МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО СРЕДНЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН

НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЯ»



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

по предмету

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

для бакалавров

Область знаний 300 000 – Производственнно – техническая сфера

Область образования 310 000 – Инженерная дело

Направление образования 5 311 000 – Автоматизация и управление технологических процессов и производств (по отраслям)

НАВОИ – 2018

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО СРЕДНЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН

НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЯ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Н.А.Абдуазизов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2018 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

по предмету

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебно-методический комплекс разработан на основе утвержденного программа «Идентификация и моделирования технологических процессов» в МВССО РУз (Приказ № 303 от 25.08.2016)

Составитель: Бойбутаев С.Б. – ст. пр. кафедры «АУ»

Рецезенты: к.т.н., доц. Уринов Ш.Р. – доц. каф. АУ НГГИ

Худаяров У.Н. – зам. начальник УАП НГМК

В учебно-методическом комплексе по дисциплины «Основы моделирования и оптимизации технологических процессов» приведена материалы лекционные, практические и лабораторные занятии, материалы самостоятельных работ, глоссария, рабочая программа, образовательная технология и технологическая карта, роздаточные материалы и др.

Настоящий учебно-методический комплекс предназначен по направления бакалавриата 5311000 - «Автоматизация и управления технологическими процессами и производствами»

Учебно-методический комплекс могут быть полезен для докторантов и самостоятелных исследователей, а также для научных сотрудников изучающих этого курса.

Учебно-методический комплекс обсуждена на заседание кафедры “Автоматизация и управление” (протокол №1 от «\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 года) и рекомендован на совет энерго-механического факультета.

Зав. кафедрой: \_\_\_\_\_\_\_\_доц. Жумаев О.А.

Учебно-методический комплекс расмотрен обсужден на заседание Энерго-механического факультета (протокол №1 от «\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 года) и (сдан) рекомендован на утверждения учебно-методический Совет института

Председатель совета факультета: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ проф. Базарова С.Ж.

Учебно-методический комплекс рекомендован на внедрения в учебный процесс учебно-методическим советом Навоийского государственного горного института (протокол №1 от «\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 года)

Секретарь учебно-методического Совета \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Норматова М.Ж.

Согласованно:

Начальник учебно-методического отдела: \_\_\_\_\_\_\_\_\_Каримов И.А.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Стр.

1. Лекционные занятия………………………………………………

Практические занятия …......................................................................

Описание лабораторных работ ……………………………………….

Занятия самостоятельного образования ……………………………...

2. Глоссарий…………………………………………………………….,

3. Приложения:…………………………………………………………..

- программа дисциплины……………………………………………..

- рабочая программа дисциплины…………………………………….

- тесты…………………………………………………………………..

- слайды по курсу………………………………………………………

- электронный вариант УМК………………………………………….

4. Использованная литература…………..……………………………..

**МОДУЛЬ 1. ЛЕКЦИЯ 1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ«ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

История развития методов моделирования и идентификации технологических процессов.

Общие сведения о математических моделях, используемых на промышленных предприятиях.

Научные результаты в области моделирования и идентификации технологических процессов,

интенсификации производств.

Ключевые слова: моделирование, алгоритмы моделирования, идентификация, методы идентификации, сберегающие энергетические ресурсы,экологически сбалансированные технологические процессы,ускорение научно- технического прогресса, единичные мощности, производственные мощности, эксплуатационные расходы, интенсификация, схемы управления.

Дальнейшее экономическое развитие суверенного Узбекистана, переход к рыночным отношениям требуют интенсификации производств, повышения их эффективности и ускорения научно- технического прогресса. При этом перспективы долгосрочного развития экономики как в нашей стране, так и за рубежом, определяются сегодня такими направлениями, как разработка научных основ и широкое использование технологических принципов создания производств, сберегающих энергетические ресурсы, повышение единичной мощности существующего оборудования при одновременном уменьшении его габаритов, создание новых высокоинтенсивных экологически сбалансированных технологических процессов.

Требование постоянной экономии энергии и наблюдаемое в международном масштабе (особенно в странах СНГ и бывших странах народной демократии) простаивание производственных мощностей однозначно изменили основные оценки операций в химической и нефтехимической технологии. Так, например, если в 70-е годы выдвигалось требование максимальной производительности, а в 80-е годы - экономии сырья и исходных реагентов, то в настоящее время явственно преобладает требование резкого сокращения энергетических расходов, повышения качества конечной продукции.

При решении проблемы организации мероприятий, направленных на получение продуктов особой чистоты и на снижение энергетических затрат, необходимо выбирать такой вариант, который обеспечивал бы минимизацию как капитальных, так и эксплуатационных расходов при его реализации.

Требования в области защиты окружающей среды также расширяют круг задач, стоящих перед химиками-технологами и химиками-экспериментаторами при создании новых производств.

Реконструкция и ввод новых производств в химической, биохимической и нефтехимической промышленностях республики продиктованы:

а) отсутствием резервов модернизации в силу специфики технологии, морального и физического износа оборудования;

б) необходимостью обеспечения страны продукцией, ранее поставлявшейся из других стран;

в) целесообразностью выпуска продуктов с гарантированным эффективным сбытом на внешнем рынке.

В химической, нефтехимической и смежных отраслях промышленности стадии разделения многокомпонентных смесей часто представляют собой совокупность целого ряда тарельчатых или насадочных колонн, объединяемых в единый комплекс посредством промежуточных потоков полупродуктов.

Иначе говоря, при создании и исследовании производственных систем необходимо располагать алгоритмами моделирования как отдельных аппаратов, так и их комплексов. При наличии достаточно точных математических описаний отдельных аппаратов выбирать наиболее целесообразные схемы управления, а также определять оптимальные режимы совмещения и эксплуатации каждого локального аппарата с учетом взаимосвязи всех без исключения аппаратов технологического комплекса.

Естественно, подобные новые методы интенсификации химико-технологических процессов (ХТП) являются весьма сложными объектами научного исследования, в связи с чем возникает необходимость разработки и использования соответствующей методологии проведения научно-исследовательских и опытно- конструкторских работ. Эта методология должна позволить с возможно малыми затратами времени и средств получать конечные результаты требуемой надежности. Новые эффективные методы исследования, в том числе и методы моделирования исследуемых объектов, основанные на теории планирования эксперимента, должны стать надежной базой такой методологии.

Данная дисциплина имеет целью решение проблемы математического моделирования технологических процессов, а также создание теоретических основ и методики проведения научно- исследовательских и опытно-конструкторских работ по исследованию закономерностей протекания технологических процессов.

Любой химико-технологический процесс может быть рассмотрен как часть сложной химико-технологической системы (СХТС), под которой надо понимать совокупность процессов и аппаратов, объединенных материальными и энергетическими потоками, для выполнения единой технологической цели в условиях внешних и внутренних возмущающих воздействий. СХТС свойственны все признаки больших (или сложных) систем, обусловливающие сложность задач анализа и синтеза и требующие разработки специальных методов и средств решения этих задач на основе применения средств вычислительной техники.

Разработка, проектирование и управление сложными технологическими процессами должны базироваться на использовании системного подхода к анализу и синтезу производства. Для успешного анализа (определения свойств системы по ее структуре и значениям параметров) и синтеза (определения структуры и значений параметров системы по заданным свойствам) требуется достаточно глубокая качественная и количественная оценка поведения и свойств как системы в целом, так и ее элементов в различных условиях функционирования.

Количественная оценка поведения СРРП и систем (СРРПиС) может быть получена расчетным путем, если имеются математические модели отдельных элементов системы и условия их взаимодействия и взаимовлияния.

Характерным свойством сложной ХТС является возможность ее расчленения на отдельные функциональные подсистемы по тому или иному признаку. Чаще всего сама организация сложного процесса дает способ расчленения сложной динамической системы на отдельные, локальные элементы. Как правило, для СХТС в качестве элементов могут быть приняты отдельные аппараты (химический реактор, ректификационная колонна, абсорбер, теплообменник и т.д.), в которых протекают типовые процессы химической технологии.

Решение задач моделирования сложных СРРП и С предполагает наличие математических моделей ее элементов, структуры и экономического критерия функционирования системы. Основные трудности, возникающие при этом, обусловлены выбором способа представления математических описаний отдельных процессов в элементах исходной СХТС.

Для обеспечения универсальности и гибкости при моделировании сложных ХТП и ХТС в настоящее время широко применяется модульный принцип построения моделирующих систем. Это означает, что математическое описание СХТС представляется в виде набора вычислительных и системных модулей. В качестве вычислительных модулей используют математические описания отдельных элементов СХТС (реактора, абсорбера, ректификационной колонны, теплообменника и т.д.) или группы элементов (ректификационная колонна с кубом и дефлегматором и т.д.), а связь вычислительных модулей друг с другом задается уравнением системных модулей.

**Идентификация математического описания** объекта является основным этапом в построении адекватной математической модели процесса и поэтому представляет собой одну из центральных задач математического моделирования химико-технологических процессов.

В настоящее время наиболее разработана теория оценивания линейных по параметрам математических моделей.

***Однако большинство моделей химико-технологических процессов нелинейны по параметрам***, что создает значительные трудности при решении задач их идентификации.

Поэтому часто идентификацию нелинейных моделей проводят либо с помощью приближенных оценок, либо путем линеаризации исходной модели.

**ЛЕКЦИЯ 2.ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Постановка задачи моделирования

Задача идентификации

Моделирование – как метод познания

Философские задачи моделирования

Физическое и математическое моделирование

**Ключевые слова:** модель, физическая модель, математическая модель,задача моделирования,структура модели, прямая и обратная задача моделирования,методы анализа и синтеза,экспериментальные методы изучения реальных явлений,аналитические методы изучения реальных явлений, аналогия,физико-химические системы, установление соответствия (адекватности).

**Постановка задачи моделирования.** Задача моделирования делится на прямую и обратную.

При постановке прямой задачи структура модели и все ее параметры считаются известными, главная задача сводится к проведению исследований модели с целью извлечения дополнительных полезных знаний об объекте.

**Обратная задача**: известно множество возможных моделей, надо выбрать конкретную модель на основании дополнительных данных об объекте. Чаще всего, структура модели известна, и необходимо определить некоторые неизвестные параметры. Дополнительная информация может состоять в дополнительных эмпирических данных, или в требованиях к объекту (*задача проектирования*). Дополнительные данные могут поступать независимо от процесса решения обратной задачи (*пассивное наблюдение*) или быть результатом специально планируемого в ходе решения эксперимента (*активное наблюдение*).

**Задача идентификации** заключается в определении структуры системы уравнений математического описания и значений её коэффициентов, которые обеспечивают наилучшее совпадение выходных переменных модели и процесса при одинаковых входных воздействиях. Процедура идентификации обеспечивает адекватность (соответствие) модели моделируемому объекту.

