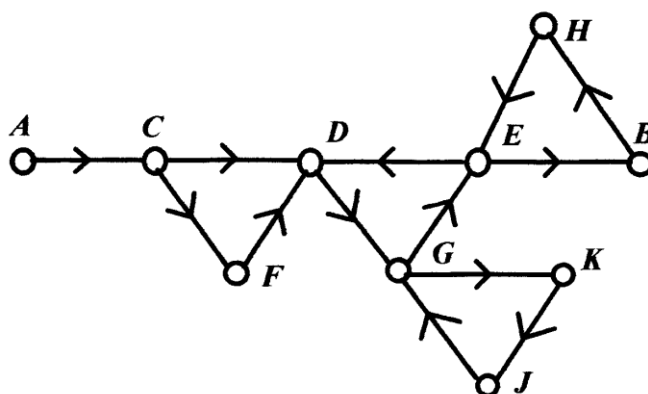


Рисунок 12 - Ориентированный граф

При определении таких последовательностей важно установить направление дуги. Мы можем перемещаться по дуге в соответствии с указанием стрелки. Так, на рис. 12 **ACDGEB** - элементарная последовательность дуг от **A** и **B**. Последовательность же **ACDEB** является недоступной, так как дуги **DE** не существует, а есть только дуга **ED**.

Последовательность дуг также можно делить на: элементарные, простые и не простые в зависимости от того, повторяется ли в них вершина или

ребро.

В ориентированном графе петли эквивалентны циклам. **Петлей называется последовательность дуг, начало и конец которой совпадают.** Петля считается определенной тогда, когда мы из начальной точки, пройдя через различные промежуточные вершины в указанном дугами направлении, возвратимся в исходную позицию.

Ориентированные графы могут содержать циклы, определяемые после удаления из графа направленности.

Концепция петли, введенная теорией графов, сравнима с понятием циркуляционного контура, используемого в технике. Например, отдельные аппараты можно рассматривать как вершины графа. Дуги, которые соединяют аппараты, определяют последовательность проведения технологических операций. Петля в таком графе определяет наличие циркуляционного контура (рецикла обрабатываемого продукта).

Геометрические особенности графа.

Граф представляет собой некоторую геометрическую фигуру. Принципы, которыми мы руководствуемся при его построении, отличаются от используемых в геометрии. Он не рассматривается в виде жесткой конструкции в своей плоскости. Более того, отрезки, соединяющие вершины, не обязательно должны быть прямыми.

Например, на рисунке 13 первые три ориентированные графа графически эквивалентны (изоморфны): каждый содержит три вершины и три соединяющие их в одной и той же последовательности дуги.

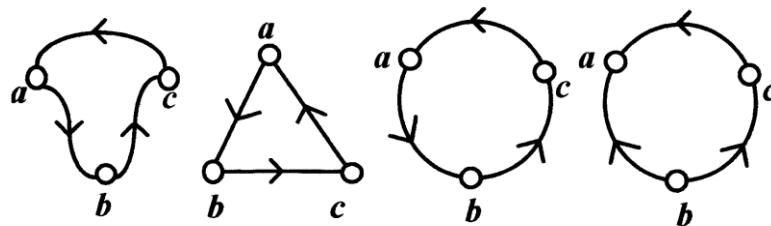


Рисунок 13 - Геометрические особенности графа

Их эквивалентность не зависит от того, как изображены дуги прямыми, круговыми или волнистыми линиями. Третий и четвертый ориентированные графы, состоящие из трех вершин, не являются эквивалентными (изоморфными) по теории графов. В одном из них можно передвигаться по петле в обратную сторону, а в другом - нельзя.

Связность. Важным свойством графов является их связность. **Говорят, что неориентированный граф связан, если существует хотя бы один путь между каждой парой вершин.** Ориентированный граф связан, если неориентированный граф, полученный из первого путем удаления ориентации дуг, является связным. Это свойство графов имеет большое значение для описания конструктивных схем машин и аппаратов, так как связность графов сле-

дует из самой природы описываемого объекта (машины или аппарата).

Планарность. Граф называется планарным, если он может быть начерчен на плоскости таким образом, что произвольные две дуги (ребра) не пересекаются друг с другом. Например, классическими не планарными графами являются графы, у которых каждая из вершин соединена со всеми другими, т.е. полные графы рисунок 14.

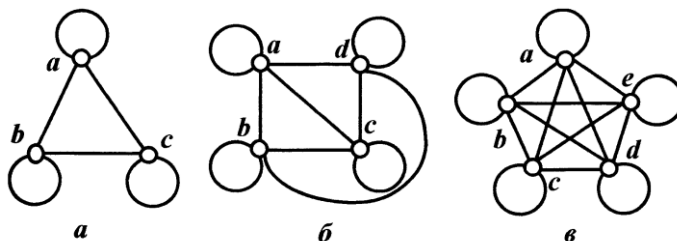


Рисунок 14 – Планарность графов

Первых два графа (рис. 14), содержащих три и четыре вершины, являются планарными. Полные графы с числом вершин более четырех - непланарные. В настоящее время нельзя достоверно утверждать, что граф конструктивной схемы аппарата или машины должен быть обязательно планарным.

Деревья. Дерево представляет собой граф, не содержащий циклов, что упрощает его структуру. Это обязательно связный граф, так как каждая вершина в нем завершает, по крайней мере, одно ребро, и не существует вершин, которые не завершали бы ребро. Вершина, у которой отсутствуют исходящие ребра, называется **изолированной**.

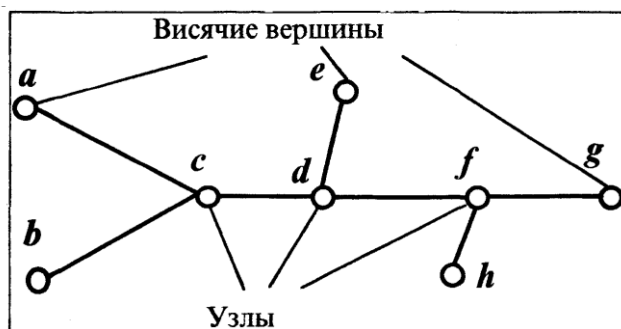


Рисунок 15 - Генерация дерева

Изолированная вершина в дерево входит не может. Более того, дерево с N вершинами обязательно включает N- 1 ребро.

Пример дерева показан на рисунке 15.

Причину наличия в дереве N-1 ребер можно выявить, рассмотрев процесс его построения. Начнем с простого дерева - единственной вершины. Добавляя к ней вершины, можно строить более сложные деревья. Всякий раз мы соединяем

новую вершину при помощи ребра с какой-либо другой, введенной ранее. Таким образом, на втором этапе у нас будет две вершины и соединяющее их ребро. Предположим, что мы построили дерево, изображенное на рис. 15. Добавим к нему вершину Н. Она является изолированной точкой. Чтобы эта вершина стала частью дерева, добавим ребро, соединяющее h с некоторой вершиной (на рис. 15 это ребро hf). Если попытаться ввести дополнительное ребро, соединяющее А с какой-либо другой вершиной, то образуется цикл.

Число ребер, которые оканчиваются в одной вершине, называется инцидентностью. В зависимости от инцидентности для дерева определяются два типа вершин (рис. 15):

- **висячая**, которая инцидентна только к одному ребру, она находится в подвешенном состоянии;
- **точка ветвления (узел)**, инцидентна по крайней мере, к двум ребрам.

Если в рассматриваемой структуре заменить ребра дугами, то получим ориентированный граф, который также является деревом. Этот граф более интересен, чем просто дерево, так как является средством представления иерархических структур.

В зависимости от направления дуги здесь различают два типа висячих вершин рисунок 16.

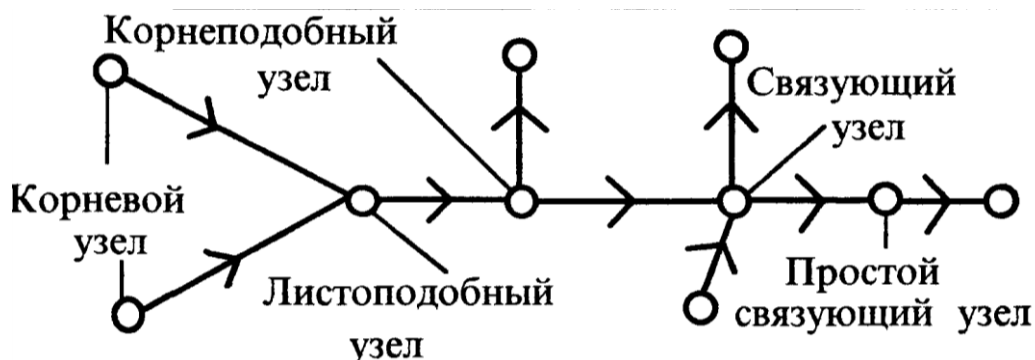


Рисунок 16 - Направленное дерево

- **корень**, который имеет одну или несколько исходящих дуг и ни одной входящей;

- **лист**, который имеет одну или несколько входящих дуг и ни одной исходящей.

Тип узла также определяется направлением связанных с ним дуг, и величиной инцидентности (рис. 16): **корнеподобный**, имеющий больше исходящих дуг, чем входящих; **листоподобный**, имеющий больше входящих дуг, чем исходящих; **связующий**, в котором число входящих дуг равно числу исходящих; **простой связующий** с одной входящей и одной исходящей дугами (инцидентность равна двум).

Практическая ценность древовидной структуры не вызывает сомнений. Примером такого графа может служить иерархическая структура химико-

технологического агрегата.

Алгебраическая форма представления графов.

Наиболее простым и наглядным способом представления графа на бумаге является графическое изображение точек и линий, что неприменимо в случае обработки информации с использованием ЭВМ. В ЭВМ граф должен быть представлен в алгебраической форме. Возможно несколько различных способов его представления в виде: матрицы смежности, матрицы инцидентности, матрицы весов, списка ребер и структуры смежности. Это свойство графа и делает его пригодным для описания конструктивной схемы аппарата или машины с использованием ЭВМ.

Для алгебраического задания графов удобно использовать следующие формы матричного представления графов.

Матрица смежности. Пусть задан некоторый граф, его матрица смежности обозначается через $|A| = [a_{ij}]$ определяется следующим образом:

$a_{ij} = 1$, если в графе существует дуга (x_i, x_j)

$a_{ij} = 0$, если в графе нет дуги (x_i, x_j)

Матрица смежности графа, рассмотренного нами ранее, имеет вид

$$|A| = \begin{array}{c|cccccccccc} & A & B & C & D & E & G & F & I & H & J \\ \hline A & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ D & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ E & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ G & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ F & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ J & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

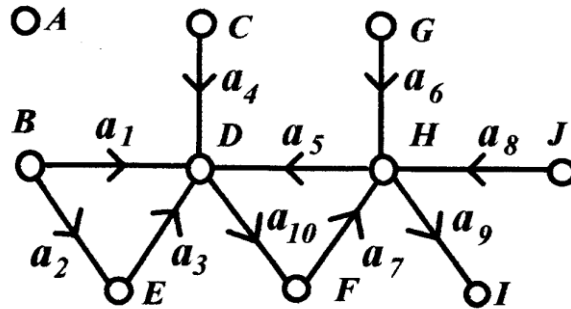
Матрица смежности полностью определяет структуру ориентированного графа. Вершина A в рассматриваемом графе является изолированной, и для нее как столбец, так и строка содержат только нули.

Для неориентированного графа (рис. 7) число элементов в матрице смежности возрастает в два раза, однако матрица становится симметричной относительно диагонали. В результате экономится почти половина объема памяти вычислительной машины при их анализе.

Матрица инцидентностей. Пусть задан граф с n вершинами и m дугами. Матрица инцидентностей графа обозначается через $|B| = [b_{ij}]$ и является матрицей размерности $n \times m$ определяется следующим образом:

$a_{ij} = 1$, если x_i является начальной вершиной дуги a_j ,
 $a_{ij} = -1$, если x_i является конечной вершиной дуги a_j ,
 $a_{ij} = 0$, если x_i не является конечной вершиной дуги или если a_j является петлей.

Для графа, приведенного на рис. 9, матрица инциденций имеет вид:



$$|B| = \begin{array}{c|cccccccccc}
 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 & a_8 & a_9 & a_{10} \\
 A & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 B & +1 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 C & 0 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 D & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 \\
 E & 0 & -1 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 F & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & -1 \\
 G & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 H & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & -1 & -1 & -1 & +1 & 0 \\
 I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 J & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0
 \end{array}$$

Поскольку каждая дуга инцидентна двум различным вершинам за исключением случая, когда дуга образует петлю, то каждый столбец либо содержит один элемент, равный +1, и один, равный -1, либо все элементы столбца равны 0. Если граф является неориентированным, то его матрица инциденций определяется так же, как и выше, за исключением случая, когда все элементы, равные -1, заменяются на +1.

Матрица весов. Граф, в котором каждому ребру a_{ij} поставлено в соответствие некоторое число w_{ij} , называется взвешенным графом, а число w_{ij} называется весом ребра a_{ij} . Например, в графах конструктивных схем аппаратов эти веса могут представлять некоторые физические величины, такие как линейные размеры отдельных элементов или их веса. Простой взвешенный граф может быть представлен своей матрицей весов $[W] = [w_{ij}]$. Где w_{ij} есть вес ребра, соединяющего вершины i и j . Веса несуществующих ребер полагаются равными нулю, и матрица весов является простым обобщением матрицы смежности.

Список ребер. Если граф является разреженным, т.е. содержит небольшое количество связей между вершинами, то возможно представлять граф парами вершин. Такой способ представления графа позволяет значительно эко-

номить память вычислительной машины.

Рассмотрим два множества:

$$G = (g_1, g_2, g_3, \dots, g_n),$$

$$H = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_n)$$

Каждый элемент в массиве есть обозначение (номер) вершины, а i -е ребро графа выходит из вершины g_i входит в вершину h_i . Например, рассмотренный нами ориентированный граф (рис. 8) может быть представлен следующим образом:

$$G = \{B, B, C, D, E, G, F, H, J, H\},$$

$$H = \{d, e, d, f, d, h, h, i, h, d\}.$$

Используя список ребер, легко представить петли и кратные ребра. Возможна численная оценка условий применимости способа описания графа. В качестве критерия может выступать плотность матрицы смежности. Однако для графов, используемых в практических целях, решающую роль может играть длина слова, применяемого для обозначения отдельной вершины.

Структуры смежности. В любом ориентированном графе вершина Y называется последователем другой вершины X , если существует дуга, направленная из X в Y . Вершина X называется тогда предшественником Y . В случае неориентированного графа две вершины называются соседями, если между ними есть ребро. Граф может быть описан его структурой смежности, т.е. списком всех последователей каждой из вершин, для которых они есть. Например, структура рассмотренного нами ориентированного графа рис. 8 такова:

Вершина	B	C	D	E	G	F	H	J
предшественник								
Вершина последователь	G,E	D	F	D	H	H	D,I	H

Для неориентированного графа число вершин предшественников будет равно общему числу вершин в графе и каждое ребро будет встречаться дважды.

Структуры смежности могут быть удобно реализованы массивом из n линейно связанных списков, где каждый список содержит последователи некоторой вершины. При этом поле данных содержит метку одного из последователей, и поле указателей указывает следующий последователь. Хранение списков смежности в виде связного списка желательно, если при обработке графа имеет место добавление или удаление вершины.

Во многих задачах выбор представления графа является решающим для достижения высокой эффективности их решения. С другой стороны, переход от одного представления к другому относительно прост и может быть выполнен за конечное число операций.

Приведенные способы алгебраического представления графов позво-

ляют непосредственно подойти к решению интересных для практики задач проектирования химико-технологических агрегатов.

Подведем итоги. Как следует из приведенных примеров, семантические сети и графы позволяют построить достаточно эффективный способ представления различных видов информации об объекте проектирования. Графы можно рассматривать как частный случай более сложных структур – семантических сетей. Их применение возможно только в том случае, если между различными объектами существует одно и то же отношение.

1.6 Применение потоковых графов

Аппарат или машину можно представить в виде функционально-структурной схемы. Для этого мы должны иметь функционально-структурную единицу (ФСЕ). Под ФСЕ понимается элемент конструкции с протекающими в нем элементарными процессами, рассматриваемыми во всем многообразии.

Отличие ФСЕ от агрегата в целом состоит в том, что она предназначена для выполнения одного из воздействий на обрабатываемую среду, необходимых для реализации некоторой технологической операции. Поэтому функционально-структурную единицу можно понимать как некоторую функциональную единицу ХТА. С другой стороны, для того чтобы реализовать технологическую операцию в целом, между отдельными ФСЕ должен осуществляться обмен количеством движения, энергией, массой, т.е. они должны образовывать некоторую структуру. Отсюда становится понятным введение понятия "функционально-структурная схема".

Согласно функционально-структурной схеме ХТА связь между физическими параметрами отдельных ФСЕ может быть установлена посредством уравнений теплового и материального балансов. В связи с этим в качестве промежуточного объекта проектирования можно рассматривать отдельные ФСЕ, для которых и записываются основные уравнения модели. Увязка данных уравнений в общую модель, записанную для ХТА в целом, возможна за счет уравнений баланса.

Окончательная компоновка ХТА с учетом рассчитанных геометрических параметров и конструктивных особенностей отдельных ФСЕ должна проводиться с использованием конструктивной схемы аппарата.

Однозначность построения схемы предполагает установление однозначной взаимосвязи между технологическими особенностями работы аппарата и техническими средствами, с помощью которых они реализуются. На стадии построения схемы может решаться задача как синтеза новой конструкции ХТА, согласно его функциональному назначению, так и создания методики расчета ХТА, согласно его конструктивной схеме. В последнем случае одной схемы недостаточно.

Решение данной задачи возможно путем уточнения возможных связей между отдельными ФСЕ. Можно различать следующие типы связей:

- за счет направленного движения обрабатываемой среды (конвективный перенос между ФСЕ);

- благодаря непосредственному подводу механической энергии к обрабатываемой среде;

- через общую теплообменную поверхность (кондуктивный перенос).

От структурной схемы можно перейти к построению потоковых графов для ХТА. В качестве вершин потокового графа выступают отдельные ФСЕ. Дуги отражают направление и величину потоков с учетом их внешних источников. Дугам присвоены веса, характеризующие основные технологические параметры соответствующих потоков. Для замыкания графа вводится нулевая вершина, играющая роль внешнего источника или стока вещества, энергии, количества движения. Исходя из потоковых графов, могут быть получены уравнения баланса как для аппарата в целом, так и для каждой из ФСЕ. Для последних могут быть определены параметры состояния обрабатываемых сред и значения входных и выходных потоков. Требование оптимальности, предъявляемое к величинам внутренних и внешних потоков, приводит к необходимости оптимизации структуры ХТА. Такая оптимизация должна обеспечить получение продукта требуемого качества, и ее осуществление возможно только с учетом особенностей процессов, протекающих в отдельных ФСЕ.

Увязка данных уравнений в общую модель, записанную для ХТА в целом, возможна за счет уравнений баланса.

Окончательная компоновка ХТА с учетом рассчитанных геометрических параметров и конструктивных особенностей отдельных ФСЕ должна проводиться с использованием конструктивной схемы аппарата.

Однозначность построения схемы предполагает установление однозначной взаимосвязи между технологическими особенностями работы аппарата и техническими средствами, с помощью которых они реализуются. На стадии построения схемы может решаться задача как синтеза новой конструкции ХТА, согласно его функциональному назначению, так и создания методики расчета ХТА, согласно его конструктивной схеме. В последнем случае одной схемы недостаточно.

Решение данной задачи возможно путем уточнения возможных связей между отдельными ФСЕ. Можно различать следующие типы связей:

- за счет направленного движения обрабатываемой среды (конвективный перенос между ФСЕ);

- благодаря непосредственному подводу механической энергии к обрабатываемой среде;

- через общую теплообменную поверхность (кондуктивный перенос).