**Моделирование – как метод познания**.С развитием системных исследований, с расширением экспериментальных методов изучения реальных явлений все большее значение приобретают абстрактные методы, появляются новые научные дисциплины, автоматизируются элементы умственного труда. Важное значение при создании реальных систем имеют математические методы анализа и синтеза, целый ряд открытий базируется на чисто теоретических изысканиях. Однако было бы неправильно забывать о том, что основным критерием любой теории является практика, и даже сугубо математические, отвлеченные науки базируются в своей основе на фундаменте практических знаний.

Одновременно с развитием теоретических методов анализа и синтеза совершенствуются и методы экспериментального изучения реальных объектов, появляются новые средства исследования. Однако эксперимент был и остается одним из основных и существенных инструментов познания. Подобие и моделирование позволяют по-новому описать реальный процесс и упростить экспериментальное его изучение. Совершенствуется и само понятие моделирования. Если раньше моделирование означало реальный физический эксперимент либо построение макета, имитирующего реальный процесс, то в настоящее время появились новые виды моделирования, в основе которых лежит постановка не только физических, но также и математических экспериментов.

Познание реальной действительности является длительным и сложным процессом. Определение качества функционирования большой системы, выбор оптимальной структуры и алгоритмов поведения, построение системы в соответствии с поставленной перед нею целью — основная проблема при проектировании современных систем (в том числе и АСУ), поэтому моделирование можно рассматривать как один из методов, используемых при проектировании и 'исследовании больших систем.

**Философские задачи моделирования**. Моделирование базируется на некоторой аналогии реального и мысленного эксперимента. Аналогия — основа для объяснения изучаемого явления, однако критерием истины может служить только практика, только опыт. Хотя современные научные гипотезы могут создаваться чисто теоретическим путем, но по сути базируются на широких практических знаниях. Для объяснения реальных процессов выдвигаются гипотезы, для подтверждения которых ставится эксперимент либо проводятся такие теоретические рассуждения, которые логически подтверждают их правильность. В широком смысле под *экспериментом* можно понимать некоторую процедуру организации и наблюдения каких-то явлений, которые осуществляют в условиях, близких к естественным, либо имитируют их.

Различают *пассивный эксперимент,* когда исследователь наблюдает протекающий процесс, и *активный,* когда наблюдатель вмешивается и организует протекание процесса. В последней время распространен активный эксперимент, поскольку именно на его основе удается выявить критические ситуации, получить наиболее интересные закономерности, обеспечить возможность повторения эксперимента в различных точках и т. д.

В основе любого вида моделирования лежит некоторая модель, имеющая соответствие, базирующееся на некотором общем качестве, которое характеризует реальный объект. Объективно реальный объект обладает некоторой формальной структурой, поэтому для любой модели характерно наличие некоторой структуры, соответствующей формальной структуре реального объекта, либо изучаемой стороне этого объекта.

Процессы химической технологии - это сложные физико-химические системы, имеющие двойственную детерминированно-стохастическую при­роду, переменные в пространстве и во времени. Участвующие в них потоки вещества, как правило, многофазные и многокомпонентные. В ходе проте­кания процесса в каждой точке фазы и на границах раздела происходит перенос импульса, энергии, массы. Весь процесс в целом протекает в аппа­рате с конкретными геометрическими характеристиками, оказывающими, в свою очередь, влияние на характер этого процесса.

Существенная особенность химико-технологических процессов состоит в том, что совокупность составляющих их явлений носит детерминированно-стохастическую природу, проявляющуюся в наложении стохастических особенностей гидродинамической обстановки в. аппарате на процессы массо-, теплопереноса и химического превращения. Это объясняется случайным взаимодействием составляющих компонентов фаз (соударением частиц, их дроблением, коалесценцией, случайным блужданием по объему аппарата) или случайным характером геометрии граничных условий в аппарате (случайное расположение элементов беспорядочно уложенной насадки, зерен катализатора, производственная ориентация межфазной границы движущихся сред и т.п.).

Подобного рода системы характеризуются чрезвычайно сложным взаимодействием составляющих их фаз и компонентов, вследствие чего изучение их с позиций классических детерминированных законов переноса и сохранения становится невозможным.

Как же изучать химико-технологические процессы? Ключ к решению этой проблемы дает метод математического моделирования, базирующийся на стратегии системного анализа, сущность которой заключается в представ­лении процесса как сложной взаимодействующей иерархической системы с последующим качественным анализом ее структуры, разработкой математического описания и оценкой неизвестных параметров. Так, например, при рассмотрении явлений, возникающих в процессе движения ансамбля частиц, капель или пузырьков газа в сплошной жидкой среде, выделяют пять уровней иерархии эффектов: 1) совокупность явлений на атомарно-молекулярном уровне; 2) эффекты в масштабе надмолекулярных или глобулярных структур; 3) множество физико-химических явлений, свя­занных с движением единичного включения дисперсной фазы, с учетом химических реакций и явлений межфазного энерго- и массопереноса; 4) физико-химические процессы в ансамбле включений, перемещающихся в сплошной фазе; 5) совокупность процессов, определяющих макрогидро-динамическую обстановку в масштабе аппарата. Такой подход позволяет наиболее полно установить совокупность явлений всего процесса и связей между ними.

Под математическим моделированием понимают изучение свойств объекта на математической модели. Его целью является определение опти­мальных условий протекания процесса, управление им на основе матема­тической модели и перенос результатов на объект.

Основным понятием метода математического моделирования является понятие математической модели. ***Математической моделью*** называется приближенное описание какого-либо явления или процесса внешнего мира, выраженное с помощью математической символики.

Математическое моделирование включает три взаимосвязанных этапа:

1) составление математического описания изучаемого объекта;

2) выбор метода решения системы уравнений математического описания и реализация его в форме моделирующей программы;

3) установление соответствия (адекватности) модели объекту.

На этапе составления математического описания предварительно вы­деляют основные явления и элементы в объекте и затем устанавливают связи между ними. Далее, для каждого выделенного элемента и явления записывают уравнение (или систему уравнений), отражающее его функ­ционирование. Кроме того, в математическое описание включают уравнения связи между различными выделенными явлениями. В зависимости от процесса математическое описание может быть представлено в виде системы алгебраических, дифференциальных, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений.

Этап выбора метода решения и разработки моделирующей программы подразумевает выбор наиболее эффективного метода решения из имеющихся (под эффективностью имеются в виду быстрота получения и точность решения) и реализацию его сначала в форме алгоритма решения, а затем — в форме программы, пригодной для расчета на ЭВМ.

Построенная на основе физических представлений модель должна верно качественно и количественно описывать свойства моделируемого процесса, т.е. она должна быть адекватна моделируемому процессу. Для проверки адекватности математической модели реальному процессу нужно сравнить результаты измерений на объекте в ходе процесса с результатами предсказания модели в идентичных условиях.

Этап установления адекватности модели является заключительным впоследовательности этапов, выполняемых при ее разработке. На рис. 2.1 изображена общая схема разработки математической модели.

При построении математической модели реальное явление упрощается, схематизируется, и полученная схема описывается в зависимости от сложности явлений с помощью того или иного математического аппарата.

От правильности учета в модели характерных черт рассматриваемого процесса зависят успех исследования и ценность полученных результатов моделирования.



Рис. 2.1 Этапы разработки математической модели

В модели должны быть учтены все наиболее существенные факторы, влияющие на процесс, и вместе с тем она не должна быть загромождена множеством мелких, второстепенных факторов, учет которых только усложнит математический анализ и сделает исследование либо чрезмерно громоздким, либо вообще нереализуемым.

Метод математического моделирования применяют при изучении свойств процессов, для которых имеется достаточно точное математическое описание. В зависимости от степени полноты математического описания можно выделить два предельных случая:

а) известны полная система уравнений, описывающая все основные стороны моделируемого процесса, и все числовые значения параметров этих уравнений;

б) полное математическое описание процесса отсутствует.

Этот второй случай типичен для решения задач, в которых приходится иметь дело с управлением процессами при наличии неполной информации об объекте и действующих на него возмущениях. При отсутствии достаточной информации об исследуемых явлениях их изучение начинается с построения простейших моделей, но без нарушения основной (качественной) специфики исследуемого процесса.

Таким образом, по результатам опытов с моделью мы должны количественно предсказать поведение оригинала в рабочих условиях.

Под объектами моделирования в производстве следует понимать:

1.Технологические системы (ТС) – участки из технологического оборудования, автоматические линии, гибкие производственные системы (ГПС)

2.Технологические процессы (ТП).

3.Физические и химические процессы (ФХП), протекающие при функционировании технологического оборудования.

К процессу моделирования предъявляют два основных требования.

Во-первых, эксперимент на модели должен быть проще, быстрее, экономичнее, безопаснее, чем эксперимент на оригинале.

Во-вторых, нам должно быть известно правило, по которым проводится расчет параметров оригинала на основе испытания модели. Без этого даже самое лучшее моделирование окажется бесполезным.

В чистом виде (по- отдельности) математические модели данных объектов применяются довольно редко, как правило, они комбинированные.Например, в математических моделях ТС используются математические модели ТП, в которых, в свою очередь, применяются математические модели ФП , ХП и ФХП.

В современной науке термин модель применяют в нескольких значениях.

Модель – это некоторый объект, который на разных этапах исследования может заменять исследуемый объект.

Модель – это целевой образ объекта оригинала, отражающий наиболее важные свойства для достижения поставленной цели.

Модель – это мысленно представляемая, либо материально реализованная система, которая может отображать или воспроизводить объект исследования, а также замещать его с целью изучения и представления новой информации об объекте.

Таким образом, создание каждой модели всегда имеет какую-либо цель.

Математические модели разрабатываются для:

1.Описания ФП, ФХП, ТП, ТС.

2.Исследовани ФП, ФХП, ТП, ТС.

3.Проектирования ТП, ТС.

4.Оптимизации в ходе проектирования ТП, ТС

5.Построения систем автоматизированного проектирования.

Вид, состав и сложность математической модели зависит от того, какой объект она описывает и для каких целей разработана.

**Пример.**Реакция получения продукта Р:



Основные стадии:

**Технологическая схема процесса получения продукта Р (ХТС) Рис.2.2.**

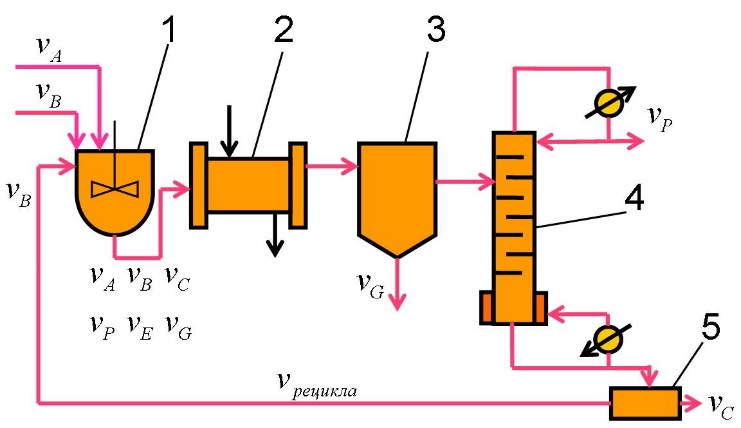


Рис.2.2.