От структурной схемы можно перейти к построению потоковых графов для ХТА. В качестве вершин потокового графа выступают отдельные ФСЕ. Дуги отражают направление и величину потоков с учетом их внешних источников. Дугам присвоены веса, характеризующие основные технологические параметры соответствующих потоков. Для замыкания графа вводится нулевая вершина, играющая роль внешнего источника или стока вещества, энергии, количества движения. Исходя из потоковых графов, могут быть получены уравнения баланса как для аппарата в целом, так и для каждой из

ФСЕ. Для последних могут быть определены параметры состояния обрабатываемых сред и значения входных и выходных потоков. Требование оптимальности, предъявляемое к величинам внутренних и внешних потоков, приводит к необходимости оптимизации структуры ХТА. Такая оптимизация должна обеспечить получение продукта требуемого качества, и ее осуществление возможно только с учетом особенностей процессов, протекающих в отдельных ФСЕ.

Рассмотрим ряд конструкций аппаратов для проведения различных технологических процессов в дисперсных системах жидкость-твердое тело. Каждый из этих аппаратов может быть представлен некоторой совокупностью ФСБ с учетом предложенной в предыдущем разделе их классификации.

Теплообменник. В качестве первого примера рассмотрим теплообменный аппарат типа "труба в трубе". В простом случае он может состоять из одной ФСБ (см. рис.17).

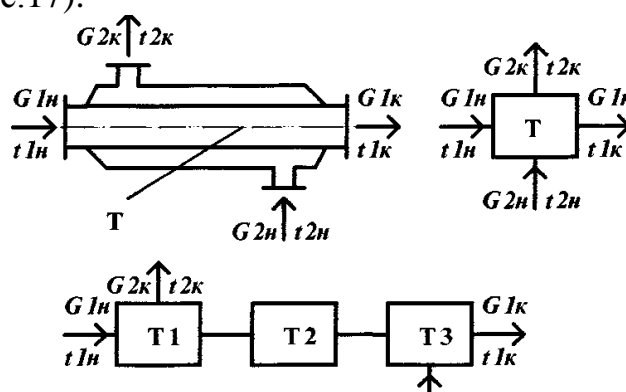


Рисунок 17 - Теплообменник и его функционально-структурная схема
 T, T1, T2, T3 - ФСЕ теплообмена

При значительном перепаде температур по длине аппарата физические свойства теплоносителей претерпевают значительные изменения и модель с сосредоточенными параметрами становится не применимой. В этом случае теплообменник необходимо представить состоящим из ряда ФСБ, для каждой из которых может быть применима модель с сосредоточенными параметрами (рис.17).

Практическая польза функционально-структурной схемы, в первую очередь, состоит в возможности построения потоковых графов и на их основе расчета тепловых и материальных балансов как для отдельных ФСБ, так и для аппарата в целом. Вершинами потокового графа будут отдельные ФСБ.

Дуги будут отражать направление и величину потоков вещества и энергии с учетом их внешних источников. Дугам также могут быть присвоены веса, характеризующие основные технологические параметры соответствующих потоков. Для замыкания графа вводится нулевая вершина, играющая роль внешнего источника или стока вещества, энергии.

Используя известные методы анализа сложных химико-технологических систем, исходя из потоковых графов, можно получить уравнения теплового

и материального балансов как для аппарата в целом, так и для каждой из ФСБ. Для последних могут быть определены также оптимальные значения входных и выходных потоков. Таким образом, осуществляется переход от смысловой части модели к аналитической.

Потоковый граф для теплообменника, состоящего из трех ФСБ, представлен на рис. 18.

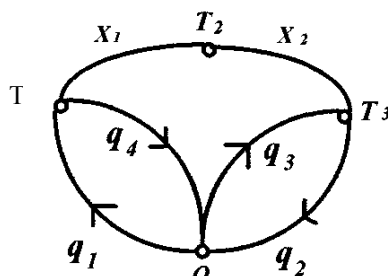


Рисунок 18 - Граф потоков теплоты для теплообменного аппарата, состоящего из трех ФСБ

Вершины отражают отдельные ФСБ, дуги - соответствующие потоки теплоты. Нулевая вершина характеризует работу аппарата в целом и является внешним источником и стоком тепловой энергии. Нам известны следующие потоки:

$$q_1 = (G_{тс})_{1н}; \quad q_2 = (G_{тс})_{1к}; \quad q_3 = (G_{тс})_{2н}; \quad q_4 = (G_{тс})_{2к}.$$

В потоковом графе рис. 18 существуют две дуги, для которых величины на и направление потоков первоначально неизвестны и могут быть определены только после проведения вычислений.

Представим потоковый граф в виде матрицы инцидентий. Будем считать, что граф взвешенный и веса отдельных дуг численно равны потокам теплоты. Для расчета последних необходимо знать теплоемкости теплоносителей, которые зависят от температуры. Матрица инцидентий будет иметь вид:

$$Q = \begin{array}{c|cccccc} T_1 & q_1 & 0 & 0 & -q_4 & x_1 & 0 \\ T_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & x_2 \\ T_3 & 0 & -q_2 & q_3 & 0 & 0 & x_2 \\ O & -q_1 & q_2 & -q_3 & q_4 & 0 & 0 \end{array}$$

На основе построенной матрицы можно получить уравнения теплового баланса как для аппарата в целом, так и для отдельных ФСБ. Для этого необходимо просуммировать потоки в соответствующей строке с учетом их знаков:

$$\begin{aligned}
 q_1 - q_4 + x_1 &= 0, \\
 x_1 + x_2 &= 0, \\
 -q_2 + q_3 + x_2 &= 0, \\
 -q_1 + q_2 - q_3 + q_4 &= 0.
 \end{aligned}$$

Дальнейший анализ системы зависит от того, какие из потоков заданы и что необходимо определить. Бесспорным является лишь возможность однозначного перехода от потокового графа к системе алгебраических уравнений, решение которой не представляет принципиальных трудностей.

Сгуститель.

В процессе эксплуатации сгустителя (рис. 19) исходная суспензия поступает в трубу 2, установленную на крышке 1, и через нее попадает в его центр. Жидкая фаза движется к переливу и отводится из сборника 3, а дисперсные частицы осаждаются на дно и выводятся через нижний штуцер.

Сгуститель можно представить состоящим из четырех ФСБ, которые обеспечивают: подвод исходной суспензии (Ц,1), непосредственно сгущение (С), разделение сплошной и дисперсной фаз (Р), отбор сплошной фазы (Ц,2). Название указанных ФСБ соответствует их целевому назначению. Характер движения суспензии в аппарате определяет взаимосвязь между ФСЕ.

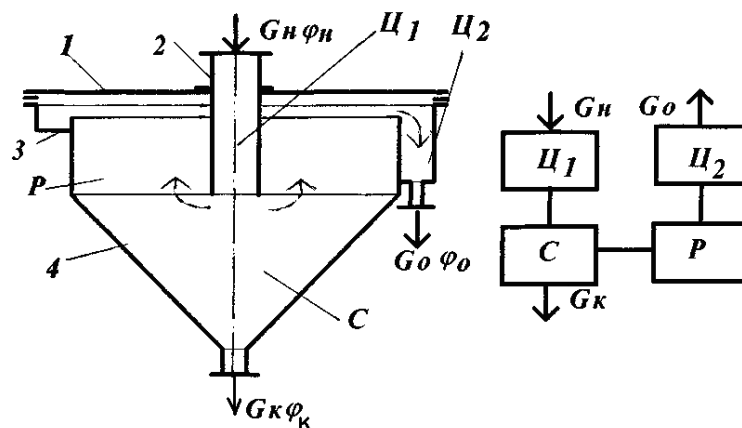


Рисунок 19 - Сгуститель и его функционально-структурная схема

Ц₁, Ц₂ - ФСЕ циркуляции; Р - ФСЕ разделения; С - ФСБ сгущения; 1 - крышка; 2 - труба; 3 - сборник; 4 - корпус

Порядок анализа данного аппарата ничем не отличается от предыдущего. Рассмотрим потоки массы дисперсной фазы и построим соответствующий им потоковый граф (рис.20).

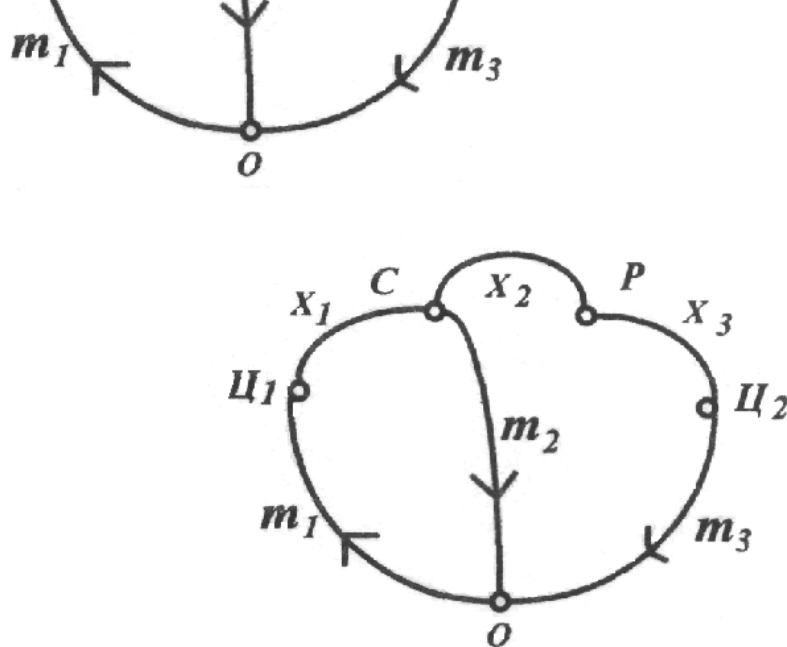


Рисунок 20 - Граф потоков массы для классификатора

Сплошная фаза как таковая нас не интересует: она выполняет лишь вспомогательную функцию. Имеют место следующие известные потоки массы дисперсной фазы:

$$m_1 = G_n \varphi_n; \quad m_2 = G_k \varphi_k; \quad m_3 = G_o \varphi_o;$$

Согласно рис 20 три потока в графе неизвестны. По требованиям технологии (p_0 должна быть равна нулю. При столь простой конструкции сгустителя разделение сплошной и дисперсной фаз происходит в поле действия сил тяжести и достичь высокой эффективности работы аппарата, не представляется возможным. Для составления уравнений материального баланса, как и в предыдущем случае, построим матрицу инцидентий графа

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Ц}_1 & \text{C} & \text{P} & \text{Ц}_2 & \text{O} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{Ц}_1 \\ \text{C} \\ \text{P} \\ \text{Ц}_2 \\ \text{O} \end{matrix} & \begin{vmatrix} m_1 & 0 & 0 & x_1 & 0 & 0 \\ 0 & -m_2 & 0 & x_1 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_2 & x_3 \\ 0 & 0 & -m_3 & 0 & 0 & x_3 \\ -m_1 & m_2 & m_3 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

Согласно матрице инцидентий можно записать следующую систему уравнений материального баланса:

$$\begin{aligned} m_1 + x_1 &= 0, \\ -m_2 + x_1 + x_2 &= 0, \\ x_2 + x_3 &= 0, \\ -m_3 + x_3 &= 0, \\ -m_1 + m_2 + m_3 &= 0. \end{aligned}$$

Возможно также построить граф для совместных потоков массы сплош-

ной и дисперсной фаз.

Классификатор

Классификатор (рисунок 21) предназначен для разделения по размерам дисперсных частиц, содержащихся в потоке жидкости (сплошной фазе). Исходная суспензия через трубу 7, установленную на крышке 2, поступает в зону классификации (корпус 4). Чистая жидкость подается в зону классификации через распределитель 5. Мелкий дисперсный продукт отводится из сборника 3, а крупный - из днища 6 через штуцер. Из-за того, что процесс происходит в поле действия сил тяжести, аппарат не обладает высокой эффективностью классификации.

Аппарат можно представить состоящим из семи связанных между собой ФСБ. Направленная подача исходной суспензии осуществляется через Π_1 и чистой жидкости - через Π_2 . Отбор суспензии, содержащей мелкий дисперсный продукт, - через Π_3 . Для повышения объемного содержания крупнокристаллического продукта используется ФСЕ сгущения C_2 . Классификация дисперсных частиц по размерам осуществляется в восходящем потоке жидкости (К). При этом перед подачей на классификацию исходная суспензия сгущается (C_1). Для исключения попадания крупных дисперсных частиц в мелкий продукт используется ФСЕ разделения (Р).

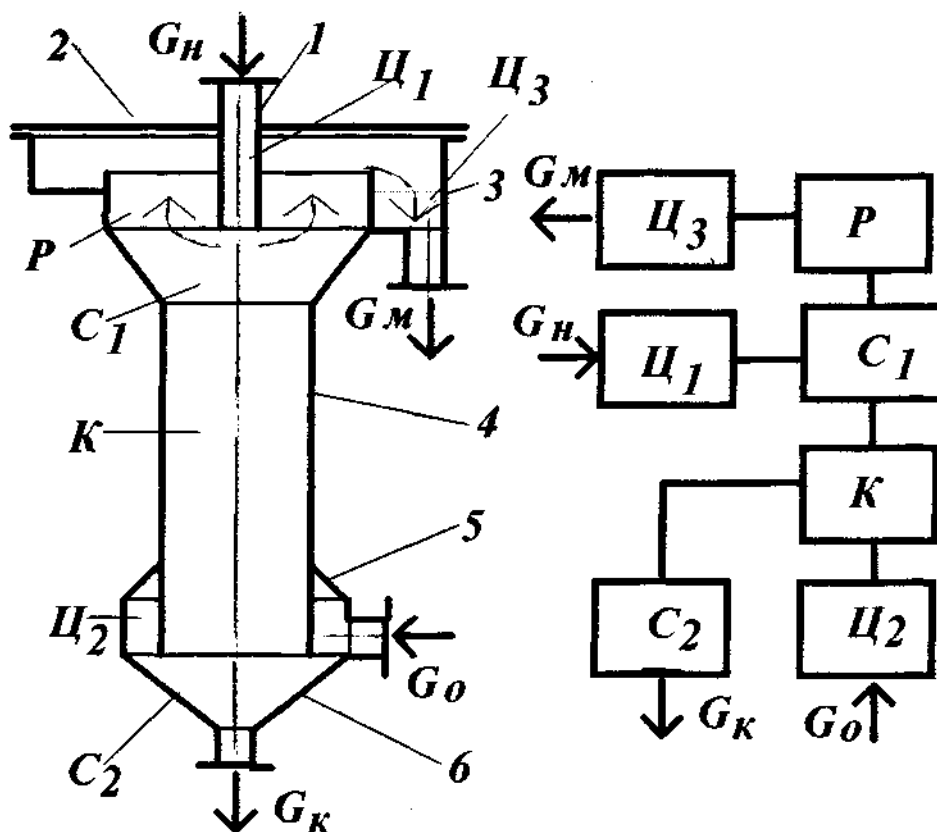


Рисунок 21 - Классификатор и его функционально-структурная схема
 Π_1, Π_2, Π_3 - ФСЕ циркуляции; Р - ФСЕ разделения;
 C_1, C_2 - ФСЕ сгущения; К - классификации;

1 - труба; 2 - крышка; 3 - сборник; 4 - корпус; 5 - распределитель;
6 - днище

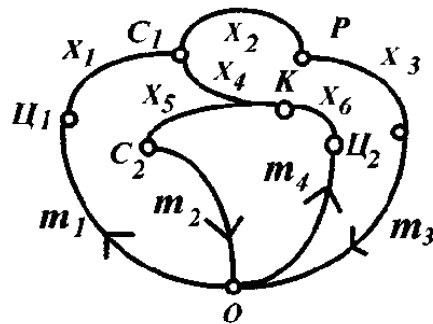


Рисунок 22 - Граф потоков массы для классификатора

В классификаторе имеет место деление исходных дисперсных частиц полифракционного состава на две фракции. Можно записать следующие потоки

$$m_1 = G_n \varphi_n; \quad m_2 = G_k \varphi_k; \quad m_3 = G_m \varphi_m; \quad m_4 = G_o;$$

Тогда уравнение материального баланса для аппарата в целом будет иметь следующий вид:

$$-m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 0$$

При его записи мы просуммировали потоки, поступающие в аппарат и покидающие аппарат, в целом. Точно так же мы можем поступить, суммируя потоки, поступающие и покидающие каждую из вершин потокового графа рис. 22. Если тот или иной поток нам неизвестен, то он берется со знаком плюс. Предполагается, что его величина и направление будут определены в процессе вычислений. Исходная система уравнений материального баланса запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} m_1 + x_1 &= 0, \\ -m_2 + x_5 &= 0, \\ -m_3 + x_3 &= 0, \\ m_4 + x_6 &= 0, \\ x_1 + x_4 + x_2 &= 0, \\ x_2 + x_3 &= 0, \\ x_4 + x_5 + x_6 &= 0. \end{aligned}$$

После простых алгебраических преобразований с учетом равенства нулю потока m_4 получим:

$$x_1 = -m_1; \quad x_2 = -m_3; \quad x_3 = m_3; \quad x_4 = -m_2; \quad x_5 = m_2; \quad x_6 = 0$$

Для выполнения дальнейших расчетов необходимо уточнить, какие из величин, входящих в выражения для потоков, нам известны.

Аппарат растворения

Аппарат растворения (рис. 23) предназначен для растворения дисперсного материала, не содержащего нерастворимых примесей. Процесс проводится во взвешенном слое дисперсных частиц, который формируется в цилиндрической части корпуса аппарата 4. Кристаллический продукт, подлежащий растворению, поступает в аппарат через трубу 2, установленную на крышке 1. Жидкость, в которой растворяется кристаллический продукт, подается через штуцер в днище 6 и распределяется по сечению аппарата с помощью решетки 5. Приготовленный раствор выводится из сборника 3. Для исключения попадания кристаллического продукта на выгрузку в верхней части корпуса имеется расширение.

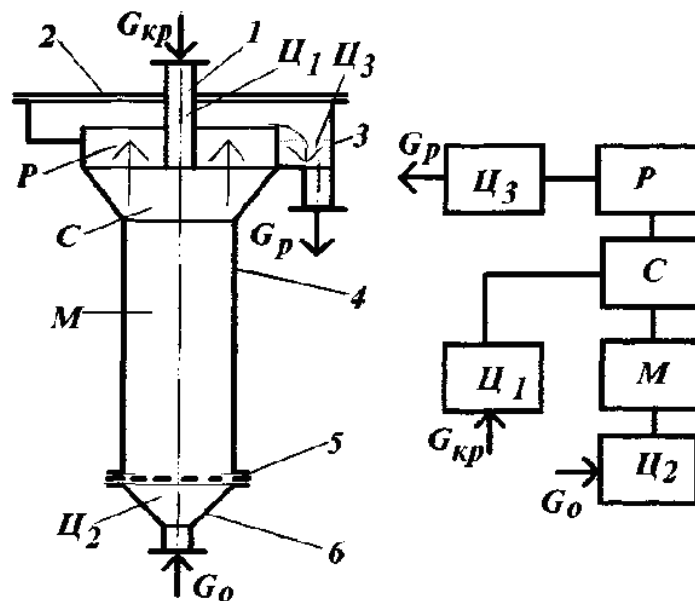


Рисунок 23 - Аппарат для растворения и его функционально-структурная схема

Ц1, Ц2, Ц3 - ФСЕ циркуляции; P - ФСЕ разделения;
C - ФСЕ сгущения; M - ФСЕ массообмена;

1 - крышка; 2 - труба; 3 - сборник; 4 - корпус; 5 - решетка;
6 - днище

Для описания функционально-структурной схемы можно также использовать семантические сети. Например, для рассматриваемого нами аппарата растворения (рис.23) справедлива следующая семантическая сеть:

$$\begin{aligned}
& \langle \text{'Аппарат растворения' , } \emptyset, Ц_1, Ц_2, Ц_3, P, C, M, \rangle \otimes \\
& \langle \emptyset, r_o, Ц_1, C \rangle \otimes \langle \emptyset, r_o, P, C \rangle \otimes \langle \emptyset, r_o, M, C \rangle \otimes \\
& \langle \emptyset, r_o, Ц_2, M \rangle \otimes \langle \emptyset, r_o, Ц_3, P \rangle \otimes \\
& \langle \emptyset, \text{'Аппарат растворения' , } A_v, A_w \rangle \otimes \\
& \langle \emptyset, Ц_1, G_{кр}, x_1 \rangle \otimes \langle \emptyset, Ц_2, G_{oc}, x_2 \rangle \otimes \langle \emptyset, Ц_3, x_5, G_{pcp} \rangle \otimes \\
& \langle \emptyset, M, x_2, x_3 \rangle \otimes \langle \emptyset, c, x_3, x_4, x_1 \rangle \otimes \langle \emptyset, P, x_4, x_5 \rangle.
\end{aligned}$$

В приведенном примере в качестве отношения используется отношение простой связи. Первый кортеж отражает структуру аппарата, т.е. показывает, из каких ФСЕ он состоит с учетом их конструктивных особенностей. ФСЕ Ц₁ предназначена для подачи твердой фазы в нужную точку аппарата. Подвод растворителя осуществляется через Ц₂, которая обеспечивает его равномерное распределение по сечению ФСЕ массообмена М. Унос твердой фазы из аппарата исключается за счет наличия ФСЕ сгущения С и разделения Р. Пять последующих кортежей устанавливают взаимосвязь между отдельными ФСЕ. Седьмой кортеж описывает соответствие между входами и выходами (А_в, А_в) для аппарата в целом. Остальные пять кортежей указывают на связь между входными и выходными потоками для отдельных ФСТ. Под (А_в, А_в) могут пониматься значения конкретных технологических параметров: расходов, концентраций, температур.

Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией.

Выпарной аппарат (рис. 24) предназначен для проведения процесса выпаривания растворов (удаления части растворителя) с образованием твердой фазы (кристаллов). Процесс проводится при направленной циркуляции суспензии в аппарате. Наличие направленной циркуляции позволяет разделить такие процессы, как нагрев суспензии в теплообменнике 4 и удаление части растворителя в испарителе 7. Исходный раствор поступает непосредственно на вход насоса 5, что позволяет обеспечить его эффективное смешение с циркулирующей суспензией. Насос 5 необходим также для создания направленной циркуляции. Этой же цели служат трубы 3 и 6. Для исключения уноса капель растворителя вместе с паром применяется отбойник 2, установленный на крышке 1.

Аппарат можно представить состоящим из семи связанных между собой ФСЕ (рис. 24). Исходный раствор подается в ФСЕ смешения СМ. Проходя через ФСЕ теплообмена Т, он нагревается, и проходя через ФСЕ циркуляции Ц₁, поступает в ФСЕ испарения И. Часть растворителя в виде пара удаляется через ФСЕ разделения Р. Суспензия, проходя через функционально-структурные единицы сгущения С и циркуляции Ц₂, попадает в ФСЕ подвода механической энергии Э. Поскольку насос принадлежит двум ФСЕ, обеспечивается замкнутая циркуляция суспензии в аппарате.

При анализе процесса выпаривания растворов должны рассматриваться уравнения как теплового, так и материального балансов, которые могут быть составлены на основе соответствующих потоковых графов. Для примера на рис. 24 изображен потоковый граф для теплоты, определены следующие внешние по отношению к аппарату потоки:

$$q_1 = (G_1 t_c)_H; \quad q_2 = (G_1 t_c)_K; \quad q_3 = (G t c)_H; \quad q_4 = (G t c)_M + (G \phi t c)_K; \quad q_5 = G_w R.$$

Пятый поток учитывает теплоту парообразования R . Для остальных семи потоков величина и направление первоначально неизвестны и могут быть определены только после проведения вычислений.

Представим потоковый граф в виде матрицы инцидентий. Будем считать, что граф взвешенный и веса отдельных дуг численно равны потокам теплоты.

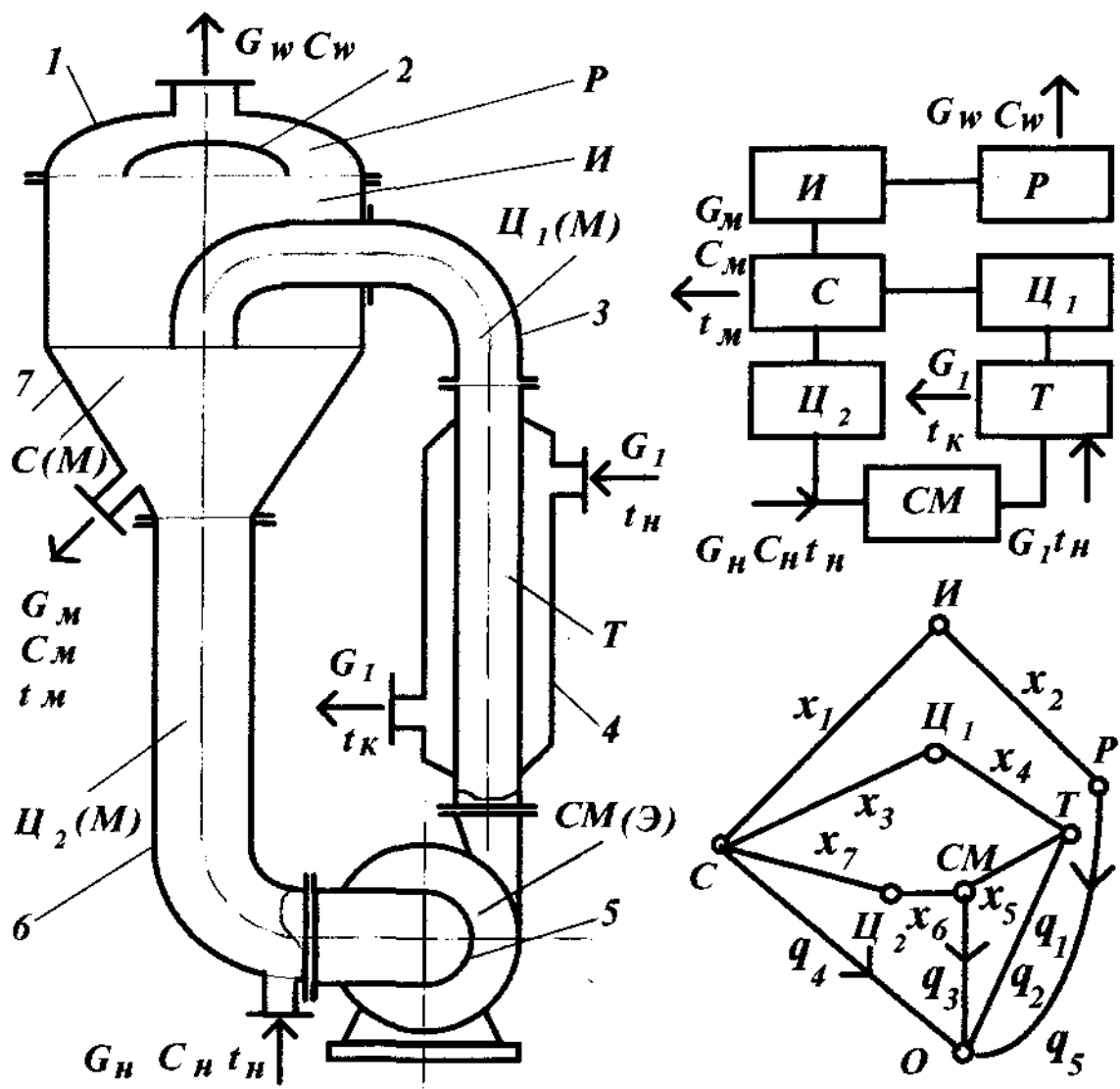


Рисунок 24 - Выпарной аппарат и его функционально-структурная схема:
 И - ФСЕ испарения; Р - ФСЕ разделения; С - ФСЕ сгущения; СМ - ФСЕ смешения; Т - ФСЕ теплообмена; Ц}, Ц - ФСЕ циркуляции;
 М - ФСЕ массообмена; Э - ФСЕ подвода энергии;

1 - крышка; 2 - отбойник; 3 - труба; 4 - теплообменник;
5 - насос; 6 - труба; 7- испаритель

Матрица инцидентий будет иметь следующий вид:

$$Q = \begin{array}{l} T \\ Ц_1 \\ Ц_2 \\ СМ \\ С \\ И \\ Р \\ О \end{array} \left| \begin{array}{cccccccccccc} q_1 & -q_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_4 & x_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_3 & x_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_6 & x_7 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_5 & x_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -q_4 & 0 & x_1 & 0 & x_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & x_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -q_5 & 0 & x_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -q_1 & q_2 & -q_3 & q_4 & q_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right|$$

На основе построенной матрицы можно получить уравнения теплового баланса как для аппарата в целом, так и для отдельных ФСЕ. Для этого необходимо просуммировать потоки с учетом их знаков в строке, соответствующей некоторой ФСЕ:

$$\begin{aligned} q_1 - q_2 + x_4 + x_5 &= 0; \\ x_3 + x_4 &= 0; \\ x_6 + x_7 &= 0; \\ q_3 + x_5 + x_6 &= 0; \\ -q_4 + x_1 + x_3 + x_7 &= 0; \\ x_1 + x_2 &= 0; \\ -q_5 + x_2 &= 0; \\ -q_1 + q_2 - q_3 + q_4 + q_5 &= 0. \end{aligned}$$

Составление уравнений материального баланса ничем не отличаются от рассмотренных ранее примеров.

2. Функциональный подход к описанию работы химико-технологического агрегата.

2.1 Техническая система

Всякий объект, в том числе и химической техники, имеет присущую ему внутреннюю структуру. При этом структура объекта есть система признаков - это условия, наличие которых необходимо и достаточно для его описания создания и существования. Признак - предмет, отношение, свойство, которые можно выделить из объекта проектирования в результате анализа на

более низшем по отношению к нему самому уровне. Система признаков позволяет представить объект как единое целое. В этом проявляется основное свойство объекта, которое заключается в том, что он может быть представлен в виде системы:

- структурно входящей в более общую систему.
- являющейся самостоятельной,
- имеющей свою собственную внутреннюю структуру.

При проектировании всегда имеется возможность выделить некоторый объект, предмет проектирования и исследовать его как конкретное цельное образование, вникнуть в его структуру, то есть установить его состав и строение.

Техническая система - абстрактное отражение комплекса взаимодействующих объектов, обеспечивающих преобразование массы, энергии и информации. В определении технической системы учитывается ее назначение или направленность. При таком подходе техническая система отражает свойства любых сложных объектов, которые имеют внутреннюю структуру и в которых реализуются преобразующие действия.

Технические объекты представляются довольно сложными системами, в которых существуют самые различные связи между отдельными ее элементами (объектами).

Сложность технических объектов иногда связывают с их многоуровневой структурой. Иерархическими называются системы, имеющие многоуровневую структуру, когда наблюдаются различия в степени детализации отдельных подсистем объекта. Как показала практика, большинство недоразумений, неудач и непредвиденных последствий в технике, и не только в ней, объясняется завышенной оценкой значимости формального установления иерархии в технических системах. С другой стороны, иерархия объективно существует и должна учитываться при их описании. Иерархические системы весьма разнообразны. Различают иерархические системы агрегации и иерархические системы обобщения. Первые отражают детализацию технических систем, вторые - их классификацию.

В случае иерархии обобщения вышестоящий по уровню объект является обобщением некоторого класса объектов. Он выступает в качестве имени данного класса. На рисунке 25 представлен фрагмент иерархии обобщения оборудования химических производств.

На каждом уровне обобщения более общий объект соответствует некоторому конкретному (отношение типа "или"). Рисунок 25 позволяет определить местоположение аппарата с механическим перемешивающим устройством среди остального оборудования. Понятие "оборудование" является обобщающим для всех остальных понятий, в том числе и для понятия "аппараты". В промышленности различают колонные, вертикальные и горизонтальные аппараты. В каждом из этих типов аппаратов может осуществляться принудительное перемешивание обрабатываемой среды. На рис.25 представлены некоторые из возможных способов перемешивания.



Рисунок 25 - Фрагмент иерархии обобщения оборудования химических производств

Нас интересует перемешивание за счет подвода механической энергии. Такие аппараты могут, как иметь внутренние устройства, так и не иметь их, что в полной мере относится и к другим типам аппаратов.

При анализе оборудования химических производств трудно построить строгую иерархию. Одно и то же понятие может принадлежать различным обобщающим понятиям более высокого уровня, что характерно для любых технических объектов. При аналитическом описании таких структур необходимо использовать транзитивные графы. Пример построения иерархии агрегации рассмотрен ниже.

Определяет ли число элементов и связей между ними сложность системы? Действительно, можно ли такую систему считать сложной? Например, не вызывает сомнения, что экономическая система, язык, на котором мы разговариваем, атомный реактор, химическое производство являются сложными системами, тогда как железнодорожный мост, имеющий большое число однотипных элементов конструкции, не может быть отнесен к сложным системам, поскольку его функционирование однозначно и строго связано с целевым назначением.

Из этих примеров следует важный вывод: правильнее говорить о сложном функционировании, нежели о сложных системах. Описание закономерностей функционирования технических систем предполагает установление взаимосвязи между входными и выходными потоками массы, энергии и информации, т. е. раскрытие преобразований, происходящих в системе.

Согласно определению преобразования могут быть массовыми, энергетическими, информационными. Понятие преобразования является частью более общего понятия - отношения. Построение технической системы для некоторого объекта прежде всего основывается на последовательном установлении отношений между образующими ее элементами, а также между вхо-

дами и выходами для этих элементов.

При построении технических систем необходимо различать отношения преобразования и отношения связи (косвенной или прямой). В свою очередь, отношения преобразования можно разделить на отношения переработки и перемещения. Дальнейшая классификация отношений должна проводиться исходя из технологического и функционального назначения объекта (элемента технической системы).

Таким образом, техническая система представляет собой комплекс элементов (объектов), реализующих необходимые отношения преобразования и отношения связи. Понятия части и целого в этом случае составляют существенную методологическую проблему. Различные виды связей приводят к различным техническим объектам. С системной точки зрения газопровод, соединяющий калорифер и сушилку, оказывается столь же самостоятельным и значимым техническим объектом, как и сам химико-технологический агрегат суши.

Сформулируем определение технической системы с использованием понятий семантических сетей. Факт существования некоторого объекта и выполняемые им функции (рис. 26) могут быть записаны следующим образом: $(d_{ан}, r, a_v, a_w)$

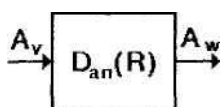


Рисунок 26 - Определение аппарата как технического объекта

Аппарат $D_{ан}$ предназначен для реализации отношения R между входными A_v и выходными A_w потоками (объектами) для проведения некоторого технологического процесса.

Аппарат как техническая система состоит из нескольких самостоятельных объектов рисунок 27.

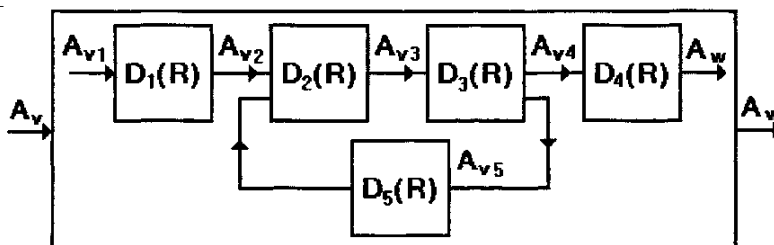


Рисунок 27 - Структура технической системы

Каждый объект имеет хотя бы одну определенную функцию и определенное конструктивное исполнение. Применительно к химической технике в качестве такого объекта может выступать функционально-структурная еди-

ница (ФСЕ). Под ФСЕ понимается элемент конструкции с протекающими в нем физико-химическими процессами, рассматриваемыми во всем многообразии.

Отдельная ФСЕ, как любая система, осуществляет функционирование в соответствии с заданными отношениями преобразования R_i при одновременном существовании отношений связи R_0 (ноль означает отсутствие преобразований).

Согласно рисунку 27 объект D_{an} не является чем-то целым и отношение R также реализуется посредством набора более простых отношений R_i ; (преобразований). Возможно записать следующую семантическую сеть

$$\begin{aligned}
 & (d_{an}, \emptyset, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5) \otimes \\
 & (d_1, r_1, a_{v1}, a_{w1}) \otimes (d_2, r_2, a_{v2}, a_{w2}) \otimes \\
 & (d_3, r_3, a_{v3}, a_{w3}) \otimes (d_4, r_4, a_{v4}, a_{w4}) \otimes (d_5, r_5, a_{v5}, a_{w5}) \otimes \\
 & (\emptyset, r_0, a_{v1}, a_{w1}) \otimes (\emptyset, r_0, a_{v2}, a_{w1}, a_{w5}) \otimes (\emptyset, r_0, a_{v3}, a_{w2}) \otimes (\emptyset, r_0, a_{v4}, a_{w3}) \\
 & \otimes (\emptyset, r_0, a_{v5}, a_{w3}) \otimes (\emptyset, r_0, a_{w4}, a_{w4}).
 \end{aligned}$$

В представленной семантической сети описаны структура и известные нам свойства технической системы (рис. 27). Показано, что:

- объект D_{an} состоит из ФСЕ с D_1 по D_5 (первый кортеж);
- каждая ФСЕ D_i осуществляет преобразование входного потока A_{vi} , в выходной поток A_{wi} (со второго по шестой кортеж);
- между отдельными ФСЕ существуют отношения связи R_0 , которые устанавливают соответствие между входными A_{vi} и выходными A_{wi} потоками (с седьмого по двенадцатый кортеж).

Мы не делали различия между входами и выходами для массовых, энергетических и информационных потоков. Для нас важно показать, как может быть описана структура объекта проектирования в рамках системных представлений. Естественно, что любая формализация направлена на автоматизацию процесса проектирования. Применение семантических сетей для описания принципов функционирования также связано с решением важной задачи проектирования - с синтезом новых проектных решений.

В качестве первого примера представим аппарат с механическим перемешивающим устройством в виде технической системы. Аппарат предназначен для проведения процесса химического превращения, протекающего с выделением теплоты. Для обеспечения нормальной работы аппарата необходимо поддерживать постоянный уровень и температуру обрабатываемой среды, а также обеспечить контроль за интенсивностью перемешивания.

Первый анализ требований к будущему аппарату показывает, что он должен иметь три подсистемы (рис. 28):

- подсистему, обеспечивающую проведение процесса химического превращения $D_m(R_m)$, т.е. преобразования массы;
- подсистему преобразования энергии $D_e(R_e)$, как электрической, так и тепловой; подсистему преобразования информации $D_s(R_s)$.

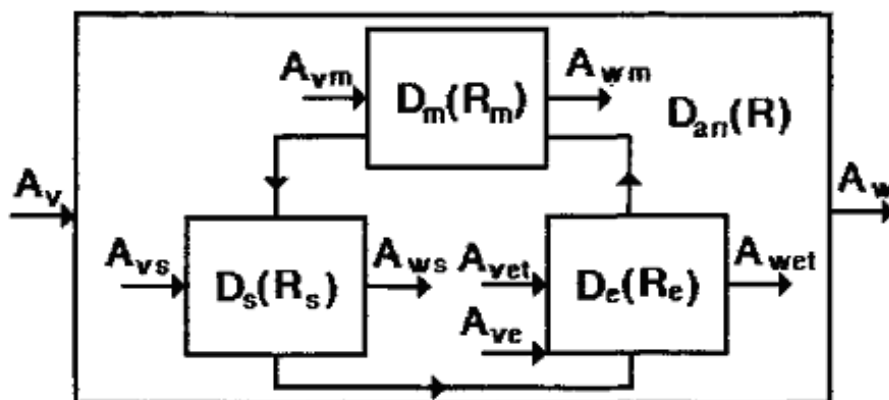


Рисунок 28 - Три подсистемы для аппарата с механическим перемешивающим устройством

Каждая из подсистем имеет свои входные и выходные потоки. Для подсистемы D_m это соответственно A_{vm} и A_{wm} . Подсистема преобразования энергии имеет два входных потока: поток электрической энергии A_{ve} и поток тепловой энергии A_{vet} . На выходе только один поток тепловой энергии A_{wet} . Подсистема D_s также имеет вход A_{vs} и выход A_{ws} .

Представление технической системы рисунок 28 в виде семантической сети будет иметь следующий вид:

$$(d_{ап}, \emptyset, d_m, d_e, d_s) \otimes$$

$$(a_v, \emptyset, a_m, a_e, a_{ef}, a_s,) \otimes (a_w, \emptyset, a_{wm}, a_{we}, a_{ws}) \otimes$$

$$(d_m, r_m, a_m, a_{wm}) \otimes (d_e, r_e, a_e, a_{ef}, a_{wt}) \otimes (d_s, r_s, a_s, a_{ws}) \otimes$$

$$(\emptyset, r_0, d_s, d_e) \otimes (\emptyset, r_0, d_e, d_m) \otimes (\emptyset, r_0, d_m, d_s).$$

Записанное выражение отражает следующие известные нам факты:

- аппарат как техническая система состоит из трех подсистем D_m, D_e, D_s (первый кортеж);
- вход в систему A_v и выход из системы A_w также делятся выделенным подсистемам (второй и третий кортежи);
- каждая из подсистем является самостоятельным объектом и осуществляет преобразование входного потока в выходной R_m, R_e, R_s (с четвертого по шестой кортежи);
- между отдельными подсистемами осуществляется связь R_0 , которая отражена в трех последних кортежах.

Дальнейшее уточнение изучаемой нами технической системы предполагает раскрытие структуры отдельных подсистем. Раскрытие структуры в рамках принятого подхода связано с выделением новых ФСЕ. В нашем случае для подсистемы преобразования массы такие ФСЕ не могут быть выделены. Процесс химического превращения протекает в рабочем объеме аппарата, в котором обеспечиваются условия полного смешения.

В информационной подсистеме можно выделить следующие функционально-структурные единицы:

- датчики для замера температуры в аппарате и теплообменном устройстве D_{s8} , датчик уровня обрабатываемой среды в аппарате D_{s7} , датчик замера мощности, потребляемой электродвигателем D_{s6} , реализующие отношение преобразования физических измерений в электрический сигнал R_{s8} , R_{s7} , R_{s6} ;

- устройства связи датчиков с системой управления D_{s2} , D_{s3} , D_{s4} , D_{s5} , реализующие отношения связи R_0 ;

- непосредственно система автоматизированного управления D_{s1} предназначена для анализа поступающей в нее информации и принятия решений по управлению, реализует отношение преобразования R_{s1} .

Связи между объектами информационной подсистемы показаны на рис. 29. Она может быть представлена в виде семантической сети следующим образом:

$$\begin{aligned} & \langle d_{s1}, \emptyset, d_{s1}, d_{s2}, d_{s3}, d_{s4}, d_{s5}, d_{s6}, d_{s7}, d_{s8}, d_{s9} \rangle \otimes \\ & \langle d_{s1}, r_{s1}, a_{vs}, a_{v2}, a_{v3}, a_{v4}, a_{v5}, a_{ws}, a_{ws1}, a_{ws2} \rangle \otimes \\ & \langle d_{s2}, r_{s0}, a_{v6}, a_{w21} \rangle \otimes \langle d_{s3}, r_{s0}, a_{v7}, a_{w31} \rangle \otimes \langle d_{s4}, r_{s0}, a_{v8}, a_{w41} \rangle \otimes \\ & \langle d_{s5}, r_{s0}, a_{v8}, a_{w51} \rangle \otimes \langle d_{s6}, r_{s6}, a_{ve6}, a_{w62} \rangle \otimes \langle d_{s7}, r_{s7}, a_{vm}, a_{w73} \rangle \otimes \\ & \langle d_{s8}, r_{s8}, a_{vm}, a_{w84} \rangle \otimes \langle d_{s9}, r_{s8}, a_{ve7}, a_{w85} \rangle. \end{aligned}$$

В данном выражении кортежи со второго по десятый помимо назначения ФСЕ отражают взаимосвязь между ними посредством увязки входных и выходных потоков. Отпадает необходимость в записи дополнительных кортежей, устанавливающих отношения связи.

В энергетической подсистеме происходит преобразование энергии двух видов: электрической и тепловой, что нашло отражение в ее структуре. Можно выделить следующие объекты:

- электродвигатель D_{e6} обеспечивает преобразование электрической энергии в механическую R_{e6}

- теплообменное устройство D_{e9} обеспечивает передачу теплоты от об

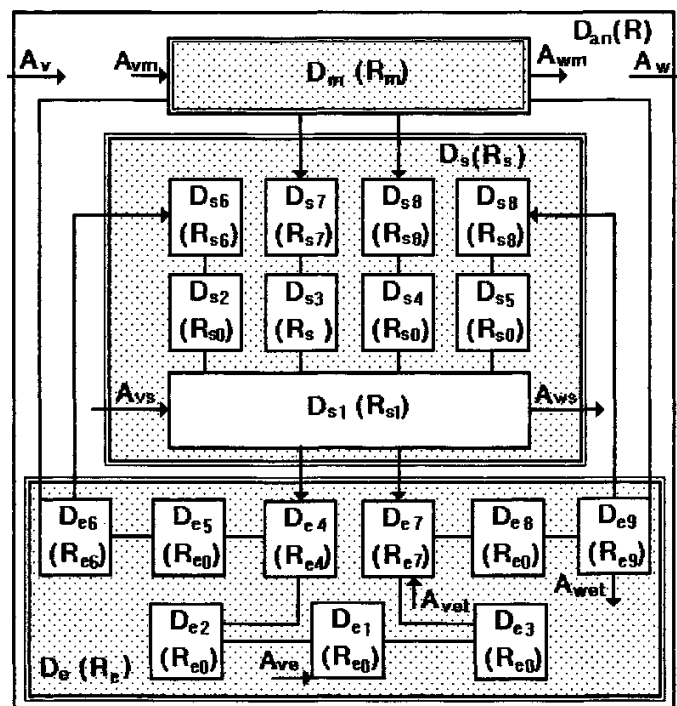


Рисунок 29 - Структура энергетической и информационной подсистем для аппарата с механическим перемешивающим устройством

разрабатываемой среды (реакционной массы) к хладагенту и реализует разновидность отношения преобразования - отношение передачи теплоты - ФСЕ D_{e4} и D_{e7} управляют работой всей технической системы: первый - пускатель, осуществляет пуск ХТА R_{e4} , второй - клапан с электрическим приводом, открывает подачу хладагента в теплообменное устройство R_{e7} . Оба ФСЕ реализуют сложные отношения преобразования ; - ФСЕ D_{e1} , D_{e2} , D_{e3} , D_{e5} реализуют отношения связи в энергетической подсистеме и обеспечивают передачу электрической энергии, D_{e8} обеспечивает подачу теплоносителя в теплообменное устройство. Семантическая сеть для энергетической подсистемы будет иметь следующий вид:

$$\langle d_e, \emptyset, d_{e1}, d_{e2}, d_{e3}, d_{e4}, d_{e5}, d_{e6}, d_{e7}, d_{e8}, d_{e9} \rangle \otimes$$

$$\langle d_{e1}, r_{e0}, a_{r1}, a_{w12}, a_{w13} \rangle \otimes \langle d_{e2}, r_{e0}, a_{r1}, a_{w24} \rangle \otimes \langle d_{e3}, r_{e0}, a_{r1}, a_{w27} \rangle \otimes$$

$$\langle d_{e4}, r_{e4}, a_{r31}, a_{w4}, a_{w45} \rangle \otimes \langle d_{e5}, r_{e0}, a_{r5}, a_{w56} \rangle \otimes \langle d_{e6}, r_{e6}, a_{r6}, a_{w6} \rangle \otimes$$

$$\langle d_{e7}, r_{e7}, a_{r7}, a_{w7}, a_{w78} \rangle \otimes \langle d_{e8}, r_{e0}, a_{r8}, a_{w89} \rangle \otimes \langle d_{e9}, r_{e9}, a_{r9}, a_{w98}, a_{w99} \rangle.$$

Содержание представленного выражения полностью соответствует рис. 1.29 и не требует дополнительных пояснений. На этом предварительное описание работы аппарата с механическим перемешивающим устройством можно считать законченным.

Дальнейшее уточнение закономерностей функционирования технической системы (рис. 29) связано с раскрытием структуры отдельных ФСЕ, входящих в ее подсистемы, т.е. с выделением нового уровня иерархии.

Рассмотрим в качестве **второго примера** ХТА дробления дисперсных материалов, в котором предусмотрен предварительный рассев исходного материала с целью отделения товарной фракции и последующего ее смешения с продуктом помола. Агрегат снабжен магнитным датчиком для предотвращения попадания металлических предметов в дробилку.

Для представления ХТА дробления в качестве технической системы необходимо раскрыть содержание трех основных подсистем, которые в данном примере отдельно не выделяются. Они представлены на общей схеме (рис. 30).

Подсистема преобразования массы (D_m) включает следующие функционально-структурные единицы (технические средства):

- сито (грохот) D_{m1} реализует отношение R_{m1} предварительного отсева исходного дисперсного материала (отношение переработки);

- транспортер с магнитным датчиком D_{m2} осуществляет транспорт материала (отношение перемещения R_{m21}) и контролирует содержание металла в материале (реализует отношение преобразования R_{m22})

- мельница D_{m3} для измельчения отсеянного на сите D_{m1} материала (реализует отношение переработки Y_{m3});

- транспортер D_{m4} , позволяющий соединить (смешать) продукты отсева и дробления (реализует отношение переработки R_{m4}).

Перечисленные объекты связаны между собой (см. рис. 30).

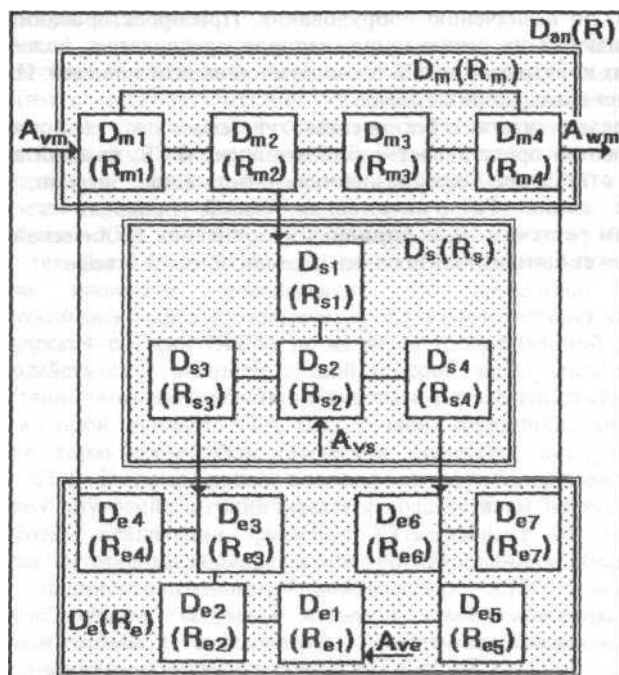


Рисунок 30 - Представление ХТЛ дробления в виде технической системы

Данная подсистема имеет вход массы A_{vm} и ее выход A_{wm} и может быть представлена в виде следующей семантической сети:

$$\begin{aligned} & \langle d_m, \emptyset, d_{m1}, d_{m2}, d_{m3}, d_{m4} \rangle \otimes \\ & \langle d_{m1}, r_{m1}, a_{vm}, a_{ve4}, a_{w12}, a_{w14} \rangle \otimes \\ & \langle d_{m2}, r_{m2}, a_{v21}, a_{w23}, a_{ws1} \rangle \otimes \\ & \langle d_{m3}, r_{m3}, a_{v32}, a_{ve7}, a_{w34} \rangle \otimes \\ & \langle d_{m4}, r_{m4}, a_{v43}, a_{v41}, a_{wm} \rangle. \end{aligned}$$

Сеть помимо целевого назначения ФСЕ, входящих в подсистему, учитывает и взаимодействие между ними, а также связь с другими подсистемами.

Дробилка также включает технические средства подвода и преобразования энергии, которые образуют энергетическую подсистему:

электромеханические приводы D_{e4} и D_{e7} осуществляют преобразование электрической энергии в механическую (реализуют отношение переработки R_{e4}):

- выключатели электродвигателей D_{e3} , D_{e6} предназначены для их запуска и остановки при поступлении соответствующего сигнала от информационной подсистемы (реализуют отношение переработки R_{e3});

- средства, подводящие электрическую энергию, D_{e1}, D_{e2}, D_{e3} (реализуют отношение связи R_{e0}).

Энергетическая подсистема как совокупность взаимосвязанных объектов может быть представлена в виде следующей семантической сети:

$$\begin{aligned} & \langle d_e, \emptyset, d_{e1}, d_{e2}, d_{e3}, d_{e4}, d_{e5}, d_{e6}, d_{e7} \rangle \otimes \\ & \langle d_{e1}, r_{e0}, a_{ve}, a_{w12}, a_{w13}, \rangle \otimes \langle d_{e2}, r_{e0}, a_{v21}, a_{w23} \rangle \otimes \\ & \langle d_{e3}, r_{e3}, a_{v32}, a_{vs3}, a_{w34} \rangle \otimes \langle d_{e4}, r_{e4}, a_{v43}, a_{wm1} \rangle \otimes \\ & \langle d_{e5}, r_{e0}, a_{v25}, a_{w56} \rangle \otimes \langle d_{e6}, r_{e3}, a_{v65}, a_{vs4}, a_{w67} \rangle \otimes \\ & \langle d_{e7}, r_{e4}, a_{v76}, a_{wm3} \rangle. \end{aligned}$$

Согласно содержанию семантической сети подводимая к дробилке энергия A_{ve} распределяется между ситом A_{wm1} и мельницей A_{wm3} . Несомненно, энергию потребляют и все остальные объекты агрегата. В том числе и информационная подсистема, которая включает:

- устройство дистанционного управления и автоматического отключения электромеханических приводов D_{s2} , которое реализует отношение переработки информации (R_{s2}), электропроводка D_{s1}, D_{s3}, D_{s4} , обеспечивающая передачу информации как в рамках данной подсистемы, так и между различными подсистемами (реализует отношение связи R_{s0}).

ФСЕ управления между собой связаны и при описании информационной подсистемы образуют единую семантическую сеть:

$$\begin{aligned} & \langle d_s, \emptyset, d_{s1}, d_{s2}, d_{s3}, d_{s4} \rangle \otimes \\ & \langle d_{s1}, r_{m1}, a_{vm2}, a_{w12}, \rangle \otimes \\ & \langle d_{s2}, r_{s2}, a_{v21}, a_v, a_{w23}, a_{w24} \rangle \otimes \\ & \langle d_{s3}, r_{s0}, a_{v32}, a_{ve3} \rangle \otimes \\ & \langle d_{s4}, r_{s0}, a_{v42}, a_{we6} \rangle. \end{aligned}$$

Внешними по отношению к данной подсистеме являются входной поток информации для всей системы A_{vs} , входной поток со стороны подсистемы переработки массы A_{vm2} и два выходных потока, управляющих работой энергетической подсистемы A_{we3} и A_{we6} . Благодаря увязке входных и выходных потоков для трех подсистем образуется единое описание технической системы, представленной на рис. 30.

В приведенных примерах понятие технической системы было рассмотрено в самом общем виде для описания основ функционирования различного по назначению оборудования. При проектировании требуется гораз-

до большая их детализация, которая предполагает более детальное описание их конструктивных и технологических особенностей. Именно этим мы займемся в следующих главах.

Подведем итоги. Техническая система как свойство объекта проектирования представляет собой комплекс ФСЕ, каждый из которых реализует отношение преобразования информации, энергии, массы или отношение связи. Различные виды связей приводят к различным техническим системам. Для формального описания технической системы с успехом может быть использован язык семантических сетей.

3 Химико-технологический агрегат - объект системного анализа

3.1 Обоснование выбора объекта проектирования

Опыт, накопленный в области машиностроения, показывает, что коренная перестройка химического производства должна быть направлена на создание высокоавтоматизированных и способных к адаптации в условиях конкретного технологического процесса технических средств (машин и аппаратов). Однако он не может быть механически использован в рассматриваемом нами случае.

Бесспорными являются следующие положения:

-создание новых технических средств в химической технологии должно опираться на последние достижения науки;

-эффективное использование последних достижений науки в практике возможно только при обоснованном выборе объекта научных исследований.

В нашем случае объект проектирования или объект научных исследований опирается на два начала:

-химическую технологию как основу получения химических продуктов необходимого качества с заданными потребительскими свойствами;

-технологию химического машиностроения как основу создания технических средств, которые позволяют реализовать конкретную технологическую операцию.

Объектом, в полной мере отвечающим этим двум началам, может стать химико-технологический агрегат (ХТА). Почему именно такое название? Химико-технологический - указывает на принадлежность объекта проектирования к химической технологии. Агрегат - указывает на его принадлежность к химическому машиностроению и, в отличие от отдельных машин и аппаратов, имеет комплексный характер. Выбор ХТА в качестве объекта проектирования требует более детального обоснования.

Рассмотрим ХТА как систему, основные признаки которой относятся к области техники. Под ХТА как технической системой понимается совокупность процессов, протекающих при проведении отдельной технологической операции, и технических средств для их осуществления.

Техническая система (ХТА) не является изолированной, поскольку она взаимодействует с внешней средой (сферой эксплуатации). В этом взаимодействии проявляются функции системы, т.е. степень достижения той цели, для которой данный ХТА был создан. Функциональный аспект определяется характером технологической операции, которую должен выполнять ХТА.

Потенциальные возможности функционирования ХТА, присущие ему внутренне, ограничиваются воздействием на него внешней среды. Степень реализации функций ХТА зависит от уровня его совершенства, которое закладывается при проектировании и обеспечивается в сфере машиностроительного производства. ХТА - это реальный материальный объект, который является самостоятельным машиностроительным изделием, включающий отдельные аппараты, машины, вспомогательное оборудование, приборы КИП и А СУТП.

С этих позиций целесообразно рассмотреть ХТА в трех сферах его существования: в сфере проектирования; изготовления; эксплуатации и утилизации.

Каждая из них достаточно независимо выдвигает свои требования к ХТА. Техническое совершенство ХТА задается требованиями химического производства (сферы эксплуатации), определяется уровнем сферы его производства и закладывается при проектировании. Посредством ХТА как бы осуществляется связь между химическим и машиностроительным производствами через проектирование.

Сфера проектирования. Будущее технического объекта закладывается при его проектировании и предопределяется сочетанием трех показателей: эффективности, стоимости и времени.

Эффективность. Понятие "эффективность", как правило, связывается с понятием "технологической операции" как системы действий, объединенных единым замыслом и направленных на достижение определенной цели. Тогда под эффективностью технологической операции можно понимать степень ее приближения к выполнению стоящей перед ней задачи. Понятие эффективности технологической операции можно отождествлять с понятием эффективности технического объекта. Достижение определенной цели объектом проектирования связано с сопоставлением необходимого технологического эффекта с полученным.

Достигнутая на практике эффективность зависит от того, как успешно при проектировании будут увязаны стоимостные и временные показатели.

Стоимость, конечный эффект от использования объекта существенно зависит от вложенных в него денежных средств (ресурсов). В зависимости от конкретных условий могут рассматриваться показатели стоимости:

- проектирования,
- создания,
- эксплуатации в течение заданного периода.

Соотношение между стоимостью разработки, создания и эксплуатации зависит от конкретных условий изготовления и принятых проектных

решений. Денежные средства, затраченные на проектирование и создание технического объекта, должны соизмеряться с его эффективностью на стадии эксплуатации.

Время. Так как проектные решения оказывают влияние на сроки проектирования, то для анализа важны временные показатели. В качестве таких показателей могут выступать:

- время изготовления объекта,
- время монтажа и запуска объекта,
- гарантийный срок его эксплуатации.

Чем меньше время проектирования и запуска технического объекта, тем быстрее могут быть возвращены средства, затраченные на его создание.

Показатели объекта проектирования эффективность - стоимость - время взаимосвязаны.

Сфера изготовления.

Совокупность свойств, обеспечивающих качество технического объекта, создается сферой его производства. Выпуск оборудования включает техническую подготовку производства и непосредственно изготовление.

Наиболее существенными факторами технической подготовки производства, определяющими достижимый на начало производства уровень технического объекта, являются следующие:

- общий уровень развития науки и техники, как в сфере производства, так и в сфере его эксплуатации;
- потенциал развития технологических принципов, на которых основывается создание данного типа технического объекта;
- наличие (или отсутствие) ранее разработанных и выпускаемых моделей данного типоразмера;
- наличие (или отсутствие) типоразмерного ряда выпускаемых технических объектов;
- наличие (или отсутствие) унифицированных элементов, использование которых возможно в выпускаемом техническом объекте.

Каждая из них достаточно независимо выдвигает свои требования к ХТА. Техническое совершенство ХТА задается требованиями химического производства, (сферы эксплуатации), определяется уровнем сферы его производства и закладывается при проектировании. Посредством ХТА как бы осуществляется связь между химическим и машиностроительным производствами через проектирование.