**ЛЕКЦИЯ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ**

Мысленное моделирование.

Наглядное моделирование.

Аналоговое моделирование.

Языковое моделирование.

Математическое моделирование.

Имитационное моделирование.

Комбинированное моделирование.

Реальное моделирование.

**Ключевые слова:** теория подобия,классификации видов моделирования,полное и неполное подобие модели изучаемому объекту, виды моделирования,детерминированное моделирование, стохастическое моделирование, дискретно-непрерывное моделирование,тезаурус, методы исследования аналитической модели.

В основе моделирования лежит ***теория подобия****,* которая утверждает, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене одного объекта другим точно таким же. При моделировании абсолютное подобие не имеет места и стремятся к тому, чтобы модель достаточно хорошо отображала исследуемую сторону функционирования объекта. Поэтому в качестве одного из первых признаков классификации видов моделирования можно выбрать степень полноты модели и разделить модели в соответствии с этим признаком на полные, неполные и приближенные. В основе полного моделирования лежит полное подобие, которое проявляется как во времени, так и в пространстве. Для неполного моделирования характерно неполное подобие модели изучаемому объекту. В основе приближенного моделирования лежит приближенное подобие, при котором некоторые стороны функционирования реального объекта не моделируются совсем.

Классификация видов моделирования систем S приведена на рис.2.3. В зависимости от характера изучаемых процессов в системе S все виды моделирования могут быть разделены на детерминированные и стохастические, статические и динамические, дискретные, непрерывные и дискретно - непрерывные. ***Детерминированное моделирование*** отображает детерминированные процессы, т. е. процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий; ***стохастическое моделирование*** отображает вероятностные процессы и события. В этом случае анализируется ряд реализаций случайного процесса и оцениваются средние характеристики, т. е. набор однородных реализаций. ***Статическое моделирование***служит для описания поведения объекта в какой-либо момент времени, а *динамическое* ***моделирование*** отражает поведение объекта во времени. ***Дискретное моделирование*** служит для описания процессов, которые предполагаются дискретными, соответственно непрерывное моделирование позволяет отразить непрерывные процессы в системах, а ***дискретно-непрерывное моделирование***используется для случаев, когда хотят выделить наличие как дискретных, так инепрерывных процессов.

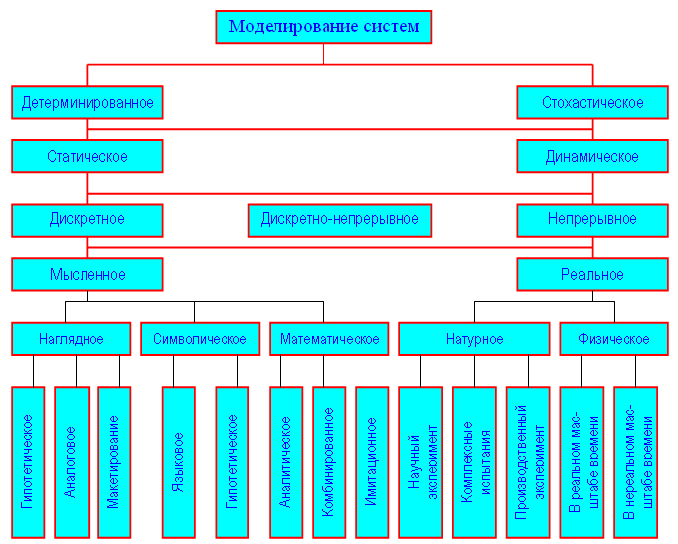


Рис.2.3. Классификация видов моделирования систем

В зависимости от формы представления объекта (системы S) можно выделить мысленное и реальное моделирование.

***Мысленное моделирование***часто является единственным способом моделирования объектов, которые либо практически не реализуемы в заданном интервале времени, либо существуют вне условий, возможных для их физического создания. Например, на базе мысленного моделирования могут быть проанализированы многие ситуации микромира, которые не поддаются физическому эксперименту. Мысленное моделирование может быть реализовано в виде наглядного, символического и математического.

***Наглядное моделирование****.*

При *наглядном моделировании*на базе представлений человека о реальных объектах создаются различные наглядные модели, отображающие явления и процессы, протекающие в объекте. В основу *гипотетического моделирования* исследователем закладывается некоторая гипотеза о закономерностях протекания процессов реальном объекте, которая отражает уровень знаний исследователя об объекте и базируется на причинно-следственных связях между входом и выходом изучаемого объекта. Гипотетическое моделирование используется, когда знаний об объекте недостаточно для построения формальных моделей.

***Аналоговое моделирование*.**

*Аналоговое моделирование*основывается на применении аналогий различных уровней. Наивысшим уровнем является полная аналогия, имеющая место только для достаточно простых объектов. С усложнением объекта используют аналогии последующих уровней, когда аналоговая модель отображает несколько либо только одну сторону функционирования объекта.

Существенное место при мысленном наглядном моделировании занимает ***макетирование****.* Мысленный макет может применяться в случаях, когда протекающие в реальном объекте процессы не поддаются физическому моделированию, либо может предшествовать проведению других видов моделирования. В основе построения мысленных макетов также лежат аналогии, однако обычно базирующиеся на причинно-следственных связях между явлениями и процессами в объекте. Если ввести условное обозначение отдельных понятий, т. е. знаки, а также определенные операции между этими знаками, то можно реализовать з*наковое моделирование* и с помощью знаков отображать набор понятий — составлять отдельные цепочки из слов . и предложений. Используя операции объединения, пересечения и дополнения теории множеств, можно в отдельных символах дать описание какого-то реального объекта.

***Языковое моделирование.***

В основе *языкового моделирования*лежит некоторый тезаурус. Последнийобразуется из набора входящих понятий, причем этот набор должен быть фиксированным. Следует отметить, что между тезаурусом и обычным словарем имеются принципиальные различия. Тезаурус — словарь, который очищен от неоднозначности, т. е. в нем каждому слову может соответствовать лишь единственное понятие, хотя в обычном словаре одному слову могут соответствовать несколько понятий.

**Символическое моделирование**представляет собой искусственный процесс создания логического объекта, который замещает реальный и выражает основные свойства его отношений с помощью определенной системы знаков или символов.

Для исследования характеристик процесса функционирования любой системы 5 математическими методами, включая и машинные, должна быть проведена формализация этого процесса, т. е. построена математическая модель.

**Математическое моделирование**.

Под *математическим моделированием*будем понимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и от задач исследования объекта и требуемой достоверности и точности решения этой задачи. Любая математическая модель, как и всякая другая, описывает реальный объект лишь с некоторой степенью приближения к действительности. Математическое моделирование для исследования характеристик процесса функционирования систем можно разделить на аналитическое, имитационное и комбинированное.

Для *аналитического моделирования*характерно то, что процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений (алгебраических, интегро-дифференциальных, конечно-разностных и т. п.) или логических условий.

**Методы исследования аналитической модели.**

Аналитическая модель может быть исследована следующими методами:

а) аналитическим, когда стремятся получить в общем виде явные зависимости для искомых характеристик;

**б)** численным, когда, не умея решать уравнений в общем виде, стремятся получить числовые результаты при конкретных начальных данных;

в) качественным, когда, не имея решения в явном виде, можно найти некоторые свойства решения (например, оцедить устойчивость решения).

Наиболее полное исследование процесса функционирования системы можно провести, если известны явные зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными системы **S**. Однако такие зависимости удается получить только для сравнительно простых систем. При усложнении систем исследование их аналитическим методом наталкивается па значительные трудности, которые часто бывают непреодолимыми. Поэтому, желая использовать аналитический метод, в этом случае идут на существенное упрощение первоначальной модели, чтобы иметь возможность изучить хотя бы общие свойства системы. Такое исследование на упрощенной модели аналитическим методом помогает получить ориентировочные результаты для определения более точных оценок другими методами.

Численный метод позволяет исследовать по сравнению с аналитическим методом более широкий класс систем, но при этом полученные решения носят частный характер. Численныйметод особенно эффективен при использовании ПК.

В отдельных случаях исследователя системы могут удовлетворить и те выводы, которые можно сделать при использовании качественного метода анализа математической модели. Такие качественные методы широко используются, например, в теории автоматического управления для оценки эффективности различных вариантов систем управления.

В настоящее время распространены методы машинной реализации исследования характеристик процесса функционирования больших систем. Для реализации математической модели на ЭВМ необходимо построить соответствующий моделирующий алгоритм.

**Имитационное моделирование**.

При *имитационном моделировании*реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы ***S*** во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы *S*.

Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и др., которые часто создают трудности при аналитических исследованиях. В настоящее время имитационное моделирование — наиболее эффективный метод исследования больших систем, а часто и единственный практически доступный метод получения информации о поведении системы, особенно на этапе ее проектирования.

Когда результаты, полученные при воспроизведении на имитационной модели процесса функционирования системы S, являются реализациями случайных величин и функций, тогда для нахождения характеристик процесса требуется его многократное воспроизведение с последующей статистической обработкой информации и целесообразно в качестве метода машинной реализации имитационной модели использовать метод статистического моделирования. Первоначально был разработан метод статистических испытаний, представляющий собой численный метод, который применялся для моделирования случайных величин и функций, вероятностные характеристики которых совпадали с решениями аналитических задач (такая процедура получила название метода Монте - Карло). Затем этот прием стали применять и для машинной имитации с целью исследования характеристик процессов функционирования систем, подверженных случайным воздействиям, т. е. появился метод статистического моделирования

Таким образом, метод статистического моделирования будем в дальнейшем называть методом машинной реализации имитационной модели, а методом статистических испытаний (Монте - Карло) будем называть численный метод решения аналитической задачи.

Метод имитационного моделирования позволяет решать задачи анализа больших систем S, включая задачи оценки: вариантов структуры системы, эффективности различных алгоритмов управ­ления системой, влияния изменения различных параметров системы. Имитационное моделирование может быть положено также в основу структурного, алгоритмического и параметрического синтеза больших систем, когда требуется создать систему с задан­ными характеристиками при определенных ограничениях, которая является оптимальной по некоторым критериям оценки эффективности.

При решении задач машинного синтеза систем на основе их имитационных моделей, помимо разработки моделирующих алгоритмов для анализа фиксированной системы, необходимо также разработать алгоритмы поиска оптимального варианта системы. Далее в методологии машинного моделирования будем различать два основных раздела: статику и динамику, основным содержанием которых являются соответственно вопросы анализа и синтеза систем, заданных моделирующими алгоритмами.

**Комбинированное моделирование**.

*Комбинированное* (*аналитико-имитационное*) *моделирование* при анализе и синтезе систем позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования. При построении комбинированных моделей проводится предварительная декомпозиция процесса функционирования объекта на составляющие подпроцессы, и для тех, из них, где это возможно, используются аналитические модели, а для остальных под процессов строятся имитационные модели. Такой комбинированный подход позволяет охватить качественно новые классы систем, которые не могут быть исследованы с использованием только аналитического и имитационного моделирования в отдельности.

**Реальное моделирование**.

При *реальном моделировании* используется возможность исследования различных характеристик либо на реальном объекте целиком, либо на его части. Такие исследования могут проводиться как на объектах, работающих в нормальных режимах, так и при организации специальных режимов для оценки интересующих исследователя характеристик (при других значениях пере­менных и параметров, в другом масштабе времени и т. д.). Реальное моделирование является наиболее адекватным, но при этом его возможности с учетом особенностей реальных объектов ограничены. Например, проведение реального моделирования АСУ предприятием потребует, во-первых, создания такой АСУ, а во-вторых, проведения экспериментов с управляемым объектом, т. с. предприятием, что в большинстве случаев невозможно. Рассмотрим разновидности реального моделирования.

Особое место в моделировании занимает кибернетическое моделирование, в котором отсутствует непосредственное подобие физических процессов, происходящих в моделях, реальным процессам. В этом случае стремятся отобразить лишь

некоторую функцию и рассматривают реальный объект как «черный ящик», имеющий ряд входов и выходов, и моделируются некоторые связи между выходами и входами. Чаще всего при использовании кибернетических моделей проводят анализ поведенческой стороны объекта при различных воздействиях внешней среды. Таким образом, в основе кибернетических моделей лежит отражение некоторых информационных процессов управления, что позволяет оценить поведение реального объекта. Для построения имитационной модели в этом случае необходимо выделить исследуемую функцию реального объекта, попытаться формализовать эту функцию в виде некоторых операторов связи между входом и выходом и воспроизвести на имитационной модели данную функцию, причем на базе совершенно иных математических соотношений и, естественно, иной физической реализации процесса.

**МОДУЛЬ 2. ЛЕКЦИЯ 4. СТРУКТУРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ЕЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ.**

Структура системы.

Принципы системного анализа технологических процессов

Уровни иерархии производств

Типы моделей

Типы систем уравнений математического описания (МО)

Алгоритм решения системы уравнений МО

Адекватность математической модели

Оптимизация процесса с использованием компьютерной модели

**Ключевые слова:** система, анализ исинтез больших систем, внешняя среда, слияние компонент, структура системы, системный подход,процесс синтеза модели, система автоматического управления, ошибки управления, иерархичность, комплексность, иерархическая соподчинённость.

В настоящее время при анализе и синтезе больших систем получил развитие *системный подход,* который отличается от классического (или индуктивного) подхода. Последний рассматривает систему путем перехода от частного к общему и синтезирует (конструирует) систему путем слияния ее компонент, разрабатываемых раздельно. В отличие от этого системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель, причем исследуемый объект выделяется из окружающей среды.

Специалисты по проектированию и эксплуатации АСУ имеют дело с системами управления различных уровней, обладающими общим свойством — стремлением достичь некоторой цели. Эту особенность учтем в следующих определениях системы.

*Система S* — целенаправленное множество взаимосвязанных элементов любой природы.

*Внешняя среда Е*— множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее воздействием.

В зависимости от цели исследования могут рассматриваться разные соотношения между самим объектом **S** и внешней средой ***Е****.* Таким образом, в зависимости от уровня, на котором находится наблюдатель, объект исследования может выделяться но-разному и могут иметь место различные взаимодействия этого объекта с внешней средой.

С развитием науки и техники сам объект непрерывно усложняется и уже сейчас говорят об объекте исследования как о некоторой сложной системе, которая состоит из различных компонент, взаимосвязанных друг с другом. Поэтому рассматривая системный подход как основу для построения больших систем и как базу создания методики их анализа и синтеза, прежде всего необходимо определить само понятие системного подхода.

Можно привести разные определения системного подхода, но наиболее правильно то, которое позволяет оценить познавательную сущность этого подхода при таком методе исследования систем, как моделирование. Поэтому весьма важным является выделение самой системы ***S*** и внешней среды ***E*** из объективно существующей реальности и описание системы исходя из общесистемных позиций.

При системном подходе к моделированию систем необходимо прежде всего четко определить цель моделирования. Поскольку невозможно полностью смоделировать реально функционирующую систему (систему-оригинал или первую систему), создается модель (система-модель или вторая система) под поставленную проблему. Таким образом, применительно к вопросам моделирования цель возникает из требуемых задач моделирования, что позволяет подойти к выбору критерия и оценить, какие элементы войдут в создаваемую модель ***М****.* Поэтому необходимо иметь критерий отбора отдельных элементов в создаваемую модель.

**Структура системы**

Важным для системного подхода является определение ***структуры системы***— совокупности связей между элементами системы, отражающих их взаимодействие. Структура системы может изучаться извне с точки зрения состава отдельных подсистем и отношений между ними, а также изнутри, когда - анализируются отдельные свойства, позволяющие системе достигать заданной цели, т. е, когда изучаются функции системы. В соответствии с этим наметился ряд подходов к исследованию структуры системы и ее свойств, к которым следует прежде всего отнести структурный и функциональный.

При *структурном подходе* выявляются состав выделенных элементов системы ***S*** и связи между ними. Совокупность элементов **n** связей между ними позволяет судить о структуре системы. Последняя в зависимости от цели исследования может быть описана на разных уровнях рассмотрения. Наиболее общее описание структуры — это топологическое описание, позволяющее определить в самых общих понятиях составные части системы и хорошо формализуемое на базе теории графов.

Менее общим является функциональное описание, когда рассматриваются отдельные функции, т. е. алгоритмы поведения системы, и реализуется *функциональный подход,* оценивающий функции, которые выполняет система, причем под функцией понимается свойство, приводящее к достижению цели. Поскольку функция отображает свойство, а свойство отображает взаимодействие системы ***S*** с внешней средой ***E***, то свойства могут быть выражены в виде либо некоторых характеристик элементов *Si(j)* и подсистем ***Si***системы, либо системы ***S*** в целом.

При наличии некоторого эталона сравнения можно ввести количественные и качественные характеристики систем. Для количественной характеристики вводятся числа, выражающие отношения между данной характеристикой и эталоном. Качественные характеристики системы находятся, например, с помощью метода экспертных оценок.

Проявление функций системы во времени ***S(t****)*, т. е. *функционирование системы,* означает переход системы из одного состояния в другое, т. е. движение в пространстве состояний ***Z***. При эксплуатации системы **S** весьма важно качество ее функционирования, определяемое показателем эффективности, являющееся значением критерия опенки эффективности. Существуют различные подходы к выбору критериев оценки эффективности. Система ***S*** может оцениваться либо совокупностью частных критериев, либо некоторым общим интегральным критерием.

Следует отметить, что создаваемая модель ***М***с точки зрения системного подхода также является системой, т. е. *S' = S'(M)*, и может рассматриваться по отношению к внешней среде ***E***. Наиболее просты по представлению модели, в которых сохраняется прямая аналогия явления. Применяют также модели, в которых

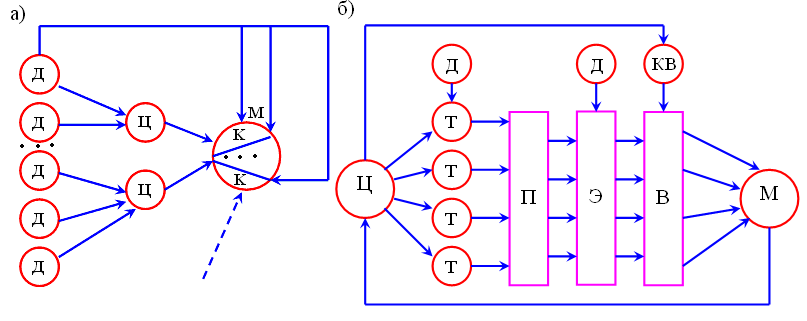


Рис. 41. Процесс синтеза модели на основе классического (а) и системного (б) подходов

нет прямой аналогии, а сохраняются лишь законы и общие закономерности поведения элементов системы ***S***. Правильное понимание взаимосвязей как внутри самой модели ***М****,* так n взаимодействия ее с внешней средой ***Е***в значительной степени определяемся тем, на каком уровне находится наблюдатель.

Современная управляющая система — это совокупность программно-технических средств, обеспечивающих достижение объектом управления определенной цели. Насколько точно объект управления достигает заданной цели, можно судить для одномерной системы по координате состояния *у(t)*. Разность между заданным *yзад(t)*и действительным *у(t)*законом изменения управляемой величины есть ошибка управления *h'(t) =yзад(t) — y(t)*. Если предписанный закон изменения управляемой величины соответствует закону изменения входного (задающего) воздействия,т.е. *х(t)=узад(t)*, то *h'(t)=x(t)-y(t)*.

Системы, для которых ошибки управления *h'(t)=0* во все моменты времени, называются идеальными. На практике реализация идеальных систем невозможна. Таким образом, ошибка *h'(t)*— необходимый субстат автоматического управления, основанною на принципе отрицательной обратной связи, так как для приведения

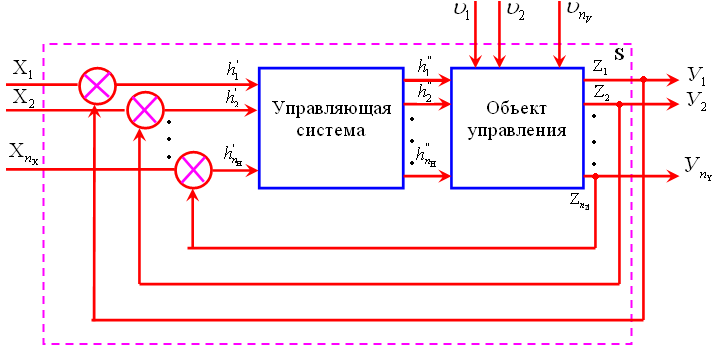


Рис. 4.2. Структура системы автоматического управления

в соответствие выходной переменной *у(t)*ее заданному значению используется информация об отклонении между ними. Задачей системы автоматического управления является изменение переменной *у(t)*согласно заданному закону с определенной точностью (с допустимой ошибкой). При проектировании и эксплуатации систем автоматического управления необходимо выбрать такие параметры системы *S*, которые обеспечили бы требуемую точность управления, а также устойчивость системы в переходном процессе.