Сфера эксплуатации. Химико-технологический агрегат можно рассматривать как средство труда, участвующее в производственном процессе. Он объединяет три основных элемента: средства труда, труд человека, предметы труда. Взаимодействие этих элементов и есть производственный процесс, особенности которого вытекают из его назначения. Различают

основные и вспомогательные производственные процессы.

Основные производственные процессы - это те, в результате которых предмет труда превращается в конечную продукцию с необходимыми потребительскими свойствами. При этом предмет труда участвует в нескольких технологических операциях, выполняемых отдельными ХТА, которые образуют производство. Структура и содержание производства зависит от характера взаимодействия, с одной стороны, основного производственного процесса, с другой - свойств сырья и требований к готовому продукту.

К вспомогательным процессам обычно относят получение различных видов энергии для нужд основного производства, регенерацию и рекуперацию отходов производства, изготовление технологической оснастки, ремонт средств труда.

Важным является анализ взаимодействия отдельного ХТА с другими элементами производственного процесса. При этом можно выделить две задачи, решение которых позволит определить:

- наиболее эффективные условия применения уже созданного ХТА;
- требования сферы эксплуатации к вновь создаваемым ХТА.

В первом случае ХТА выступает в сфере эксплуатации как конкретный объект с определенной совокупностью свойств, достигнутых в сфере производства. Степень реализации этих свойств зависит от его соответствия другим элементам производственного процесса, а именно:

- соответствие предмета (объекта) труда свойствам ХТА;
- соответствие форм организации производственного процесса свойствам ХТА;
- соответствие свойств отдельно взятого ХТА свойствам других ХТА единого производственного процесса;
- соответствие свойств ХТА уровню квалификации и подготовленности обслуживающего персонала.

Чем выше степень соответствия сферы эксплуатации ХТА и его свойств, тем выше уровень эффективности использования как отдельного ХТА, так и производственного процесса в целом. При избыточных для данного производственного процесса исходных свойствах ХТА он не может быть использован в полной мере, что приводит к излишнему удорожанию выпускаемой продукции. При недостаточных исходных свойствах ХТА наблюдается нарушение нормального хода производственного процесса и ухудшение качества выпускаемой продукции.

Во втором случае при выборе объекта проектирования необходимо обеспечить такие его свойства, без которых невозможна его эффективная эксплуатация в самых различных производственных процессах. Объект проектирования должен:

- включать необходимые технические средства для осуществления некоторой технологической операции;
- иметь возможность адаптироваться в условиях конкретного производственного процесса, т.е. выбирать такие параметры работы, при которых обеспечиваются оптимальные условия обработки предмета труда и

получение необходимых его качественных показателей в рамках отдельных технологических операций;

-обеспечивать по возможности комплексное использование и полную рекуперацию внешних и внутренних материальных и энергетических ресурсов (воздуха, воды, хладагента, теплоты реакции или фазового превращения и т. д.).

В полной мере перечисленным требованиям может отвечать только ХТА. Данные требования не зависят от характера конкретной технологической операции, для выполнения которой создается технический объект.

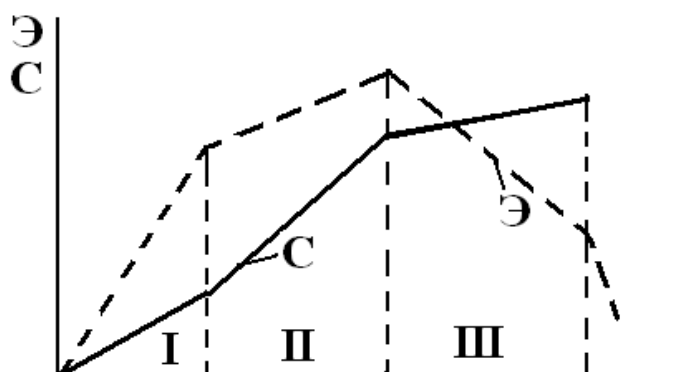


Рисунок 31 – Затраты на аппарат

Э - эффективность аппарата (эффективность падает т. к. происходит износ оборудования)

С - стоимость эксплуатации в течение заданного периода времени

I - стадия проектирования

II - стадия изготовления

III - срок гарантированной эксплуатации

Показатели объекта проектирования **эффективность - стоимость - время** взаимосвязаны. Сразу после изготовления, испытания и пуска в эксплуатацию объект обладает наивысшей эффективностью и основные стоимостные затраты уже сделаны. К окончанию периода эксплуатации эффективность снижается до некоторого допустимого уровня при незначительном росте стоимости. Изменение эффективности объекта, с одной стороны, определяется изменением условий его применения, с другой - заложенными в нем проектными решениями.

3.2 Особенности химической техники

Есть отставание по сравнению с развитием других отраслей. Хорошо известно, что самолетостроение, ракетостроение, кораблестроение развивались значительно быстрее, чем химическое машиностроение. Если бы темпы совершенствования самолетов были те же, что и для химической техники, мы едва

ли еще смогли бы летать на поршневых самолетах времен пятидесятых годов. Отставание химической техники по темпам развития (совершенствования) было связано с недооценкой важности перерабатывающих отраслей промышленности, отсюда - слабым финансированием, стремлением приобрести наиболее сложное оборудование за рубежом в ущерб созданию отечественного.

Никакое направление техники не может существовать самостоятельно, различные по назначению направления тесно связаны. Успехи в одной области техники, несомненно, становятся достоянием других ее областей. Например, разработанные для авиации и ракетостроения композиционные материалы находят применение в других отраслях промышленности, в том числе и химической. С другой стороны, любой технический объект является композицией большого числа элементов конструкции, используемых в различных областях техники. Например, барабанный вакуум-фильтр непрерывного действия со сходящим полотном имеет электродвигатель, редуктор, вакуумное оборудование, датчики уровня и т. д. Каждый из перечисленных элементов конструкции применяется в самолетостроении, ракетостроении, кораблестроении и т. д. Это должно было способствовать развитию химического машиностроения. Однако разработки передовых отраслей, как правило, являлись секретными и дорогостоящими и не находили широкого распространения в перерабатывающих отраслях промышленности.

Сформулируем объективно существующие, на наш взгляд, особенности химической техники:

1. Узкая направленность. Она вызвана строгим соответствием между машиной или аппаратом и характером проводимого в них технологического процесса.

Большое многообразие технологических процессов не позволяет сократить число

объектов химической техники. Из-за большого многообразия свойств перерабатываемых материалов, требования к готовой продукции для проведения конкретной

технологической операции также используются самые различные машины и аппараты. Например, различают более десяти конструкций выпускаемых промышленно вакуумных фильтров. Необдуманые попытки расширить область приме

нения одних типов аппаратов за счет сокращения выпуска других к положительным результатам не привели. Преодолеть данное противоречие возможно путем создания новых высокоэффективных технических средств с использованием достижения передовых отраслей техники. Например, речь может идти о применении квантовых генераторов непрерывного действия для обеспечения селективного протекания реакции в газовых, а возможно и жидких, средах без применения

селективных дорогостоящих катализаторов.

2. Потребность оборудования в дополнительной оснастке для успешного за

пуска в эксплуатацию химической техники. Данная особенность связана с отсут-

ствием у изготовителей информации о специфике химического производства, где должен найти применение будущий аппарат или машина, и узкой специализацией машиностроительных заводов. Например, часто отсутствуют вспомогательные емкости, запорная арматура на линиях подачи перерабатываемых и вспомогательных материалов, дополнительные фильтры и т.д. Для их непосредственного включения в конструкцию машины или аппарата требуются небольшие дополнительные затраты если использовать внутренние ресурсы конструкции. Например, вспомогательные емкости могут выполнять функции опор, в качестве корпуса запорной арматуры может быть использован элемент корпуса аппарата, дополнительные фильтры могут быть установлены в патрубках и т. д. Машины и аппараты, выпускаемые для переработки пищевых продуктов во многом лишены данного недостатка.

3. Отсутствие технических средств настройки у аппарата или машины на параметры проведения конкретного технологического процесса без переналадки технических средств путем замены отдельных элементов конструкции. Например, аппараты с механическим перемешивающим устройством обладают высокой универсальностью, но нет возможности их настройки исходя из требований конкретного технологического процесса без замены типа мешалки, изменения частоты вращения, конструкции внутренних устройств.

Данная особенность во многом связана с узкой направленностью выпускаемого оборудования. Необходимо создать новые технические средства, способные адаптироваться к условиям проведения конкретного технологического процесса. Такая адаптация возможна благодаря разработке универсальных рабочих органов, например, вальцов в валковых машинах, или рабочие органы должны иметь возможность менять свои геометрические размеры и форму при настройке на проведение конкретного технологического процесса. Например, в процессе приготовления хозяйственных паст самого различного назначения их вязкость меняется в очень широком диапазоне и для поддержания постоянной интенсивности перемешивания желательно менять размеры и форму перемешивающего устройства. В химической технологии, аналогичные проблемы встречаются довольно часто.

4. Отсутствие контроля за исправностью техники в процессе эксплуатации и отсутствие возможности устранения неисправности без остановки технологического процесса. При эксплуатации технических объектов возможен выход из строя отдельных элементов конструкции из-за разной степени их надежности, что может привести к аварии. Например, нарушилось соединение мешалки и вала аппарата с механическим перемешивающим устройством. Мешалка осталась на валу, но во вращения не приводится. Для выявления

контролировать вращение вала и мощность, потребляемую электродвигателем. Одного выявления неисправности недостаточно, необходимо иметь возможность ее устранить на некоторый конечный период времени до плановой остановки производства. Наиболее распространенным приемом повышения надежности технических объектов является резервирование основных элементов конструкции. Например, аппарат может быть снабжен двумя перемешива-

ными устройствами. При выходе из строя одной мешалки включается другая. Переход с одного перемешивающего устройства на другое может сказаться полезным и с позиций повышения эффективности проведения технологической операции в целом, если они имеют различные размеры и конструкцию.

5. Большие различия по типам и размерам от самых маленьких до аппаратов на уровне уникальных инженерных сооружений (например, колонные аппараты различного назначения). Данная особенность связана с тем, что существующий уровень развития науки не позволяет создать единые элементы конструкции, применимые для всех типов и размеров аппаратов. Даже использование одних и тех же конструктивных решений не всегда возможно из-за отсутствия надежных методик их расчета и, в первую очередь, сложностей масштабного перехода.

6. Разнообразие перерабатываемых материалов от самых распространенных - воды и воздуха - до уникальных и сверхтоксичных - например, отравляющих веществ при уничтожении химических боеприпасов. Это обуславливает: не однозначность выбора типа аппарата или машины для обработки создаваемого впервые материала из-за сложности определения его свойств, потенциальную возможность катастрофических последствий в случае аварий. Именно от правильного определения свойств исходных и конечных продуктов во многом зависит качество проектных разработок. Например, включение в конструкцию литьевых машин технических средств измерения вязкости перерабатываемого материала позволит повысить их производительность и во многом стабилизировать качество выпускаемых изделий.

7. Трудность в контроле и управлении оборудованием

Необходимо добиться рационального сочетания средств измерения и регулирования с конструкцией самого аппарата. Элементы конструкции могут являться частью системы измерения и регулирования. Например, встроенные расходомеры, клапаны, регуляторы уровня, термомпары в качестве перегородок в аппарате с механическим перемешивающим устройством. Необходимые замеры должны проводиться в местах, наиболее ответственных за эффективность работы машины или аппарата.

8. Сложность использования средств интенсификации процессов.

Они остаются недостаточно надежны и эффективны. Отсутствуют обоснованные рекомендации по их практическому применению. Сами по себе известные средства интенсификации, основанные на применении различных по природе физических полей, или их сочетания не могут достичь ожидаемого эффекта. Предварительно необходимо обеспечить в аппарате определенный гидродинамический режим, параметры которого зависят от используемого способа интенсификации. Например, применение ультразвука наиболее рационально в аппаратах колонного типа сравнительно небольшой длины для обработки кон-

денсированных сред, движущихся с относительно небольшими скоростями.

К важным внешним факторам, сдерживавшим развитие химического машиностроения, и в том числе средств интенсификации процессов, можно отнести:

Неправильное определение эффективного срока эксплуатации оборудования. Он слишком длителен, что приводит к утяжелению и удорожанию оборудования. Затрудняется использование передовых конструктивных материалов, методов их обработки. Сокращение нормативного срока эксплуатации оборудования позволит ускорить техническое обновление химических производств, и будет способ-

ствовать повышению их эффективности. Срок эксплуатации должен зависеть от типа выпускаемого оборудования, его технического уровня, размера затрат на изготовление и согласовываться с общим прогнозом развития как отдельных машин и аппаратов, так и химического машиностроения в целом.

Излишнее неоправданное стремление к созданию аппаратов большой единичной мощности. Необоснованное использование таких машин и аппаратов приводит:

- в отдельных случаях к ухудшению экологической обстановки из-за большой концентрации вредных выбросов;

- к большому сроку эксплуатации оборудования и как следствие - к его моральному устареванию;

- к сужению круга возможных принимаемых технических решений;

- к исключению возможности использования наиболее эффективных методов интенсификации проводимых процессов.

- к снижению общей эффективности работы оборудования.

Нельзя не отметить возможность получить при этом экономию на единицу выпускаемой продукции за счет сокращения расходов металла на стадии изготовления оборудования и затрат на его обслуживание в процессе эксплуатации. Для предприятия изготовителя выпускать такое оборудование очень выгодно из-за его большой стоимости.

Подведем итоги. Перечисленные особенности не являются абсолютно бесспорными и требуют дальнейшего анализа. Однако, опираясь на них, можно сделать вывод о целесообразности пересмотра концепции создания оборудования уже на стадии его проектирования. Значительный прогресс в совершенствовании химической техники может быть достигнут благодаря более широкому использованию средств интенсификации технологических процессов на основе применения последних достижений науки, что отвечает общей тенденции развития техники.

Пути интенсификации химико-технологических процессов

В химической и смежных отраслях промышленности достаточно широкое распространение получили процессы обработки дисперсных систем жидкость - твердое. Именно эти процессы и были проанализированы с точки зрения выбора возможных средств их интенсификации.

Возможные пути интенсификации процессов обработки дисперсных систем жидкость - твердое представлены на рис. 32. Они могут быть разбиты

на четыре группы:

Первая группа - интенсификация процессов при наложении стационарных силовых полей:

- 1) электрических и магнитных полей;
- 2) статического давления (фильтрация жидкости через слой твердых частиц);
- 3) поле центробежных сил.

Вторая группа - интенсификация процессов при наложении колебаний:

- 4) гармонических (низкочастотных, звуковых, ультразвуковых);
- 5) импульсных (механических ударов, микровзрывов).

Третья группа - интенсификация процессов за счет подвода механической энергии:

- 6) гидровзвешенный слой;
- 7) механическое перемешивание.

Четвертая группа - интенсификация процессов при использовании инертных рабочих сред для подвода энергии:

- 8) твердых тел (пальцы ротора, мелющие тела, ферромагнитные частицы);
- 9) жидких струй, создаваемых внешним насосом;
- 10) газа (трехфазные системы газ - жидкость - твердое).

Любое применение средств интенсификации должно учитываться в самом аппарате. Все методы требуют дополнительных затрат.

Теплообмен.

При интенсификации теплообмена между твердой стенкой и потоком гетерогенной среды основное значение имеют условия формирования пограничного слоя. С этих позиций наложение стационарных силовых полей не приводит к положительным результатам, за исключением тех случаев, когда используются дополнительные турбулизирующие элементы конструкции.

Наиболее целесообразной следует считать интенсификацию теплообмена путем механического перемешивания дисперсной системы или создания гидровзвешенного слоя. При этом основное внимание необходимо обратить на рациональное использование подводимой энергии. При обработке неньютоновских жидкостей значительный положительный эффект достигается благодаря применению скребковых мешалок, непосредственно разрушающих пограничный слой.

Область применения	Способы интенсификации									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Теплообмен	☀	❄	❄						❄	❄
Гидромеханика	❄									
Массообмен										
Химические превращения	☀	❄	❄		✖			✖	❄	✖
Растворение				☀	✖					
Кристаллизация	☀	☀	❄					✖	✖	✖
Охлаждение	❄	❄	❄					✖	✖	✖
Суспендирование	❄		❄					✖	✖	
Дробление	❄	❄			☀	❄		✖	☀	☀
Окатка	❄	❄			☀	❄			☀	☀
Классификация	❄	☀					✖	✖	✖	✖
Сгущение	❄					❄		✖	✖	✖

<input type="checkbox"/>	Возможен	<input checked="" type="checkbox"/>	Неэффективен
<input checked="" type="checkbox"/>	Малоизучен	<input checked="" type="checkbox"/>	Недопустим

Рисунок 32- Возможные пути интенсификации процессов обработки дисперсных систем жидкость-твердое

Гидромеханика.

Интенсификация гидромеханических процессов возможна за счет усиления воздействия на отдельные частицы со стороны внешних силовых полей (способы 2 и 3), со стороны соседних частиц (способы 4-6) или инертной фазы (способы 8-10). Конкретное применение того или иного способа зависит от характера и назначения технологического процесса.

Массообмен.

Для интенсификации массообмена в системах жидкость - твердое используются все перечисленные способы.

Химические превращения.

Влияние электрических и магнитных полей на скорость химического превращения при получении кристаллических материалов изучено мало. Наложение других видов силовых полей иногда недопустимо, так как может привести к преждевременному разделению жидкой и твердой фаз. Механические колебания высокой интенсивности могут вызвать нежелательные химические превращения. Наиболее приемлемым и доступным в промышленности способом интенсификации процессов химического превращения является подвод механической энергии при перемешивании. Характер перемешивания зависит от условий конкретного процесса. Для систем жидкость - твердое возможно применение пульсационных аппаратов. Инертные рабочие среды не нашли применения

из-за сложности их последующего отделения.

Кристаллизация.

Задача кристаллизации состоит в получении дисперсных частиц (кристаллов), наиболее близких по своим свойствам к монокристаллам, причем необходимого размера и формы. Наложение ультразвуковых колебаний способствует увеличению скорости зародыше - образования и, тем самым, уменьшению размеров получаемых при этом кристаллов. Низкочастотные колебания малой интенсивности позволяют поддерживать дисперсные частицы во взвешенном состоянии без непосредственного механического воздействия на них. Интенсификация массообмена при кристаллизации возможна с помощью (рациональной) оптимальной организации гидродинамических потоков в аппарате (способы 6 и 7). Наибольший эффект достигается в кристаллизаторе с взвешенным слоем. При этом необходимо стремиться к увеличению относительной скорости движения фаз при равномерном распределении дисперсных частиц по объему аппарата. **Растворение.**

Единственным недопустимым способом интенсификации процесса растворения является наложение импульсных колебаний большой интенсивности, которые могут привести к местному перегреву и вскипанию раствора. Остальные способы применительно к процессу растворения можно разделить на следующие три группы. Первая группа - направлена на увеличение скорости движения жидкости относительно дисперсных частиц (способы 1-4). Для второй группы характерно увеличение активной поверхности массообмена без измельчения частиц (способы 6 и 7). Третья группа предполагает увеличение поверхности контакта фаз за счет измельчения дисперсных частиц (8 - механическое измельчение, 9 - струйное измельчение, 10 - пароструйное измельчение). Применение конкретного способа определяется особенностями производства и физико-химическими свойствами дисперсной системы.

Охлаждение суспензии.

Работа аппарата в режиме охлаждения или нагрева суспензии в основном характеризуется условиями теплообмена между обрабатываемой дисперсной системой и теплообменным устройством и проскока сплошной фазы (жидкости). Единственным ограничением при выборе способа интенсификации теплообмена является исключение или сведение к минимуму механического измельчения дисперсных частиц при подводе энергии к дисперсной системе.

Суспендирование.

При суспендировании необходимо стремиться к достижению равномерного распределения дисперсной фазы по объему аппарата путем упорядочения гидродинамической структуры потоков (способы 6 и 7). Наложение колебаний позволяет получить устойчивые гидровзвеси дисперсных частиц при высокой их равномерности распределения по высоте аппарата. Находят применение трехфазные системы газ - жидкость - твердое (способ 10), где рабочей средой является газ.

Измельчение.