**Принципы системного анализа технологических процессов:**

* Иерархичность
* Комплексность
* Иерархическая соподчинённость

Иерархическая соподчинённость: учитываются наиболее приоритетные процессы, которые протекают на более низких ступенях. В то же время тщательное исследование процессов на более низких ступенях очень важно, т.к. это позволяет определить те самые приоритетные процессы, которые должны быть учтены на более высоких ступенях иерархии.

**Уровни иерархии производств**

1. Микроуровень – процессы и явления описываются без учёта влияния закономерностей движения потоков фаз в аппаратах
2. Макроуровень - ФХС – секции аппарата или насадка аппарата. Все процессы записываются с учётом движения потока фаз.
3. ТС – уровень производства. Совокупность аппаратов, связанных между собой материальными, тепловыми, информационными потоками.
4. Уровень предприятия – несколько производств, объединённых цепью функционирования. Действуют экономические закономерности.
5. Компания или объединение.

**Типы моделей ТП (ФХС)**

Рисунок2

**Фундаментальные комбинированные**

МО: Сложные интегро-дифференциальные уравнения, детально описывающие процессы, в т.ч. на атомно-молекулярном уровне.

**Структурно-блочные**

МО: Модельное описание «элементарных» процессов, в основе которого лежат балансовые уравнения гидродинамики, включающие интенсивности источников массы, тепла и импульса.

**Эмпирические ( cстатистические)**

МО: Полиномиальное представление зависимости выходных переменных  от входных  в явном виде, получаемые при обработке опытных данных.

**Типы систем уравнений математического описания (МО):**

1. Конечные (СЛАУ и СНУ).
2. Обыкновенные дифференциальные уравнения (СОДУ).
3. Системы дифференциальных уравнений в частных производных (СДУвЧП).

**Алгоритм решения системы уравнений МО или моделирующий алгоритм (МА)**



**Математическая модель**

Математическая Модель – это реализованный на компьютере алгоритм (МА) решения системы уравнений математического описания (МО).Математическая модель – система уравнений, которая связывает между собой входные и выходные переменные реального процесса (МО), для прогнозирования свойств которого необходимо с помощью специального алгоритма решить эту систему уравнений и реализовать этот алгоритм на компьютере.

Рисунок1

**Адекватность математической модели:**

Адекватность – соответствие математической модели реальному объекту и качественное (тенденции изменения переменных в модели и в объекте одинаковы) и количественное (экспериментальные данные).





где ε не меньше погрешности экспериментальных измерений

**Оптимизация процесса с использованием компьютерной модели**

1) Целевая функция – критерий оптимальности ***R***



**Виды критериев оптимальности:**

* Технологические
* Экономические
* Технико-экономические
* Термодинамические

2) Ресурсы оптимизации



 - оптимизирующие (управляющие) переменные



Рисунок4

3) Алгоритм оптимизации

**Формулировка задачи оптимизации для многих переменных:**



**Результат решения задачи оптимизации:**



**Решение задачи для одной переменной:**

Рисунок5



Результат решения задачи одномерной оптимизации:



**Графическое изображение оптимального значения в параметрической плоскости для двух оптимизирующих переменных**

Рисунок6

**ЛЕКЦИЯ 5. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Модели с сосредоточенными параметрами

Модели с распределенными параметрами

Статические модели

Динамические модели

**Ключевые слова:**реализация процесса, аппарат, аппаратурное оформлениемодели, неизменные во времени,мо­дели, неизменные в пространстве,модели, изменяющиеся в пространстве,системой уравнений математического описания.

**В** зависимости от конкретной реализации процесса и его аппаратурного оформления все многообразие химико-технологических процессов можно разделить на четыре класса исходя из временного и пространственного признаков: процессы, переменные во времени (нестационарные); процессы, не меняющиеся во времени (стационарные); процессы, в ходе которых их параметры изменяются в пространстве; и процессы без пространственного изменения параметров. Так как математические модели являются отражением соответствующих объектов, то для них характерны те же классы, а именно: 1) модели, неизменные во времени, — *статические мо­дели;* 2) модели, переменные во времени, — *динамические модели;* 3) мо­дели, неизменные в пространстве, — *модели с сосредоточенными парамет­рами;* 4) модели, изменяющиеся в пространстве, — *модели с распределен­ными параметрами.* Рассмотрим перечисленные классы моделей.

***Модели*** *с* ***сосредоточенными параметрами*.** Для данного класса моде­лей характерно постоянство переменных в пространстве. Математическое описание включает алгебраические уравнения либо дифференциальные уравнения первого порядка для нестационарных процессов. Примером объекта, описываемого данным классом моделей, может служить аппарат с идеальным (полным) перемешиванием потока. Скорость мешалки такова, что кон­центрация во всех точках аппарата одинакова (рис. 5.1*).*

***Модели с распределенными параметрами****.* Если основные переменные процесса изменяются как во времени, так и в пространстве, или если указанные изменения происходят только в пространстве, то модели, описывающие такие процессы, называются моделями с распределенными параметрами. Их математическое описание включают обычно дифференциальные уравнения в частных производных, либо обыкновенные дифференциальные уравнения в случае стационарных процессов с одной пространственной переменной.

*Исходные*

*вещества*

*Продукт*

Рис. 5.1. Пример схемы аппарата реализующего модель идеального смешения

*Исходные*

*вещества*

*l*

*l/d>50*

*d*

Рис.5.2.Пример схемы аппара,реализующего

модель идеального вытеснения

Примером процесса, описываемого такими моделями, служит трубчатый аппарат с большим отношением длины к диаметру и значительной скоростью движения реагентов (рис. 5.2).

***Статические модели***. Статические модели отражают работу объекта в стационарных условиях, т.е. когда параметры процесса не меняются во времени. Соответственно математическое описание в статических моделях не включает время как переменную и состоит из алгебраических уравнений либо дифференциальных уравнений в случае объектов с распределенными параметрами. Примером объекта, описываемого статической моделью, служит аппарат полного смешения объемом *V*в установившемся режиме работы, в который непрерывно подаются реагенты *А* и *В* в количестве *Vji*, *vg*и отводится продукт реакции *Р.*



Математическое описание аппарата включает следующие уравнения материального баланса (для простоты тепловой баланс не рассматривается) :

(5.1)



Здесь *к —* константа скорости реакции.

***Динамические модели*.** Динамическая модель отражает изменение объекта во времени. Математическое описание таких моделей обязательно включает производную по времени. Часто динамическую модель объекта строят в виде передаточных функций, связывающих входные и выходные переменные (представление динамических моделей в виде передаточных функций особенно удобно для целей управления объектом). Примером динамической модели может служить модель рассмотренного выше аппара­та полного смешения, но работающего в неустановившемся режиме. В этом случае математическое описание аппарата включает следующие уравнения материального баланса:

(5.2)



(5.3)



а также начальные условия

при (5.4)



Математическая модель является системой уравнений математического описания, отражающей сущность протекающих в объекте явлений, для которой определен алгоритм решения, реализованный в форме модели­рующей программы. Согласно этому определению математическая модель должна рассматриваться в совокупности трех ее аспектов: смыслового, аналитического и вычислительного.

Смысловой аспект представляет собой физическое описание природы моделируемого объекта.

Аналитический аспект является математическим описанием процесса в виде некоторой системы уравнений, отражающей протекающие в объекте явления и функциональные связи между ними.

Наконец, вычислительный аспект есть метод и алгоритм решения системы уравнений математического описания,- реализованные как модели­рующая программа на одном из языков программирования

Другими словами - математическая модель – это реализованный на компьютере алгоритм решения системы уравнений математического описания (МО),или математическая модель –это система уравнений, которая связывает между собой входные и выходные переменные реального процесса (МО), для прогнозирования свойств которого необходимо с помощью специального алгоритма решить эту систему уравнений и реализовать этот алгоритм на компьютере.

Рисунок1

После составления математической модели определяется ее адекватность.

**ЛЕКЦИЯ 6. СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ОБЪЕКТА**

Блочный принцип построения математических моделей

Составление математического описания аналитическими методами

Составление математического описания экспериментальными методами

Состав математического описания

**Ключевые слова:**построение математических моделей,блок кинетики массо- передачи, блок гидродинамики, блок фазового равновесия, модернизация и замена отдельных блоков,масштабирование процессов,узкий "рабочий" диапазоне

**Блочный принцип построения математических моделей**

При построении математических моделей широко используют блочный принцип, суть которого состоит в том, что модель строится из отдель­ных логически законченных блоков, отражающих обычно ту или иную сторону рассматриваемого процесса. Это может быть блок кинетики массо- передачи, блок гидродинамики, блок фазового равновесия и т.п. Блочный принцип построения моделей позволяет: а) разбить общую задачу построения математической модели на отдельные подзадачи и тем самым упростить ее решение; б) использовать разработанные блоки в других моделях; в) модернизировать и заменять отдельные блоки на новые, не касаясь при этом остальных.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

ПРОЦЕССА

Управления теплового баланса

Управления материального баланса

Управления кинематики процесса

Управления гидродинамики

(структуры потоков)

Управления

равновесия

Управления начальных и граничных условий

Рис. 6.1 Представление математического описания процесса

Представление математической модели процесса в виде совокупности подсистем (блоков) позволяет представить общее математическое описа­ние как совокупность математических описаний отдельных блоков. Тогда общая структура математической модели может иметь вид, изображенный на рис. 6.1.

Применение блочного принципа построения математических моде­лей, который, в свою очередь, основан на системном подходе, позволяет во многих случаях также принципиально решить проблему масштабирова­ния процессов. С точки зрения математического моделирования масштаб­ный переход есть не что иное, как деформация математической модели при изменении геометрических размеров, характеризующих аппаратурное оформление процесса. При использовании блочного принципа построения математической модели влияние геометрических размеров на свойства процесса отражается лишь в одной подсистеме (блоке) - блоке "гидро­динамика". Поэтому при наличии достаточно корректного в качественном и количественном отношении математического описания этого блока ста­новится возможным осуществить масштабный переход.

Принципиально каждый блок математической модели может иметь различную ступень детализации математического описания. Важно лишь, чтобы входные и выходные переменные всех блоков модели находились во взаимном соответствии, что обеспечит получение замкнутой системы уравнений математической модели процесса в целом. Что касается сос­тава внутренних переменных блоков, то здесь существует достаточно боль­шая свобода выбора. В идеале математическое описание каждого блока должно включать уравнения, параметрами которых являются только физи­ко-химические свойства веществ. Однако получить такое фундаментальное описание отдельных блоков при недостаточной исследованности отдельных явлений во многих случаях в настоящее время не представляется возмож­ным. Это связано, как правило, с чрезвычайным усложнением математичес­кого описания блока, что само по себе приводит к резкому усложнению ма­тематической модели процесса в целом и, кроме того, может вызвать опре­деленные вычислительные трудности. Поэтому при практическом использо­вании блочного принципа в математическом описании каждого блока на том или ином уровне его детализации приходится применять эмпирические соотношения.

**Составление математического описания аналитическими методами.**

*Аналитическими методами*составления математического описания обычно называют способы вывода уравнений статики и динамики на основе теоретического анализа физических и химических процессов, происходящих в исследуемом объекте, а также на основе заданных конструктивных параметров аппаратуры и характеристик перерабатываемых веществ. При выводе этих уравнений используются фундаментальные законы сохранения вещества и энергии, а также кинетические закономерности процессов переноса массы и теплоты, химических превращений.

**Составление математического описания экспериментальными методами**

*Экспериментальный метод*составления математического описания используется для управления и исследования объектов в узком, "рабочем" диапазоне изменения входных и выходных переменных. Эти методы чаще всего основываются на предположении о линейности и сосредоточенности параметров объекта.

Принятие этих допущений позволяет сравнительно просто описывать наблюдаемые процессы алгебраическими или линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

При экспериментальном подходе к составлению математического описания всегда требуется постановка опытов непосредственно на изучаемом объекте.

Эмпирические модели применяются когдалибо нет информации о механизме протекающих процессов, либо они плохо поддаются описанию с использованием физико-химических блочных моделей. В этом случае объект (химико-технологический процесс) представляется в виде "чёрного ящика" - кибернетической системы, в которой единственно доступной информацией являются её входные  и выходные переменные:

Рисунок1

где  - вектор входных переменных, влияющих на состояние системы и её свойства,

 - вектор выходных переменных, характеризующих состояние системы.

В общем случае строятся эмпирические модели для каждой отдельной выходной переменной из всех *yi* ( *i =* 1,…) в зависимости от всех входных переменных *xi* ( *i =* 1,…*m* ), т.е.

(1)





,

,...

1

*a*

*x*

*x*

*f*

*y*

*m*



где  - (*m* + 1) коэффициентов эмпирической модели.

Конкретный вид функциональной зависимости (*f*) и значения коэффициентов определяются из опытных данных, т.е. эмпирически.

Так как результаты опытных измерений являются случайными величинами, то для их обработки используется один из наиболее распространённых методов математической статистики – **метод регрессионного и корреляционного анализа**.

**Состав математического описания**. Формально математическое описание представляет собой совокупность зависимостей, связывающих различные переменные процесса в единую систему уравнений. Среди этих соотношений могут быть уравнения, отражающие общие физические законы, уравнения, описывающие "элементарные" процессы, ограничения на переменные процесса и т.д.

Кроме того, в состав математического описания входят также различные эмпирические и полуэмпирические зависимости между разными параметрами процесса, теоретическая форма которых неизвестна или слишком сложна.

В составе математического описания, разработанного на основе физической природы моделируемого объекта, можно выделить следующие группы уравнений:

1. Уравнения сохранения массы и энергии, записанные с учетом гидро­динамической структуры движения потоков. Данная группа уравнений характеризует распределение в потоках температуры, концентраций и связанных с ним свойств.

2. Уравнения элементарных процессов для локальных элементов потоков. К этой группе относятся описания процессов массо- и теплообмена, химических реакций и др.

3.Теоретические, полуэмпирические или эмпирические соотношения между различными параметрами процесса.

Таковы, например, зависимость коэффициента массопередачи от скоростей потоков фаз, зависимость теплоёмкости смеси от состава и т.д.

4.Ограничения на параметры процесса.

Например, при моделировании процесса ректификации многокомпонентных смесей на любой ступени разделения должно выполняться условие, что сумма концентраций всех компонентов равна 1. Кроме того, концентрация любого компонента должна находиться в диапазоне от 0 до 1.

Общим для всех математических моделей является то, что число уравнений, включаемых в математическое описание, должно быть равно числу переменных, находимых в результате моделирования.

Рассмотрим кратко основные классы уравнений, встречающиеся в математических описаниях химико-технологических объектов.

Для характеристики свойств разных объектов моделирования обычно применяют: алгебраические и трансцендентные уравнения, обыкновенные дифференциальные уравнения, дифференциальные уравнения в частных производных и интегральные уравнения. Последний тип - интегральные уравнения сравнительно редко встречается в задачах математического моделирования объектов химической технологии.

К алгебраическим уравнениям обычно сводится математическое описание стационарных режимов работы объектов с сосредоточенными параметрами (например, реактор полного смешения). Кроме того, уравнения этого типа применяют при описании более сложных объектов для выражения стационарных связей между разными параметрами. Математические описания в виде алгебраических уравнений наиболее просты, хотя сложность существенно зависит от числа уравнений и от вида входящих в них функций.

Обыкновенные дифференциальные уравнения обычно используют для математического описания нестационарных режимов объектов с сосредоточенными параметрами (например, для описания динамики реактора полного смешения), а также стационарных режимов объектов с распределенными параметрами по одной пространственной координате.

В первом случае независимой переменной является время, а во втором — пространственная координата.

Следует отметить общность, и даже тождественность математических описаний, которая иногда свойственна математическим моделям различных объектов. Речь идет о нестационарных моделях периодически действующих аппаратов полного смешения и стационарных моделях аппаратов идеального вытеснения.

Исследование объектов, описываемых дифференциальными уравнениями, иногда представляет собой весьма трудную вычислительную задачу. Поэтому в ряде случаев вместо математического описания объекта дифференциальными уравнениями используют его описание системой конечно-разностных уравнений, для чего непрерывный объект с распределенными параметрами рассматривают как дискретный с сосредоточенными параметрами, но имеющий ячеечную структуру. Формально математически замена непрерывного объекта дискретным эквивалентна замене дифференциальных уравнений разностными соотношениями.

При этом для объектов, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, математическое описание представляют в виде системы конечно-разностных уравнений.

Общее математическое описание нестационарных объектов представляют в виде совокупности дифференциальных уравнений (обыкновенных или в частных производных), отражающих изменение переменных процесса во времени. Каждую переменную можно охарактеризовать временем релаксации tj, в течение которого переменная изменяется на определенную долю от полного диапазона ее изменения при постоянных значениях остальных переменных.

При этом все переменные объекта можно разделить на две группы, для одной из которых ti≤tI, а для другой ti≥tII,, и, кроме того, справедливо соотношение tI<<tII, означающее, что время релаксации переменных первой группы значительно меньше времени релаксации переменных второй группы

**ЛЕКЦИЯ 7. ВОЗМОЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ (ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ).**

Имитационные методы – основа компьютерного моделирования.

Последовательность разработки и машинной модели

Реализациямашинных моделей систем

**Ключевые слова:** качество функционирова­ния больших систем,эффективность экспериментальных исследований сложных систем,эффективность теоретических исследований,характеристики процесса функционирования систем,математическое программирование,машинное моделиро­вание,реальное время.

Обеспечение требуемых показателей качества функционирования больших систем, связанное с необходимостью изучения протекания стохастических процессов в исследуемых и проектируемых систем *S*, позволяет проводить комплекс теоретических и экспериментальных исследований, взаимно дополняющих друг друга. Эффективность экспериментальных исследований сложных систем оказывается крайне низкой, поскольку проведение натурных экспериментов с реальной системой либо требует больших материальных затрат и значительного времени, либо вообще практически невозможно (например, на этапе проектирования, когда реальная система отсутствует). Эффективность теоретических исследований с практической точки зрения в полной мере прояв­ляется лишь тогда, когда их результаты с требуемой степенью точности и достоверности могут быть представлены в виде аналитических соотношений или моделирующих алгоритмов, пригодных для получения соответствующих характеристик процесса функционирования исследуемых систем.

Появление современных компьютеров было решающим условием широкого внедрения аналитических методов в исследование сложных систем. Стало казаться, что модели и методы, например, математического программирования, станут практическим инструментом решения задач управления в больших системах. Действительно, были достигнуты значительные успехи в создании новых математических методов решения этих задач, однако математическое программирование так и не стало практическим инструментом исследования процесса функционирования сложных систем, так как модели математического программирования оказались слишком грубыми и несовершенными для их эффективного использования. Необходимость учета стохастических свойств системы, недетерминированности исходной информации, наличия корреляционных связей между большим числом переменных и параметров, характеризующих процессы в системах, приводят к построению сложных математических моделей, которые не могут быть применены в инженерной практике при исследовании таких систем аналитическим методом. Пригодные для практических расчетов аналитические соотношения удается получить лишь при упрощающих предположениях, обычно существенно искажающих фактическую картину исследуемого процесса. Поэтому в последнее время все ощутимее потребность в разработке методов, которые дали бы возможность уже на этапе проектирования систем исследовать более адекватные модели. Указанные обстоятельства приводят к тому, что при исследовании больших систем все шире применяют методы имитационного моделирования.

**Последовательность разработки и машинной реализации моделей систем.** С развитием вычислительной техники наиболее эффективным методом исследования больших систем стало машинное моделирование, без которого невозможно решение многих крупных народнохозяйственных проблем. Поэтому одной из актуальных задач подготовки инженеров-системотехников является освоение теории и методов математического моделирования с учетом требований системности, позволяющих не только строить модели изучаемых объектов, анализировать их динамику и возможность управления машинным экспериментом с моделью, но и судить, в известной мере, об адекватности создаваемых моделей исследуемым системам, о границах применимости и правильно организовать моделирование систем на современных средствах вычислительной техники.

Прежде чем рассматривать математические, алгоритмические, программные и прикладные аспекты машинного моделирования, необходимо изучить общие методологические аспекты для широкого класса математических моделей объектов, реализуемых на средствах вычислительной техники. Моделирование с использованием средств вычислительной техники (ПЭВМ и т.д.) позволяет исследовать механизм явлений, протекающих в реальном объекте с большими или малыми скоростями, когда в натурных экспериментах с объектом трудно (или невозможно) проследить за изменениями, происходящими в течение короткого времени, или, когда получение достоверных результатов сопряжено с длительным экспериментом. При необходимости машинная модель дает возможность как бы «растягивать» или «сжимать» реальное время, так как машинное моделирование связано с понятием системного времени, отличного от реального. Кроме того, с помощью машинного моде­лирования в диалоговой системе можно обучать персонал АСУ принятию решений в управлении объектом, например, при организации деловой игры, что позволяет выработать необходимые практические навыки реализации процесса управления.