Потребность в высокодисперсных кристаллических материалах привела к созданию аппаратов для механического измельчения X в жидкости. Прак-

тическое применение нашел способ воздействия на материал твердыми рабочими телами при наложении гармонических колебаний (аппараты типа ГАРТ-1), измельчение в ультразвуковом поле. Измельчение происходит только при интенсивном подводе механической энергии, и нужно добиться ее рационального использования, найти способ удержания крупных частиц в активной зоне и вывода мелочи.

Окатка (сваливание).

Придание дисперсным частицам формы, близкой к округлой, обеспечивает окатка, которая наиболее интенсивно протекает при уплотнении двухфазной среды и интенсивном относительном движении кристаллов при подводе механической энергии (способы 3 и 7). Возможно проведение окатки в ультразвуковом поле, где также имеет место интенсивное относительное движение дисперсных частиц (способ 4)

Классификация.

Классификация дисперсных частиц по размерам проводится за счет различия скорости их осаждения (движения) в жидкости. Методы интенсификации данного процесса направлены на увеличение различия в скоростях осаждения частиц и на устранение вторичных эффектов перемешивания (способы 3 по 6). Высокой интенсивности классификации удастся добиться при наложении на систему низкочастотных колебаний в сочетании с установкой перфорированной перегородки с отверстиями определенного размера.

Сгущение.

Процесс сгущения во многом подобен процессу классификации. При сгущении необходимо обеспечить условия наиболее полного удаления дисперсных частиц из осветленной жидкости. Данные условия нашли отражение в способах со 2 по 5 и 7.

Подведем итоги.

Выполненный краткий анализ указывает на ограниченные возможности большинства способов интенсификации рассмотренных процессов. Один из самых доступных способов интенсификации - это подвод механической энергии к дисперсной системе путем ее механического перемешивания. Только при обеспечении рационального гидродинамического режима в аппарате становится возможным эффективное применение других способов интенсификации. Проведенный анализ позволил обоснованно подойти к разработке нестандартных конструктивных элементов, способствующих интенсификации процессов в дисперсных системах жидкость - твердое.

4 Основы построения обобщенной модели объекта

4.1 Переход от технической системы к конструкции химико-технологического агрегата

Представление объекта проектирования в виде технической системы позволяет описать особенности его функционирования и указать, какие технические средства для этого необходимы. При этом полностью отсут-

ствует какая-либо информация о его конструктивных особенностях. Переход к конструкции объекта проектирования предполагает решение задачи выбора конструктивных признаков ХТА по технологическим требованиям, вытекающим из его описания как технической системы. Решение данной задачи относится к области принятия проектных решений, и ему посвящен отдельный раздел. Предположим, что такая задача была решена и аппарат был выбран (рис.32).

В качестве примера был взят стандартный аппарат с механическим перемешивающим устройством. Уточнение его конструкции требует от инженера принятия ряда конструктивных решений. Поэтому, начиная проектирование, необходимо иметь некоторую модель, описывающую конструктивные и геометрические особенности аппарата. Создание такой модели позволит автоматизировать процесс проектирования на начальной стадии его создания. Основное требование к модели - это возможность представления сложных структур в аналитическом виде. Среди большого многообразия математических методов, которые могут быть использованы с этой целью, наибольшее внимание, на наш взгляд, заслуживают графы. Разработанный к настоящему времени математический аппарат теории графов позволяет представить в аналитическом виде описание конструктивных особенностей химико-технологического агрегата и выполнить его анализ с использованием вычислительной техники.

Анализ конструктивных особенностей объекта проектирования на основе его аналитического описания с использованием теории графов предполагает:

- устранение противоречивости конструкции;
- определение недостающих размеров или их уточнение;

Это далеко не все задачи, которые можно решить на основе аналитического описания конструкции аппарата, но их решение возможно только в том случае, если это описание построено. Его построению посвящено содержание данного раздела.

При решении большинства задач автоматизированного проектирования необходимо учитывать геометрические особенности как геометрических особенностях используется не только при получении графического изображения, но и при проведении проектных расчетов. Изображение графических документов в САПР составляет наиболее сильное впечатление (с точки зрения восприятия). Очевидно, что демонстрация интерактивного создания детали убеждает в необходимости использовать САПР гораздо больше, чем работа сложных расчетных программ, которые выдают несколько числовых значений. В последнем случае средства интерактивной графики используются лишь для того, чтобы выполнить некоторое число операций ввода-вывода.

При традиционном проектировании передача информации осуществляется в текстовой и графической форме в виде чертежей, графиков, диаграмм и т.п. По примерным оценкам, в конструкторских бюро основными видами деятельности являются: черчение (70% от общей трудоемкости),

организация архивов и их ведение (15%), собственно проектирование (15%), которое, в свою очередь, подразделяется на копирование (70%), модификацию вариантов (20%), исправление ошибок (9%), и непосредственно разработку (1%). Следовательно, возможны САПР, в которых выполняются только расчеты, и в которых ЭВМ используется только для технического черчения.

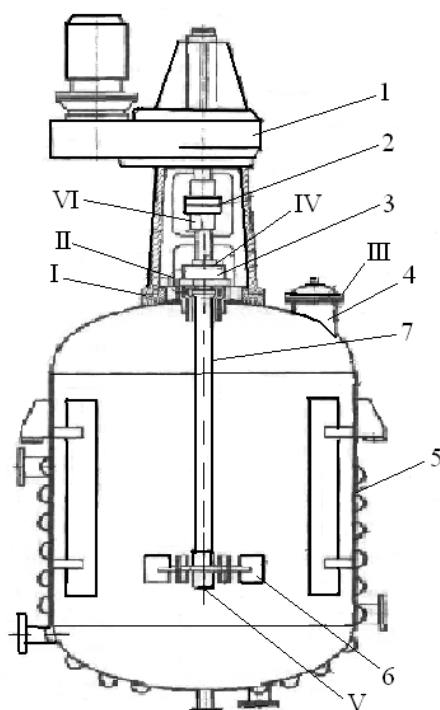


Рисунок – 33 Аппарат с механическим перемешивающим устройством
1 - привод; 2 - муфта; 3 - уплотнение; 4 - люк-лаз; 5 - корпус; 6 - мешалка; 7 - вал

Прежде чем непосредственно рассматривать вопросы геометрического моделирования, необходимо остановиться на выборе способа для описания конструкции аппаратов химических производств. Начнем с широко принятого в практике способа описания с использованием естественного языка.

Необходимо описать конструкцию аппарата с механическим перемешивающим устройством, представленного на рис.33. Аппарат имеет неразъемный корпус, снабженный рубашкой из полутруб и люком-лазом. Для перемешивания обрабатываемой среды используется турбинная мешалка открытого типа, которая приводится во вращение приводом со встроенным мотор-редуктором. Вращение от редуктора к мешалке передается посредством вала и продольно-съемной муфты. Для обеспечения герметичности используется торцевое уплотнение. К внутренним устройствам можно отнести радиальные перегородки, которые приварены к корпусу и не являются самостоятельными элементами конструкции. В качестве опор используются лапы, которые также приваре-

ны к корпусу.

Основные элементы конструкции аппарата также имеют свою внутреннюю структуру и требуют дальнейшего описания. Турбинная мешалка открытого типа состоит из ступицы и диска с лопатками, закрепленного на ступице.

В ступице имеются продольный шпоночный паз и резьбовые отверстия для соединения с валом.

Продольно-съемная муфта имеет корпус, состоящий из двух продольно смыкающихся половинок со шпоночными пазами, соединяющих их двух колец. Удерживают муфту от продольного перемещения два полукольца, которые скрепляются пружинными кольцами. Для их соединения используют два кольца с внутренними коническими отверстиями и шпильки с гайками и шайбами. Вертикальная фиксация валов осуществляется разрезным кольцом и двумя пружинными кольцами.

Особенностью продольно-съемной муфты является ее полная жесткость. Она не допускает как угловых, так и радиальных и осевых перемещений, что позволяет отказаться от использования подшипниковых опор в стойке. При этом используются подшипники мотор-редуктора. Такая конструкция привода не всегда применима, так как в этом случае значительно возрастает нагрузка на мотор-редуктор.

В двойном торцевом уплотнении герметизация достигается за счет использования двух пар уплотнительных колец, одно из которых является подвижным другое неподвижным. Уплотнение имеет корпус, уловитель и крышку. В уловителе и крышке установлены неподвижные уплотнительные кольца. На валу монтируется втулка, которая приводится во вращение водилом.

Уплотнение снабжено штуцерами для подачи охлаждающей жидкости. Для полного описания конструктивных особенностей объекта проектирования необходимо рассмотреть все элементы конструкции. Описание с использованием естественного языка не обладает однозначностью. Не может быть однозначно понята конструкция аппарата без подробных эскизов и необходимых подробных пояснений.

Непосредственная обработка графических изображений с целью построения на его основе описания конструкции не представляется возможной.

Словесное описание конструкции аппарата в виду своей неопределенности должно использоваться совместно с подробными эскизами. При автоматизации процесса построения описания необходимо наряду с геометрическими моделями использовать математические методы представления сложных структур, в том числе теорию графов.

4.2 Иерархическая структура химико-технологического агрегата

Составление аналитического описания объекта проектирования должно начинаться с формализации его структуры. При описании струк-

туры сложных объектов необходимо учитывать их иерархическую природу.

Обращение к иерархической структуре химико-технологического агрегата возникает при необходимости описания как его места среди других технических объектов, так и его конструктивных особенностей.

Иерархическими называются системы, имеющие многоуровневую структуру и используемые для:

- классификации объектов (иерархические системы обобщения);
- описания внутренней структуры объектов (иерархические системы агрегации). Рассмотрим последнюю из них. Пример первой уже был построен.

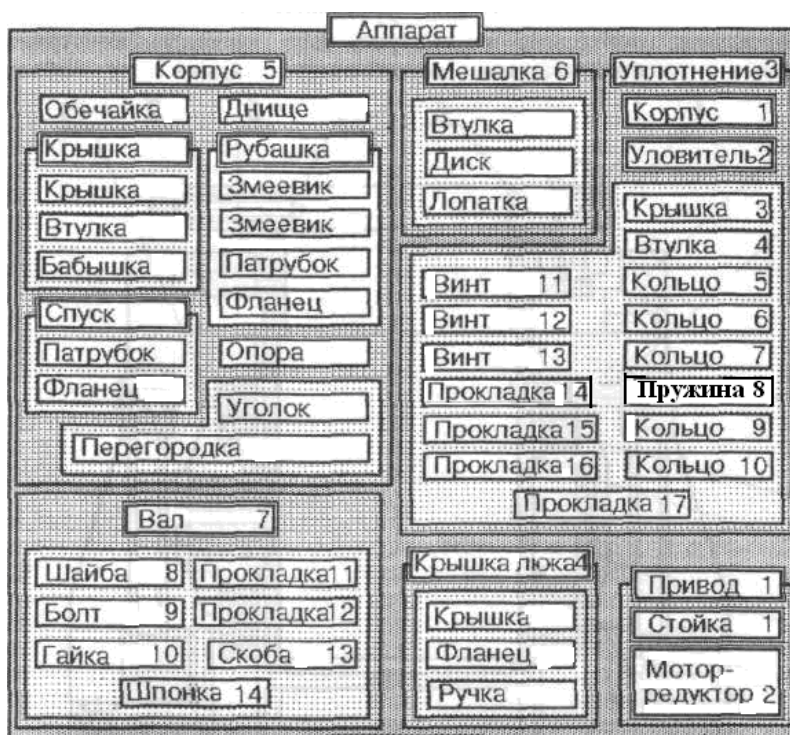


Рисунок - 34 Фрагмент иерархии агрегации аппарата с механическим перемешивающим устройством

При построении иерархии агрегации более сложный объект образуется как композиция из составляющих его более простых (отношение типа "и"). Агрегированный объект может быть одновременно и обобщением некоторого класса объектов. В свою очередь, обобщающий объект может быть построен путем агрегации нескольких понятий в одно.

Разделение технического объекта на составляющие элементы конструкции ведется по функциональному признаку (назначению).

Необходимо уделять особое внимание наиболее правильной формулировке функций выделенных элементов. Оптимальным следует считать вариант, когда указывается только одна его основная функция. Детали всегда выполняют хотя бы одну функцию. Для элементов старших уровней указать однозначно их функциональное назначение, как правило, не представляется

возможным. Для облегчения формулировки основной функции элемента конструкции рекомендуется применять правило исключения. По отношению к элементу задается вопрос: можно ли его исключить из конструкции? Если такой шаг приведет к нарушению функциональной взаимосвязи между остальными, то недостающая функция приходится на рассматриваемый элемент.

Так как в нашем случае объектом проектирования является машиностроительное изделие, то при построении иерархии агрегации необходимо руководствоваться правилами, принятыми в машиностроении.

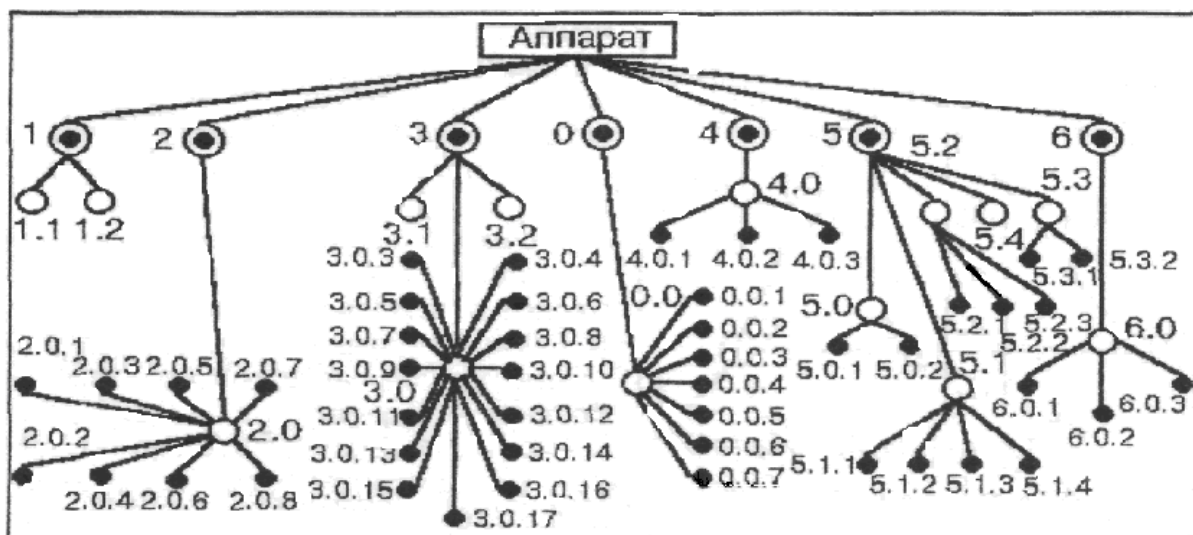


Рисунок - 35 Граф иерархической структуры агрегации для аппарата с механическим перемешивающим устройством

Иерархия агрегации (рис.35) построена по принципу вложенных структур, и ее содержание соответствует описанному аппарату с механическим перемешивающим устройством. Первый уровень иерархии обобщает все выделенные нами элементы конструкции и относится к аппарату в целом. Последующие уровни уточняют его структуру. Уровень сборочных единиц включает: корпус, привод, уплотнение, муфту, крышку люка-лаза, мешалку.

Остальные элементы конструкции, принадлежащие непосредственно аппарату, являются деталями, и они отнесены к последнему уровню. Этот факт отражает структура без названия, и она содержит еще одну структуру без названия, т. е. детали, принадлежащие аппарату, как и все другие, относятся к четвертому уровню. Мы следуем принятой в машиностроении четырехуровневой структуре, хотя это совершенно не обязательно.

Корпус относится ко второму уровню иерархии (рис. 35) и включает еще два: мелкие сборочные единицы и детали. Для примера раскрыта структура некоторых элементов конструкции третьего уровня. Приведены детали, относящиеся непосредственно к корпусу. Они объединены в структуру без названия. Аналогичным образом описаны остальные сбо-

рочные единицы.

Гораздо нагляднее описать иерархическую структуру агрегации можно используя методы теории графов. Для каждого элемента конструкции необходимо выбрать обозначение. Оно может быть как буквенным, так и цифровым. Последнее используется в машиностроении. Выбор типа обозначения не имеет значения. Изобразив вершины с их обозначениями и соединив их ребрами, получим граф иерархической структуры агрегации (рис.35). Такой граф не имеет циклов и является деревом. При его построении мы не учитывали тот факт, что одинаковые детали могут принадлежать различным элементам конструкции. В построенном дереве для наглядности приняты различные обозначения вершин, принадлежащих различным уровням. Нулевые вершины необходимы для определения положения деталей, не принадлежащих каким-либо сборочным единицам.

5 Системный анализ при расчете химико-технологического агрегата по критериям работоспособности

Как бы успешно ни было осуществлено технологическое проектирование, только на основании расчетов по критериям работоспособности представляется возможным оценить расход металла и стоимость изготовления аппарата, т.е. произвести сравнительный анализ затрат на его изготовление. Подробный выбор критерия качества при проектировании рассмотрен в следующем разделе. Здесь необходимо только подчеркнуть тот факт, что даже оценка затрат металла на изготовление позволит значительно сократить список альтернативных проектных вариантов без их дальнейшего анализа. При этом проектировщик должен оценить допустимую величину металлоемкости создаваемого аппарата, исходя из условий его эксплуатации и наличия средств для уменьшения расхода металла.

В настоящем разделе ХТА рассматривается в качестве предмета инженерных исследований и ставится задача показать общепринятые направления создания методики его расчета по основным критериям работоспособности. В этом случае химико-технологический агрегат как техническую систему образуют отдельные понятия из области технологии машиностроения, между которыми существуют отношения связи, образующие иерархические структуры обобщения и агрегации. Последующее раскрытие содержания понятий применительно к конкретному объекту проектирования позволяет осуществить переход к методике его расчета.

Содержание информационного обеспечения. Область определения любой информации - предметная область - представляет собой некоторое информационное пространство, отражающее совокупность объектов проектирования. В общем случае информационное пространство неоднородно, так как содержит различную информацию, как с точки зрения описываемых объектов, так и с точки зрения сторон их описания. С позиций описания содержания информационного обеспечения конструирования и расчета ХТА рассмотрим его структуру как структуру технической системы. Для ее

наглядного и однозначного представления воспользуемся математическим аппаратом семантических сетей.

Возможно записать следующий кортеж, где ХТА представлен в виде отдельных раскрывающих его структуру понятий:

(ХТА 'Ø'элемент конструкции', 'деталь', 'сечение', 'конструкционный материал').

Представленная запись имеет статус формулы с той разницей, что в ней используется не специальное обозначение отдельных понятий, а их запись в апострофах. Тем самым подчеркивается, что речь идет о понятиях, а не о конкретных объектах. Под 'элементом конструкции' понимается аппарат, крупная или мелкая сборочные единицы. Выделение понятия 'сечение' связано с его практической важностью при конструировании. Именно оно является одной из основных характеристик детали при проведении расчетов на прочность.

Второй важной характеристикой детали является конструкционный материал, из которого она изготовлена.

Раскроем каждое из понятий. Для понятия 'элемент конструкции' можно записать следующий фрагмент, содержащий пять кортежей:

('элемент конструкции', Ø, 'геометрия', конструкция' изготовление', эксплуатация ')⊗(геометрия' Ø, 'компоновка деталей' 'детали ')⊗ (конструкция', Ø, 'соединение деталей', 'совместная деформация деталей')⊗ ('изготовление, Ø, 'сборка деталей' , 'детали ')⊗(эксплуатация', Ø, 'внешняя среда', 'обрабатываемая 'среда', 'время эксплуатации').

Первый кортеж отражает основные понятия, которые должны учитываться при расчете элемента конструкции. Четыре последующих кортежа раскрывают эти понятия, конкретизируя их содержание. Такие понятия, как 'геометрия', 'конструкция' и 'изготовление' 'отражают конструктивные особенности элемента конструкции, которые необходимо учитывать на стадии его конструирования, расчета и изготовления, соответственно. При конструировании определяется геометрия отдельных деталей и осуществляется их взаимная компоновка. Расчет на уровне элемента конструкции предполагает выявление нагрузок, действующих на отдельные детали, и условия их совместной деформации. Стадия изготовления предполагает: первоначально необходимо изготовить отдельные детали, а затем осуществить их сборку. Эффективность эксплуатации во многом зависит от того, насколько правильно при проектировании были учтены параметры внешней и обрабатываемой сред, выбрано время эффективной работы.