Сущность машинного моделирования системы состоит в проведении на вычислительной машине эксперимента с моделью, которая представляет собой некоторый программный комплекс, описывающий формально и (или) алгоритмически поведение элементов системы ***S*** в процессе ее функционирования, т. е. в их взаимодействии друг с другом и внешней средой ***Е****.* Машинное моделирование с успехом применяют в тех случаях, когда трудно четко сформулировать критерий оценки качества функционирования системы и цель ее не поддается полной формализации, поскольку позволяет сочетать программно-технические возможности ЭВМ со способностями человека мыслить неформальными категориями. В дальнейшем основное внимание будет уделено моделированию систем на персональных и профессиональных ЭВМ как наиболее эффективному инструменту исследования и разработки АСУ различных уровней.

Сформулируем основные требования, предъявляемые к модели ***М***процесса функционирования системы ***S***.

1. Полнота модели должна предоставлять пользователю возможность получения необходимого набора оценок характеристик системы с требуемой точностью и достоверностью.

2. Гибкость модели должна давать возможность воспроизведения различных ситуаций при варьировании структуры, алгоритмов и параметров системы.

3. Длительность разработки и реализации модели большой системы должна быть по возможности минимальной при учете ограничений на имеющиеся ресурсы.

4. Структура модели должна быть блочной, т. е. допускать возможность замены, добавления и исключения некоторых частей без переделки всей модели.

5. Информационное обеспечение должно предоставлять возможность эффективной работы модели с базой данных систем определенного класса. 6.Программные и технические средства должны обеспечивать эффективную (по быстродействию и памяти) машинную реализацию модели и удобное общение с ней пользователя.

7. Должно быть реализовано проведение целенаправленных (планируемых) машинных экспериментов с моделью системы с использованием аналитико-имитационного подхода при наличии ограниченных вычислительных ресурсов.

С учетом этих требований рассмотрим основные положения, которые справедливы при моделировании на ЭВМ систем ***S***, а также их подсистем и элементов. При машинном моделировании системы***S*** характеристики процесса ее функционирования определяются на основе модели ***М****,* построенной исходя из имеющейся исходной информации об объекте моделирования. При получении новой информации об объекте его модель пересматривается и уточняется с учетом новой информации, т. е. процесс моделирования, включая разработку и машинную реализацию модели, является итерационным. Этот итерационный процесс продолжается до тех пор, пока не будет получена модель **М**, которую можно считать адекватной в рамках решения поставленной задачи исследования и проектирования системы ***S***.

Моделирование систем с помощью ЭВМ можно использовать в следующих случаях:

а) для исследования системы ***S*** до того, как она спроектирована, с целью определения чувствительности характеристики к изменениям структуры, алгоритмов и параметров объекта моделирования и внешней среды;

б) на этапе проектирования системы ***S*** для анализа и синтеза различных вари­антов системы и выбора среди конкурирующих такого варианта, который удовлетворял бы заданному критерию оценки эффективности системы при принятых ограничениях;

в) после завершения проектирования и внедрения системы, т. е. при ее эксплуатации, дляполучения информации, дополняющей результаты натурных испытаний (эксплуатации) реальной системы, и для получения прогнозов эволюции (развития) системы во времени.

Существуют общие положения, применяемые ко всем перечисленным случаям машинного моделирования. Даже в тех случаях, когда конкретные способы моделирования отличаются друг от друга и имеются различные модификации моделей, например, в области машинной реализации моделирующих алгоритмов с использованием конкретных программно-технических средств, в практике моделирования систем можно сформулировать общие принципы, которые могут быть положены в основу методологии машинного моделирования.

Рассмотрим основные этапы моделирования системы ***S,*** к числу которых относятся:

- построение концептуальной модели системы и ее формализация;

- алгоритмизация модели системы и ее машинная реализация;

- получение и интерпретация результатов моделирования системы.

Взаимосвязь перечисленных этапов моделирования систем и их составляющих (подэтапов) может быть представлена в виде сетевого графика, показанного на рис.7.1.

Перечислим эти подэтапы: 1.1 — постановка задачи машинного моделирования системы; 1.2— анализ задачи моделирования системы; 1.3—определение требований к исходной информации об объекте моделирования и организация ее сбора; 1.4—выдвижение гипотез и принятие предположений;1,.5— определение параметров и переменных модели; 1.6—установление основного содержания модели; 1.7—обоснование критериев оценки эффективности системы; 1.8— определение процедур аппрок­симации; 1.9—описание концептуальной модели системы;

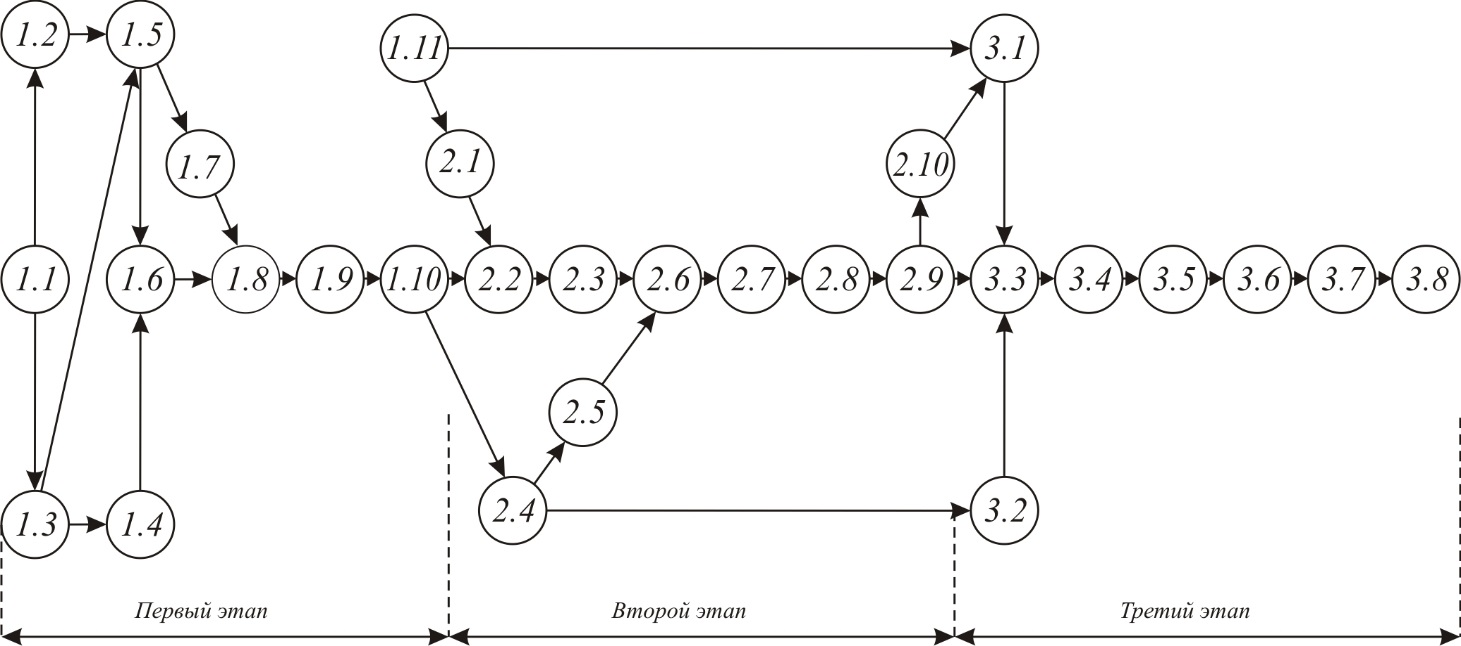


Рис.7.1. Взаимосвязь этапов моделирования систем

1.10 -проверка достоверности концептуальной модели; 1.11- составление технической документации по первому этапу; 2.1-построение логической схемы модели; 2.2 -получение математических соотношений; 2.3 -проверка достоверности модели системы; 2 -выбор вычислительных средств для моделирования; 2.5 -составление плана выполнения работ по программированию; 2.6 -построение схемы программы; 2.7 -проверка достоверности схемы программы; 2.8 -проведение программирования модели; 2.9 -проверка достоверности программы; 2.10 -составление технической документации по второму этапу; 3.1 -планирование машинного эксперимента с моделью системы; 3.2 - определение требований к вычислительным средствам; 3.3 -проведение рабочих расчетов; 3.4 -анализ резуль­татов моделирования системы; 3.5 -представление результатов мо­делирования; 3.6 - интерпретация результатов моделирования; 3.7 подведение итогов моделирования и выдача рекомендаций;3.8 составление технической документации по третьему этапу.

Таким образом, процесс моделирования системы ***S*** сводится к выполнению перечисленных подэтапов, сгруппированных в виде трех этапов. На этапе построения концептуальной модели ***М*к**и ее формализации проводится исследование моделируемого объекта с точки зрения выделения основных составляющих процесса его функционирования, определяются необходимые аппроксимации и получается обобщенная схема модели системы ***S***, которая преобразуется в машинную модель ***М*м**на втором этапе моделирования путем последовательной алгоритмизации и программирования модели. Последний третий этап моделирования системы сводится к проведению, согласно полученному плану, рабочих расчетов на ЭВМ с использованием выбранных программно-технических средств, получению и интерпретации результатов моделирования системы ***S*** с учетом воздействия внешней среды ***Е****.* Очевидно, что при построении модели и ее машинной реализации при получении новой информации возможен пересмотр ранее принятых решений, т.е. процесс моделирования является итерационным. Рассмотрим содержание каждого из этапов более подробно.

**ЛЕКЦИЯ 8. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.**

Последовательность составления математического описания

Методы составления математического описания

Аналитический метод, экспериментальный метод

Анализ объекта моделирования

Анализ материального, энергетического балансов

Анализ структуры потов в объекте

Вывод уравнений математической модели

Ключевые слова:анализ отдельных "элементарных" про­цессов,гидродинамическая модель процесса,кинетика химических реакций,параметры (коэффициенты) уравнений,"элементарные" процессы,физико-химические процессы.

При составлении математического описания общим приемом является блочный принцип. Согласно этому принципу, составлению математического описания предшествует анализ отдельных "элементарных" процессов, протекающих в объекте моделирования. При этом эксперименты по изучению каждого такого процесса проводят в условиях, максимально приближающихся к условиям эксплуатации объекта моделирования.

Сначала исследуют гидродинамическую модель процесса как основу структуры математического описания. Далее изучают кинетику химических реакций, процессов массо- и теплопередачи с учетом гидродинамических условий найденной модели и составляют математическое описание каждого из этих процессов. Заключительным этапом в данном случае является

объединение описаний всех исследованных "элементарных" процессов (блоков) в единую систему уравнений математического описания объекта моделирования. Достоинством блочного принципа построения математи­ческого описания является то, что его можно использовать на стадии проек­тирования объекта, когда окончательный- вариант аппаратурного оформле­ния еще неизвестен.

**Методы составления математического описания**. К указанным мето­дам относятся аналитический, экспериментальный и экспериментально-аналитический.