Основные расчеты, как было показано выше, выполняются для отдельных деталей. В связи с этим для понятия 'деталь' можно записать следующий фрагмент, в котором первый кортеж содержит те же понятия, что и в предыдущем фрагменте:

(элемент конструкции', \emptyset , 'геометрия', 'конструкция', 'изготовление', 'эксплуатация') \otimes (геометрия \emptyset , 'элемент формы', 'поверхность', 'контур', 'ребро', 'точка') \otimes ('конструкция' \emptyset , 'вид напряженного состояния', 'характерные размеры', 'уровень концентрации напряжений') \otimes (изготовление, \emptyset , 'геометрия поверхности', 'остаточные напряжения', 'степень упрочнения', 'глубина упрочненного слоя') \otimes ('эксплуатация', \emptyset , 'характер и условия нагружения', 'среда', 'температура', 'скорость нагружения', 'время эксплуатации').

Столь сложный фрагмент не требует дополнительных пояснений и раскрывает самые различные стороны расчета некоторой обобщенной детали по критериям работоспособности. При выполнении расчетов важным является правильное раскрытие понятия 'сечение', которое образует следующий фрагмент семантической сети:

(сечение', \emptyset , 'геометрия', 'конструкция', 'изготовление', 'эксплуатация') \otimes
 (геометрия', \emptyset , 'контур', 'ось', 'точка') \otimes (конструкция', \emptyset , 'момент инерции', 'номинальные исполнительные размеры') \otimes (изготовление', \emptyset , 'геометрия контура', 'эксцентриситет') \otimes (эксплуатация', \emptyset , 'цикличность нагружения').

Замыкает построение технической системы для ХТА с позиций его конструирования и расчета по критериям работоспособности фрагмент, раскрывающий понятие 'конструкционный материал'. Конструкционный материал выбирается из условий эксплуатации отдельных деталей и требований к ней со стороны технологии машиностроения. В приведенном ниже фрагменте эти требования сформулированы в виде отдельного кортежа:

('конструкционный материал', \emptyset , 'химический состав', 'физико-механические свойства поверхности', 'объемные физико-механические свойства', 'анизотропия строения и свойств', 'тип, размеры и компоновка структурных составляющих', 'начальная структурная поврежденность').

Построенные фрагменты образуют единую структуру и при необходимости могут быть объединены. Используемые понятия обладают различной глубиной обобщения и отдельные из них требуют дальнейшего уточнения. К числу понятий, не требующих дальнейшего уточнения, можно отнести такие, которые допускают однозначное математическое представление. Например, понятие 'момент инерции' может быть уточнено следующим образом:

(момент инерции \emptyset , 'круг', 'квадрат', 'прямоугольник') \otimes (круг', $F_1(I, r)$, 'радиус $-r$ ', 'момент инерции $-I$) \otimes (квадрат', $F_2(I, a)$, 'сторона $-a$ ', 'момент инерции $-I$).

Два последних кортежа устанавливают связь между параметрами объектов 'круг' и 'квадрат', где в качестве отношения выступают соответствующие уравнения для расчета момента инерции ($F_1(I, r)$, $F_2(I, r)$). Объекты

'круг' и 'квадрат' заключены в апострофы, так как их конкретные размеры не определены и представленные кортежи справедливы при любых значениях l, g, a . Однако не все понятия имеют однозначное математическое представление, например температура, может иметь только определенные числовые значения. Температура выступает в качестве свойства, выражаемого количественно, т.е. в качестве параметра.

Таким образом, дальнейшее уточнение представленной семантической сети позволит непосредственно подойти к выбору аналитических зависимостей и заданию параметров, необходимых для реализации процесса конструирования и расчета элементов конструкции по критериям работоспособности.

Расчет элементов конструкции аппарата по критериям работоспособности имеет целью определение недостающих геометрических размеров, при которых обеспечивается его безопасная эксплуатация.

Исходными данными для расчета являются: конструктивная схема аппарата, основные размеры конструктивных элементов и условия его эксплуатации (давление, температура, коррозионная активность обрабатываемой среды и т. д.)- Метод представления конструктивной схемы объекта проектирования в виде его топологической модели, пригодной для применения в САПР, был описан выше.

Нагрузки. В зависимости от состояния оборудования: сборка, испытание, транспортировка, монтаж и ремонт - имеет место различное (но для каждого состояния определенное) сочетание нагрузок, действующих на тот или иной элемент конструкции.

По характеру изменения во времени нагрузки подразделяют на статические и динамические.

Статические нагрузки нарастают медленно и плавно от нуля до своей максимальной величины, оставаясь в дальнейшем практически постоянными. "Снятие" таких нагрузок происходит также плавно.

Динамические нагрузки бывают мгновенно приложенными (ударными) и повторно-переменными (циклическими), которые изменяются во времени по тому или иному закону.

На элементы конструкции оборудования, наряду с указанными нагрузками, оказывается коррозионно-эрозионное воздействие, вследствие чего происходит изменение их первоначальных размеров и формы поперечного сечения, т.е. износ. Величина износа зависит как от физико-химических свойств конструкционного материала в месте контакта сопрягаемых деталей или детали с коррозионно-активной средой, так и от интенсивности трения элементов между собой и потоком обрабатываемой среды. Чем дольше эксплуатируется оборудование, тем выше износ его элементов и тем больше их деформация под действием тех же самых нагрузок. Указанные изменения с ростом срока эксплуатации могут привести к потере надежности элемента: его разрушению, недопустимому для дальнейшей эксплуатации искажению его формы и размеров. Чтобы ограничить такие деформации до уровня, соответствующего нормативным запасам надежности, необходимо не только правильно выбрать материал для изготовления каждого элемента

конструкции, но и определить размеры их поперечных сечений.

Критерии надежности. Сделать это можно, исходя из следующих критериев надежности: прочность, жесткость, устойчивость первоначальной формы, виброустойчивость, износостойкость, герметичность и некоторые другие.

Прочность - способность конструкции в целом и ее отдельных элементов выдерживать действие нагрузок, не разрушаясь. Рассмотрим в качестве примера хорошо известный случай определения прочности, когда не делается различия между материалом и элементом конструкции. При испытании материалов на прочность исследуют поведение при одноосном растяжении или сжатии специального образца, который можно рассматривать как некоторый элемент конструкции. Результаты таких исследований обычно представляют в виде графиков зависимости напряжения от деформации. Силу F , растягивающую образец, относят к первоначальной площади поперечного сечения S_0 , а удлинение образца Δl - к первоначальной длине образца l_0 .

$$\sigma = \frac{F}{S_0} ; \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Эти уравнения учитывают изменение площади поперечного сечения образца и предполагают равномерное деформирование образца по его длине. График зависимости напряжения от деформации, построенный с использованием приведенных формул, называется условной диаграммой растяжения или просто диаграммой растяжения. Для большинства материалов при сравнительно небольших деформациях можно считать диаграммы растяжения и сжатия совпадающими. Именно на основе таких диаграмм определяются критерии прочности для конструкционных материалов.

На начальной стадии нагружения справедлив закон Гука: зависимость напряжения от деформации является линейной. При некотором напряжении σ_1 , называемом пределом пропорциональности материала, линейная зависимость нарушается. Дальнейшее нагружение материала приводит к тому, что он начинает течь при постоянном напряжении σ_2 , называемом пределом текучести. Площадка текучести переходит в так называемую кривую упрочнения. Последняя имеет точку максимума, соответствующую пределу прочности или временному сопротивлению σ_3 . При этом на образце образуется местное утонение и для его дальнейшей деформации требуются все меньшие усилия, пока он не разрушится.

Встает вопрос, что выбрать в качестве критерия прочности или допускаемого напряжения σ^* . Принято допускаемое напряжение определять через коэффициенты запаса прочности n_2 и n_3 , как большее из двух:

$$\sigma^* = \frac{\sigma_2}{n_2} ; \quad \sigma^* = \frac{\sigma_3}{n_3}$$

Величина коэффициентов запаса прочности зависит от температуры, скорости нагружения, качества материала, уровня наших знаний о его свойствах, требований, предъявляемых к безопасной эксплуатации конкретного технического объекта. Для химического машиностроения и, например, раке-

тостроения они будут различны.

Жесткость - способность соответствующего элемента (детали) иметь от действующих на него нагрузок деформации, не превышающие предельных значений. Конструкция считается жесткой, если возникающие перемещения не нарушают ее работоспособности. Эксплуатационные характеристики конструкции в большой степени определяются жесткостью. Стремясь к уменьшению материалоемкости конструкции, даже при полном обеспечении прочности, можно упустить из виду обеспечение жесткости. В результате могут возникнуть нагрузки, вызванные недопустимым прогибом конструктивных элементов, остаточными деформациями, повышенным трением, перекосом и заеданием трущихся частей и узлов и т.д. Во многих практически интересных случаях при конструировании приходится сталкиваться с деталями, для которых невозможно рассчитать значения деформаций.

Жесткость конструкции определяется:

- модулями упругости и сдвига;
- геометрическими характеристиками сечений и длиной деформируемых элементов;
- видами нагрузок и типами опор.

Основными способами увеличения жесткости деталей и узлов являются:

- замена, если возможно, деформаций изгиба деформациями растяжения-сжатия;
- введение связей между участками наибольших деформаций для деталей, работающих на изгиб;
- рациональная расстановка опор;
- увеличение сечений и усиление участков заделки, участков перехода от одного сечения к другому и участков сосредоточения нагрузок;
- применение конических и сводчатых форм.

При замене конструкции детали с целью перехода от деформации изгиба к растяжению-сжатию повышается ее жесткость, и, в конечном счете, обеспечивается лучшее использование материала при этом виде деформации.

На сжатие наилучшим образом работают конические конструктивные элементы, усиленные кольцами жесткости, при этом верхнее кольцо испытывает преимущественно сжатие, а нижнее - растяжение.

Решая задачу увеличения жесткости, необходимо найти точки наибольших перемещений деформируемой детали или узла и ввести конструктивные элементы, препятствующие этим перемещениям и работающие на растяжение-сжатие. Так, цилиндрический аппарат, нагруженный внутренним давлением, можно укрепить элементами жесткости: стяжками и ребрами.

Увеличению жесткости конструкции способствует рациональная расстановка опор. В этом отношении эффективно возможно большее сближение опор, так как прогиб двухопорной балки пропорционален кубу величины прогиба. Иногда вводят дополнительную опору или заменяют консольную конструкцию двухопорной.

Нужно стремиться к увеличению жесткости конструкции по возможности без увеличения массы. Так, выбирая конструкцию вала, меняя форму его сечения (переходя от сплошного вала к полому большего сечения), при относительно небольшом увеличении его массы можно достичь большого увеличения жесткости и прочности.

Для увеличения жесткости детали типа дисков и днищ целесообразно снабжать их прямыми или кольцевыми ребрами. Ребра должны быть расположены на радиусе с наибольшим углом поворота сечения и иметь достаточную высоту.

Приведенные примеры призваны показать пути увеличения жесткости элементов конструкции.

Устойчивость - способность детали сохранять под действием нагрузок заданную первоначальную форму упругого равновесия. Рассмотрим хорошо известный и многократно описанный пример определения устойчивости, имеющий большое практическое значение. С этой целью вернемся к задаче о сжатии стержня (пластины). Предположим, что мы заострили концы гибкой пластины длиной L , изготовленной из упругого металла, и сжимаем ее вдоль оси. Увеличивая медленно нагрузку F , можно измерить отклонение центральной точки стержня на величину “ y ” и изобразить зависимость F от y в виде графика.

Нагружая стержень, мы найдем, что очень малые значения y будут регистрироваться до тех пор, пока F не приблизится к некоторому критическому значению F^* . Предполагается, предел прочности для материала не достигнут и необратимых деформаций не возникает. Поведение материала является упругим, и пластина всегда восстанавливает исходную прямую форму при снятии нагрузки.

Пластина может быть изогнута в любом направлении, как с положительным, так и отрицательным y , и при высокой сжимающей нагрузке ее можно привести во второе устойчивое состояние M . Если затем разгрузить пластину, то окажется, что в точке минимума J она вернется обратно в состояние естественной траектории нагрузки. При этом во время перехода не возникает изменения нагрузки.

С целью математического описания поведения полоски можем попытаться использовать инженерную теорию изгиба, в которой кривизна

малого элемента полосы аппроксимируется величиной, $\frac{d^2w}{dx^2}$ где $w(x,t)$ - перемещение поперечного сечения, находящегося на расстоянии X от нижней опоры в момент времени t . Полагая, что кривизна пропорциональна изгибающему моменту, вычисленному в недеформированном состоянии (соответствующему нулевому перемещению), найдем решение.

Если сохраняются только квадратичные члены энергии, то корень из основной собственной частоты для первой гармоники уменьшается до нуля по линейному закону при увеличении нагрузки до критической, определенной Эйлером

$$F^* = \frac{\pi^2 EI}{\mu L^2}$$

Здесь EI - жесткость при изгибе, которая представляет собой произведение модуля упругости материала E на момент инерции поперечного сечения полосы I . Коэффициент μ учитывает условия заделки пластины (стержня) и в нашем случае равен единице.

Эта критическая нагрузка, которая имеет фундаментальное значение в механике, может быть получена при помощи анализа потери устойчивости в рамках статики.

Знание величины критической нагрузки позволяет нам правильно осуществлять проектирование элементов конструкции, нагруженных сжимающей силой. Если в процессе эксплуатации нагрузка не превышает критической, то элемент конструкции считается жестким и рассчитывается по обычным методикам. В противном случае элемент конструкции считается гибким и для его расчета применяются специальные методики.

Неустойчивость имеет место и при сжатии обечайки наружным давлением, где также может быть определено критическое значение нагрузки. Причиной потери устойчивости обечайки могут быть: наружное давление, осевая сжимающая сила, изгибающий момент, что учитывают имеющиеся инженерные методики расчета.

Под виброустойчивостью понимают способность конструкции работать в нужном эксплуатационном режиме без недопустимых колебаний (вибраций). Понятие виброустойчивости во многом согласуется с понятием устойчивости и распространяется на системы, в которых имеют место вынужденные колебания.

Износостойкость - способность материала данного элемента конструкции противостоять износу его поверхности от длительного контакта с другими элементами и с обрабатываемой средой.

Герметичность - способность отдельных элементов конструкции и узлов их соединения обеспечить заданную полноту непроницаемости герметизируемой среды (в одном направлении) и окружающей среды (в противоположном направлении). Утечки, имеющиеся при этом, не должны превышать безопасного предела.

При разделении нескольких сред в машинах и аппаратах возникает проблема герметизации соединений. Применение неразъемных соединений часто бывает недопустимо по условиям эксплуатации. В подвижных соединениях и в разъемных неподвижных соединениях герметизация может быть достигнута только в результате применения специальных уплотнительных устройств или особо точных методов механической обработки.

Уплотнительное устройство, или уплотнение, - устройство для разделения сред, предотвращения или уменьшения в допустимых пределах утечки сред через подвижные или разъемные неподвижные соединения. Уплотнительные устройства применяют буквально во всех отраслях техники, поэтому номенклатура уплотнений исключительно широка, а требования и

условия эксплуатации разнообразны. В связи с этим в дальнейшем их конструкции не приводятся.

6 Примеры и задачи

Задание № 1. Построение графа по его описанию

Исходные данные. Объект проектирования состоит из нескольких элементов, которые мы обозначим буквами русского алфавита (см. табл. 2).

Таблица 2- Описание структуры объекта проектирования

Номер варианта											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А	А
Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б	Б
В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В	В
Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г
Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е
Ж	Ж	Ж	Ж	Ж	Ж	Ж	Ж	Ж	Ж	Ж	Ж
З	З		З	З	З	З	З	З		З	З
И	И		И	И	И	И		И			И
К					К	К					

Между отдельными элементами объекта проектирования существует некоторое взаимодействие, которое реализуется с помощью отношения **R**. Отношения являются не симметричным. Перечень элементов, между которыми существует взаимодействие, представлен в табл. 3. Взаимодействие направлено от первого элемента ко второму.

Таблица 3 - Перечень элементов, между которыми имеет место отношение

Номер варианта											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
АБ	АБ	АБ	АБ	АБ	АВ	АБ	АБ	АБ	АБ	АВ	АБ
БВ	БВ	БВ	БВ	БВ	БГ	БВ	БЗ	БВ	БЖ	БЗ	БИ
ВГ	ВГ	ВГ	ВД	ВД	ВГ	ВГ	ВД	ВИ	ВЕ	ВД	ВЕ
ГД	ГД	ГВ	ГЕ	ГД	ГД	ГД	ГЕ	ГИ	ГД	ГБ	ГЕ
ДЕ	ДЕ	ДЖ	ДЖ	ДЕ	АВ	ДИ	ДЗ	ДЕ	ДЕ	ДГ	ДИ
ДЗ	ЕЗ	ЕЖ	ЕЗ	ЕБ	ЕИ	ЕЖ	ЕЖ	ЕЗ	ЕЖ	ЕД	ЕЖ
ЕЖ	ЖИ	АГ	ЖГ	ЖЗ	ЖЗ	ЖЗ	ЖЗ	ЖЗ	АВ	ЖЗ	ЖИ
ЗЖ	ЗЖ	АВ	ЗИ	ЗИ	ЗК	ЗГ	АВ	ЗИ	ФГ	АГ	ЗИ
ЖИ	БД	БГ	АВ	АГ	ИЖ	ИК	АГ	АГ	АД	ВГ	АД
ИК	БЖ	ВД	ВЕ	ГЖ	ИК	АЖ	АЗ	АД	АЕ	ДЖ	АВ
КЛ	ДЖ	ВЖ	ЕИ	БЖ		АЕ		ДЖ	АЖ	ЕЖ	АГ

Номер варианта											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
АБ	АБ	АБ	АБ	АБ	АВ	АБ	АБ	АБ	АБ	АВ	АБ
БВ	АВ	БВ	АВ	АВ	БГ	БВ	БЗ	БВ	БЖ	БЗ	БИ
АВ	БД	ВК	ВГ	АГ	ВГ	ВГ	ВД	ВИ	ВЕ	ВД	ВЕ
БД	БГ	БГ	АГ	ВГ	ГД	ГД	ГЕ	ГИ	ГД	ГБ	ГЕ
БГ	ГЕ	ГК	БГ	ГД	АВ	ДИ	ДЗ	ДЕ	ДЕ	ДГ	ДИ
ГЖ	ГЖ	КД	ГЕ	ДЖ	ЕИ	ЕЖ	ЕЖ	ЕЗ	ЕЖ	ЕД	ЕЖ
ЖЕ	ГД	ДЕ	ЕЖ	ГЖ	ЖЗ	ЖЗ	ЖЗ	ЖЗ	АВ	ЖЗ	ЖИ
ГЕ	ДЕ	ДЗ	ЖК	ЖЗ	ЗК	ЗГ	АВ	ЗИ	ФГ	АГ	ЗИ
ЕИ	ЕЖ	ЕЖ	КН	ЖК	ИЖ	ИК	АГ	АГ	АД	ВГ	АД
ЕЗ	ЕЗ	ЖЗ	ЖН	КИ	ИК	АЖ	АЗ	АД	АЕ	ДЖ	АВ
	ЗЖ	ЗИ		ИЗ		АЕ		ДЖ	АЖ	ЕЖ	АГ

Задание - необходимо:

1. построить граф и его матрицу смежности без учета ориентации дуг;
2. указать ориентацию дуг и построить новую матрицу смежности;
3. обозначить дуги и построить матрицу инцидентий;
4. подсчитать величину инцидентий для каждой вершины;
5. указать все возможные маршруты между первым и последним элементами (см. табл. 3)
6. указать основные свойства графа.

Задание № 2. Геометрическое моделирование отдельных конструктивных элементов

Встает задача — выделить такие элементы конструкции, минимальное число которых позволило бы описывать большое многообразие аппаратов химических производств. Анализ конструктивных схем различных

аппаратов показывает, что в основном находят применение осесимметричные и плоские элементы. Осесимметричные КЭ описываются весьма ограниченным классом поверхностей:

- а) поверхности, образованные вращением прямой вокруг оси симметрии (цилиндр, конус);
- б) поверхности, образованные вращением кривых эллипсоидного вида;
- в) поверхности, образованные вращением части окружности. Каждая поверхность определяет минимальный D_1 максимальный D_2 диаметры и высоту конструктивного элемента. Для полного описания геометрических особенностей КЭ необходимо задать толщину его стенки, если он полый внутри. Для КЭ сварных аппаратов химических производств толщина стенки, как правило, гораздо меньше, чем остальные его размеры.

Плоские КЭ характеризуются малым отношением толщины к стальным геометрическим размерам. Из-за большого многообразия плоских КЭ установить в общем случае для них основные определяющие размеры не представляется возможным.

Необходимо также остановиться на КЭ, выполненных на базе перечисленных выше путем определенной их механической обработки или деформации. В основном это КЭ, изготовленные из труб или обечаек (U – образные трубы теплообменников, змеевики, рубашка из полутруб и т.) или из листа (лопасти перемешивающего устройства, контактные элементы массообменных аппаратов и т. д.). Для каждого КЭ данного класса должен быть установлен перечень определяющих его геометрических размеров.

Для трехмерных объектов существуют три основных метода геометрического моделирования:

- задание всех граней элемента конструкции;
- перемещение контура по образующей;
- синтез геометрических изображений из базовых элементов формы.

Первый метод заключается в том, что конструктор определяет координаты всех граничных точек граней, а также задает признаки граней. Грани могут быть образованы плоскостями, сферическими или цилиндрическими поверхностями и т. д. Достоинство метода состоит в том, что он позволяет вести геометрическое моделирование элементов конструкции сложной формы. Однако он получил незначительное применение в практике конструирования, так как требует больших затрат времени конструктора и построения вручную проекций детали.

Второй метод применим, главным образом, к деталям типа тела вращения и тел, которые имеют постоянный или переменный профиль перемещаемый по некоторой траектории. Метод находит широкое распространение в САПР химических агрегатов, так как большинство деталей аппаратах являются телами вращения.

Одним из наиболее распространенных в практике автоматизированного конструирования является метод задания геометрии с помощью базовых элементов формы. Базовыми элементами формы являются объемные

элементы типа цилиндра, конуса, прямоугольного параллелепипеда и т. д. С этими элементами конструктор может проводить операции их объединения или вычитания, в результате чего синтезируется геометрическая модель детали. Метод нагляден, прост в использовании и позволяет в сочетании с предыдущим методом описывать практически все элементы конструкций аппаратов.

Рассмотрим одну из возможных геометрических моделей элемента конструкции. При построении модели ставятся следующие задачи: описать конструктивные особенности объекта проектирования в виде удобном для аналитического анализа; обеспечить возможность определения недостающих размеров; обеспечить возможность расчета основных геометрических параметров элемента конструкции (объема, поверхности).

Решение задачи предполагает разбиение детали на отдельные элементы формы. Элемент формы - геометрически простейшее объемное тело. Пример элементов формы, цилиндр и усеченный конус, представлен на рис.36.

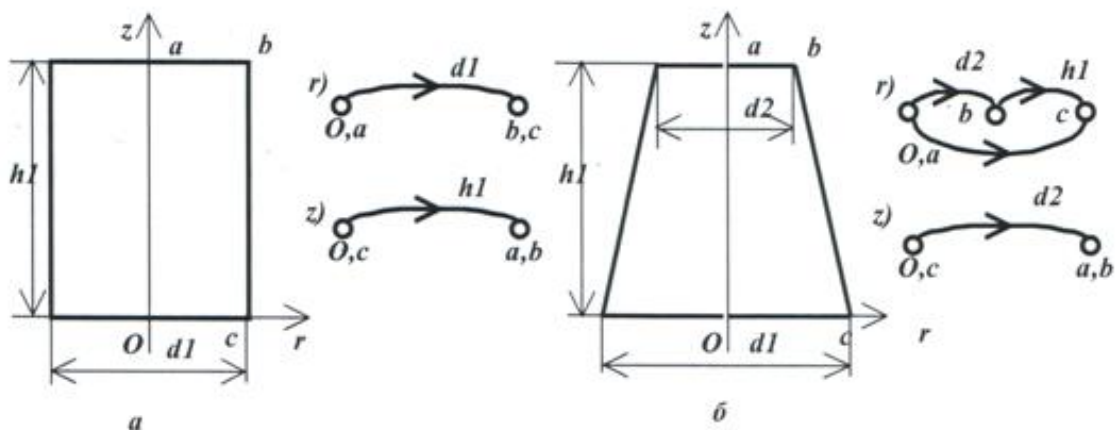


Рисунок 36 – Элементы формы и соответствующие им графы проекций на ось z и r :
а – цилиндр; б – усеченный конус

Каждый из них помещен в цилиндрическую систему координат. Так как рассматриваемые элементы формы осесимметричны, то их границы могут быть определены через проекцию на плоскость zOr и заданы координатами четырех основных вершин O, a, B, c . Проекция сечения на оси представляют собой две пары прямых. На ось z это Oa и cB . На ось r - Oc и aB . Рассмотрим один из возможных подходов к построению аналитической модели объемного тела - элемента формы. С этой целью проекции заменим ориентированными графами, отражающими взаимное расположение вершин вдоль соответствующих осей. Направления дуг совпадают с направлением осей. Граф отражает только тот факт, что одна вершина расположена дальше чем другая. Используется отношение "дальше чем".

Если мы хотим указать насколько одна вершина расположена даль-

ше другой, то дуге необходимо поставить в соответствие некоторый вес численно равный расстоянию между вершинами. Соответствующие графы показаны на рис.9. Они описывают любой цилиндр или усеченный конус в рамках принятых представлений и их начертание не зависит от абсолютных геометрических размеров тел. Отличие между цилиндром и усеченным конусом проявляется в графах их проекций на ось r .

Граф, построенный для усеченного конуса имеет дугу вес которой не известен. Каждый из графов должен быть представлен в алгебраической форме. В виду значительной простоты всех графов матрицу инцидентий построим только для графа проекций усеченного конуса на ось r , которая будет иметь следующий вид:

$$v = \begin{matrix} O \\ b \\ c \end{matrix} \begin{array}{c|ccc} & d2 & dl & xl \\ \hline & -1 & -1 & 0 \\ & 1 & 0 & -1 \\ & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

Согласно матрице инцидентий между вершинами O и c существуют два маршрута, длина которых одинакова. Первый маршрут - O, b, c , второй - O, c . Если L длина маршрута, то можно записать следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} L &= d2 + xl, \\ L &= dl. \end{aligned}$$

Из решения системы имеем:

$$xl = dl - d2$$

Данный ответ можно было бы получить, не прибегая к столь сложным вычислениям, но здесь прослеживается общий алгоритм решения подобных задач. Строятся графы проекций. Определяются возможные маршруты между двумя наиболее удаленными вершинами. Поскольку длина этих маршрутов должна быть одинаковой, представляется возможным от маршрутов перейти к системе уравнений, число которых равно числу возможных маршрутов. Данный подход может быть распространен и на более общие случаи, когда в качестве объекта моделирования рассматривается элемент конструкции. Для примера рассмотрим деталь, изображенную на рис.37 с указанием основных размеров. Необходимо определить объем или массу детали. С этой целью она может быть представлена, как совокупность шести элементов, пять из которых цилиндры и один усеченный конус. Тогда объем детали равен:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 - V_4 - V_5 - V_6.$$

Для цилиндра:

$$\begin{aligned} V_i &= \frac{1}{4}(\pi d_i^2 h_i) \\ i &= 2, 3, 4, 5, 6. \end{aligned}$$

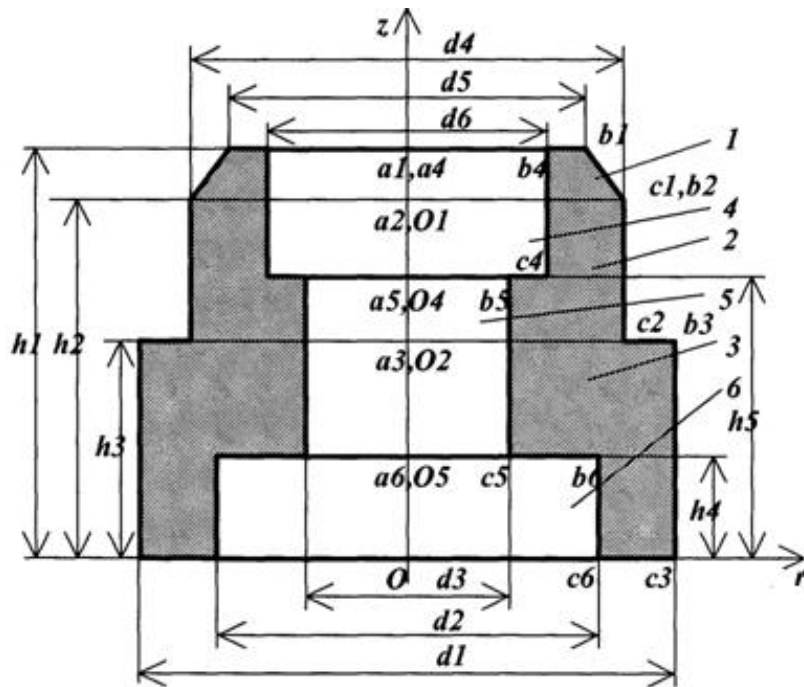


Рисунок 37 – Пример детали, построенной с учетом образующих ее элементов формы

Для усеченного конуса:

$$V_i = 1/3(\pi(R^2 + r^2 + Rr)h).$$

Размеры на рис.37 проставлены с учетом требований по изготовлению детали и их недостаточно для определения объема каждого элемента формы. Для их определения воспользуемся предложенным подходом к построению аналитической модели объемного тела.

Каждый элемент формы может быть задан четырьмя, определяющими его вершинами. Построение модели детали предполагает совмещение графов проекций элементов формы на соответствующие оси.

При построении графа проекций на ось r (рис.38) были приняты следующие обозначения:

$$A = \{0, 0_1, 0_2, 0_4, 0_5, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\};$$

$$B = \{c_5, b_5\}; \quad C = \{c_4, b_4\}; \quad D = \{b_6, c_6\};$$

$$F = \{b_2, c_1, c_2\}; \quad H = \{b_3, c_3\}.$$

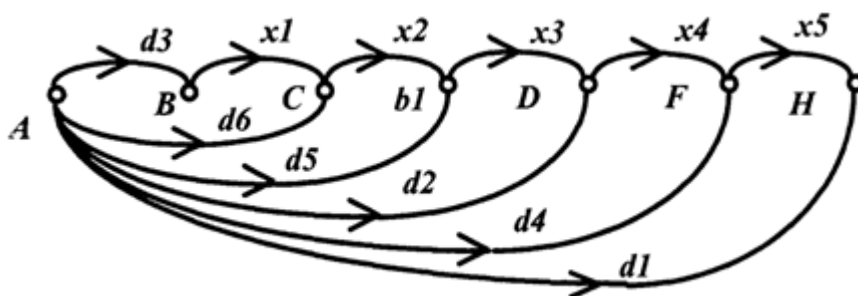


Рисунок 38 – Граф проекции детали (рис. 37) на ось r, построенный с учетом образующих его элементов

В графе были учтены конструктивные особенности детали и конкретизировано взаимное расположение вершин путем задания дополнительных дуг от $x1$ до $x5$. Эти дуги определяют, какая из вершин расположена дальше от начала системы координат. В данном примере для расчета объема элементов формы нам нет необходимости знать веса этих дуг, но в общем случае такая задача может возникнуть. Для ее решения построим матрицу инцидентий:

	$d1$	$d2$	$d3$	$d4$	$d5$	$d6$	$x1$	$x2$	$x3$	$x4$	$x5$
A	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
B	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	1	1	-1	0	0	0
BI	0	0	0	0	1	0	0	1	-1	0	0
D	0	1	0	0	0	0	0	0	1	-1	0
F	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	-1
H	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Применение матрицы инцидентий позволяет автоматизировать процесс построения маршрутов между вершинами. Нас интересуют маршруты максимальной величины, которые имеют место между вершинами A и H .

Анализ графа или матрицы показывает, что между вершинами A и H существуют шесть маршрутов одинаковой длин L , которые образуют следующую систему линейных уравнений:

$$L = d1;$$

$$L = d4 + x5;$$

$$L = d2 + x4 + x5;$$

$$L = d5 + x3 + x4 + x5;$$

$$L = d6 + x2 + x3 + x4 + x5;$$

$$L = d3 + x1 + x2 + x3 + x4 + x5.$$

Данная система уравнений имеет однозначное решение

$$x5 = d1 - d4; x4 = d4 - d2; x3 = d2 - d5;$$

$$x2 = d5 - d6; x1 = d6 - d3.$$

В свою очередь, при построении графа проекций элементов формы, образующих деталь, на ось z были приняты следующие обозначения:

$$K = \{0, c_3, c_6\}; L = \{a_6, b_6, c_5, 0_5\}; M = \{a_3, b_3, c_2, 0_2\};$$

$$N = \{a_5, b_5, 0_4\}; P = \{a_2, b_2, c_1, 0_1\}; G = \{a_1, b_1, a_4, b_4\}.$$

Введение данных обозначений призвано только упростить дальнейший анализ. Полные обозначения вершин содержат информацию о взаимном положении отдельных элементов формы, которая должна охраняться при переходе к новым обозначениям. Дуги LM , MN и NP (см. рис.39,а) уточняют конструкцию детали и непосредственно для расчета объема детали не представляют интереса. Алгоритм определения достающих весов соответствующих дуг остается прежним. Необходимо определить возможные маршруты между вершинами K и G , имеющие максимальную длину. На рис. 39.б. в виде графа представлены не все возможные маршруты, а только те, которые представляют для нас интерес. Согласно графу маршрутов (рис. 39.б) искомая система уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 L &= h_i; \\
 L &= h_2 + x_4; \\
 L &= h_5 + x_2; \\
 L &= h_3 + x_3 + x_4; \\
 L &= h_4 + x_1 + x_2 \\
 x_1 &= h_5 - h_4; \quad x_2 = h_1 - h_5; \\
 x_3 &= h_2 - h_3; \quad x_4 = h_i - h_2.
 \end{aligned}$$

Использование графа маршрутов упрощает их определение и является частью автоматизированного алгоритма построения искомой системы уравнений. При этом не исключается построение матрицы инцидентий исходного графа (рис.39.а), как возможной формы его аналитического представления, без которой автоматизация решения задачи невозможна.

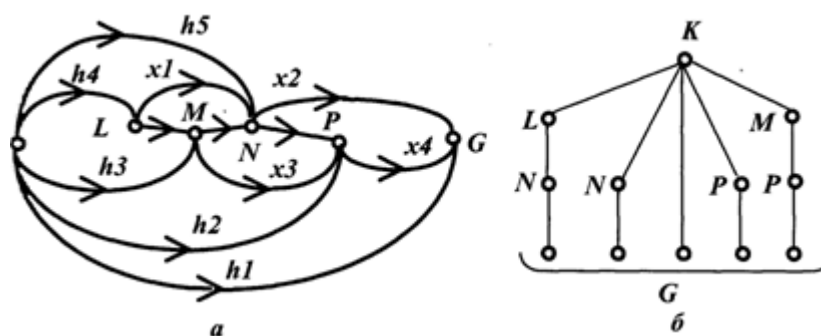


Рисунок 39 – Граф проекции детали (рис. 37) на ось z , построенный с учетом образующих их элементов

а – непосредственно граф; б – граф маршрутов максимальной длины. Построенная нами аналитическая модель не ограничивается соотношением размеров детали и может быть распространена на большое число элементов конструкции, имеющих сходную структуру. Ограничение накладывается только на взаимное расположение, образующих их элементов формы.

Задание № 2

Построить граф проекций на ось x задать дополнительные дуги построить матрицу инцидентий, указать все возможные маршруты составить систему уравнений и определить недостающие размеры.

Таблица 3 – Рисунок задания

Рис	Деталь	Рис	Деталь
1		7	
2		8	
3		9	

4		10		
5		11		
6		12		

Таблица 4 - Варианты заданий

Вариант	Рис	L, мм.	l ₁ , мм.	l ₂ , мм.	l ₃ , мм.	l ₄ , мм.
1	1	200	130	20	180	
2	1	180	100	30	150	
3	1	150	110	50	130	
4	1	120	90	15	110	
5	1	100	55	10	75	
6	1	90	35	20	70	
7	2	200	10	100	120	180
8	2	180	20	130	150	160
9	2	150	10	80	110	135
10	2	120	30	85	95	110
11	2	100	10	50	75	90
12	2	90	30	55	60	80
13	3	200	30	120	180	
14	3	180	50	100	150	
15	3	150	20	90	130	
16	3	120	40	55	110	
17	3	100	35	70	85	
18	3	95	40	60	80	
19	4	210	100	120	180	
20	4	190	90	130	160	
21	4	140	110	130	150	
22	4	130	60	85	100	
23	4	110	85	95	100	
24	4	100	50	70	90	
25	5	200	80	120		
26	5	180	60	100		
27	5	150	30	80		
28	5	120	40	105		
29	5	100	35	80		
30	5	95	45	70		
31	6	200	30	180	130	
32	6	180	10	150	100	
33	6	150	20	100	80	
34	6	120	40	110	90	
35	6	100	25	80	65	
36	6	90	40	70	55	
37	7	210	30	190	120	
38	7	190	25	160	130	
39	7	140	10	100	120	
40	7	130	40	110	65	
41	7	110	55	105	90	
42	7	95	35	85	55	

Продолжение Таблицы 4

Вариант	Рис	L, мм.	l ₁ , мм.	l ₂ , мм.	l ₃ , мм.	l ₄ , мм.
43	8	210	50	120		
44	8	190	30	130		
45	8	140	55	100		
46	8	130	10	105		
47	8	110	45	90		
48	8	90	50	80		
49	9	200	20	130	180	
50	9	180	30	100	150	
51	9	150	50	100	130	
52	9	120	15	9	110	
53	9	100	10	55	75	
54	9	95	20	50	75	
55	10	200	20	180	130	
56	10	180	30	150	100	
57	10	150	50	130	110	
58	10	120	15	105	90	
59	10	100	10	75	55	
60	10	90	20	60	80	
61	11	200	10	100		
62	11	180	20	130		
63	11	150	10	80		
64	11	120	30	85		
65	11	100	10	50		
66	11	90	30	75		
67	12	200	20	100	120	180
68	12	180	33	130	150	160
69	12	150	30	80	110	135
70	12	120	40	85	95	110
71	12	100	20	50	75	90
72	12	95	25	40	60	75

Литература

1. Веригин А.Н., Малютин С.А., Шашихин Е.Ю. Химико-технологические агрегаты. Системный анализ при проектировании. - СПб: Химия, 1996. 256 с.
2. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии. - М.: Наука, 1976. 450 с.
3. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 487с.
4. Веригин А.Н., Федоров В.Н., Данильчук В.С. Химико-технологические агрегаты. Иммитационное моделирование.-СПб: Спб. Университет, 1998. 217с.
5. Емеличев Р.И., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов. - М.: Наука, 1990. 383 с.

Содержание

	стр
Введение	5
1 Теоретические основы системного анализа	6
1.1 Основные принципы системного анализа	6
1.2 Роль и место системности при проектировании	10
1.3 Системный анализ, основные этапы	13
1.4 Математическое моделирование в задачах проектирования	17
1.5 Графы как средства описания технических объектов	31
1.6 Применение потоковых графов	41
2 Функциональный подход к описанию работы химико-технологического агрегата	52
2.1 Техническая система	52
3 Химико-технологический агрегат - объект системного анализа	62
3.1 Обоснование выбора объекта проектирования	62
3.2 Особенности химической техники	66
4 Основы построения обобщенной модели объекта	74
4.1 Переход от технической системы к конструкции химико-технологического агрегата	74
4.2 Иерархическая структура химико-технологического агрегата	77
5 Системный анализ при расчете химико-технологического агрегата по критериям работоспособности	80
6 Примеры и задачи	88
Литература	100

Кафедра машин и аппаратов химических производств

Системный анализ процессов химической технологии

Учебное пособие

Александр Николаевич Веригин
Николай Александрович Незамаев

Отпечатано с оригинал-макета. Формат 60x84/16,. Объем п.л.3,6 Тираж 50 экз.

Издательство Санкт-Петербургского государственного технологического института
(технического университета) (СПбГТИ(ТУ))