*Аналитическими методами* составления математического описания обычно называют способы вывода уравнений статики и динамики на основе теоретического анализа физических и химических процессов, происходящих в исследуемом объекте, а также на основе заданных конструктивных параметров аппаратуры и характеристик перерабатываемых веществ. При выводе этих уравнений используются фундаментальные законы сохра­нения вещества и энергии, а также кинетические закономерности процес­сов переноса массы и теплоты, химических превращений.

Для составления математического описания с помощью аналитических методов не требуется проведения каких-либо экспериментов на объекте, поэтому такие методы пригодны для нахождения статических и динами­ческих характеристик вновь проектируемых объектов, физико-химические процессы в которых достаточно хорошо изучены.

Параметры (коэффициенты) составленных уравнений функционально зависят от определяющих размеров химико-технологического аппарата (диаметра, длины и т.д.), свойств обрабатываемых веществ и величин, характеризующих протекание физико-химических процессов (констант скорости реакций, коэффициентов диффузии и др.). Некоторые параметры уравнений могут быть определены расчетным путем, другие находятся с помощью принципа подобия по результатам ранее выполненных иссле­дований.

К недостаткам аналитических методов составления математического описания можно отнести сложность решения получающейся системы урав­нений при достаточно полном описании объекта.

*Экспериментальный метод* составления математического описания используется для управления и исследования объектов в узком, "рабочем" диапазоне изменения входных и выходных переменных (например, при построении системы автоматической стабилизации отдельных технологи­ческих параметров). Эти методы чаще всего основываются на предполо­жении о линейности и сосредоточенности параметров объекта. Принятие этих допущений позволяет сравнительно просто описывать наблюдаемые процессы алгебраическими или линейными дифференциальными уравне­ниями с постоянными коэффициентами. При экспериментальном подходе к составлению математического описания всегда требуется постановка опытов непосредственно на изучаемом объекте.

Достоинством экспериментальных методов является простота полу­чаемого математического описания при достаточно точном описаниисвойств объекта в узком диапазоне изменения параметров. Основной недостаток экспериментальных методов-невозможность установления функциональной связи между входящими в уравнения числовыми параметрами и конструктивными характеристиками объекта, режимными параметрами процесса, физико-химическими свойствами веществ. Кроме того, полученные экспериментальным методом математические описания нельзя распространять на другие однотипные объекты.

Наличие "сильных" и "слабых" сторон аналитического и экспериментального методов составления математического описания привело к необходимости разработки *комбинированного экспериментально-аналитического метода.* Сущность его заключается в аналитическом составлении уравнений описания, проведении экспериментальных исследований и нахождении по их результатам параметров уравнений. При подобном подходе к получению математического описания сохраняются многие положительные свойства экспериментальных и аналитических методов.

*Состав математического описания*. Формально математическое описание представляет собой совокупность зависимостей, связывающих различные переменные процесса в единую систему уравнений. Среди этих соотношений могут быть уравнения, отражающие общие физические законы (например, законы сохранения массы и энергии), уравнения, описывающие "элементарные" процессы (например, химические превращения), ограничения на переменные процесса и т.д. Кроме того, в состав математического описания входят также различные эмпирические и полуэмпирические зависимости между разными параметрами процесса, теоретическая форма которых неизвестна или слишком сложна.

В частности, при отсутствии или весьма ограниченном объеме теоретических сведений о моделируемом объекте, когда неизвестен даже ориентировочный вид соотношений, описывающих его свойства, уравнения математического описания могут представлять собой систему связывающих выходные и входные переменные эмпирических зависимостей, полученных в результате статистического обследования действующего объекта (экспериментальный метод составления математического описания). Эти модели обычно имеют вид регрессионных соотношений между входными и выходными переменными объекта и, разумеется, не отражают физическую сущность объекта моделирования, что затрудняет обобщение результатов, получаемых при их применении.

В отличие от моделей, основанных на регрессионных соотношениях, математические модели, построенные на основе аналитического метода составления описания, отражают основное закономерности процесса и ка­чественно более правильно характеризуют его даже при наличии недостаточно точных параметров модели. Поэтому с их помощью можно изучать общие свойства объектов моделирования, относящихся к определенному классу.

В составе математического описания, разработанного на основе физической природы моделируемого объекта, можно выделить следующие группы уравнений:

1. *Уравнения сохранения массы и энергии, записанные с учетом гидро­динамической структуры движения потоков.* Данная группа уравнений ха­рактеризует распределение в потоках температуры, концентраций и связанных с ним свойств. Обобщенное уравнение материального баланса имеетвид

**Приход вещества — Расход вещества = Накопление вещества.** (8.1)

Разность между приходом и расходом вещества равна изменению его количества в рассматриваемом объекте. В стационарном режиме не может происходить ни убыль, ни накопление. В этом случае уравнение (8.1*)* переходит в уравнение материального баланса вида

**Приход вещества = Расход вещества.** (8.2)

Уравнения (1.5), (1.6) применяются как к каждому веществу в отдельности, так и ко всей совокупности веществ, участвующих в процессе. Обобщенное уравнение теплового баланса имеет вид

**Приход теплоты — Расход теплоты = Накопление теплоты** (8.3)

или для стационарных условий

**Приход теплоты = Расход теплоты.** (8.4)

1. *У****равнения элементарных процессов для локальных элементов потоков****. К* этой группе относятся описания процессов массо- и теплообмена, химических реакций и др.
2. ***Теоретические, полуэмпирические или эмпирические соотношения между различными параметрами процесса.*** Таковы, например, зависимость коэффициента массопередачи от скоростей потоков фаз, зависимость тепло­емкости смеси от состава и т.д.
3. ***Ограничения на параметры процесса****.* Например, при моделировании процесса ректификации многокомпонентных смесей на любой ступени раз­деления должно выполняться условие, что сумма концентраций всех компонентов равна 1. Кроме того, концентрация любого компонента должна находиться в диапазоне от 0 до 1.

Общим для всех математических моделей является то, что число уравнений, включаемых в математическое описание, должно быть равно числу переменных, находимых в результате моделирования.

Рассмотрим кратко основные классы уравнений, встречающиеся в математических описаниях химико-технологических объектов. Для харак­теристики свойств разных объектов моделирования обычно применяют: алгебраические и трансцендентные уравнения, обыкновенные дифференциальные уравнения, дифференциальные уравнения в частных производных и интегральные уравнения. Последний тип - интегральные уравнения сравнительно редко встречается в задачах математического моделирования объектов химической технологии.

К алгебраическим уравнениям обычно сводится математическое описание стационарных режимов работы объектов с сосредоточенными параметрами (например, реактор полного смешения). Кроме того, уравнения этого типа применяют при описании более сложных объектов для выражения стационарных связей между разными параметрами. Математические описания в виде алгебраических уравнений наиболее просты, хотя сложность существенно зависит от числа уравнений и от вида входящих в них функций.

Обыкновенные дифференциальные уравнения обычно используют для математического описания нестационарных режимов объектов с сосре­доточенными параметрами (например, для описания динамики реактора полного смешения), а также стационарных режимов объектов с распределенными параметрами по одной пространственной координате. В первом случае независимой переменной является время, а во втором — пространственная координата. Следует отметить общность, и даже тождественность математических описаний, которая иногда свойственна математическим моделям различных объектов. Речь идет о нестационарных моделях периодически действующих аппаратов полного смешения и стационарных моделях аппаратов идеального вытеснения. В первом случае имеем (для реакции)



(8.5)



при



а во втором случае

(8.6)



при



где s - поперечное сечение реактора; - объемный расход; , , , - соответственно начальные и входные концентрации веществ *А* и *В.*



Как видно, системы уравнений (8.5), (8.6) совпадают с точностью до коэффициентов. Тождественность математического описания при этом позволяет сделать заключение о тождественности оптимальных решений, хотя практическая реализация оптимальных условий в обоих случаях может существенно различаться.

Сложность решения обыкновенных дифференциальных уравнений определяется рядом обстоятельств. Во-первых, она возрастает с ростом порядка уравнения (или, что практически эквивалентно этому, с ростом числа дифференциальных уравнений в системе, поскольку уравнение т-го порядка всегда можно преобразовать в систему, состоящую из *т* уравнений первого порядка).

На сложность решения еще существеннее влияет линейность или не­линейность уравнений. Линейные обыкновенные дифференциальные уравнения решаются гораздо проще; для них разработан ряд специальных методов, например, операционное исчисление. Линейные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами имеют простое аналитическое решение. Решение систем линейных дифференциальных уравнений — задача, к решению которой хорошо приспособлены аналоговые вычислительные машины.

Нелинейность резко усложняет решение, и, как правило, в этом случае требуется использование численных методов.

При решении систем дифференциальных уравнений часто приходится сталкиваться со свойством "жесткости" системы, заключающемся в значительном разбросе собственных значений матрицы системы, что не позволяет использовать обычные методы решения. В таких случаях необходимо применять специально разработанные алгоритмы.

Важной особенностью математического описания, содержащего обык­новенные дифференциальные уравнения, является необходимость задания начальных условий.

Дифференциальные уравнения в частных производных используют для математического описания динамики объектов с распределенными параметрами или стационарных режимов объектов с параметрами, распределенными по нескольким координатам. Для указанных уравнений при описании динамики объекта наряду с начальными условиями нужно также задавать граничные условия, в общем случае являющиеся функциями времени. Для стационарных режимов объектов, описываемых уравнениями в частных производных, задают только граничные условия. Задачи с уравнениями в частных производных, как правило, отличаются наибольшей сложностью, и в большинстве случаев решение каждой конкретной задачи требует серьезной работы.

Примером объекта, описываемого этим классом уравнений, является аппарат идеального вытеснения, работающий в нестационарных условиях, в котором протекает реакция . В этом случае получаем систему уравнений:



. (8.7)



со следующими начальными и граничными условиями:

при (8.8)



при (8.9)



здесь *v*— объемный расход; s - поперечное сечение.

Исследование объектов, описываемых дифференциальными уравнениями, иногда представляет собой весьма трудную вычислительную задачу. Поэтому в ряде случаев вместо математического описания объекта дифференциальными уравнениями используют его описание системой конечно-разностных уравнений, для чего непрерывный объект с распределенными параметрами рассматривают как дискретный с сосредоточенными параметрами, но имеющий ячеечную структуру. Формально математически замена непрерывного объекта дискретным эквивалентна замене дифференциальных уравнений разностными соотношениями. При этом для объектов, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, математическое описание представляют в виде системы конечно-разностных уравнений. Для процессов, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных, результатом является система диф­ференциально-разностных уравнений, каждое из которых, в свою очередь, может быть представлено системой конечно-разностных уравнений. При подобных преобразованиях системы уравнений математического описания, естественно, возникает погрешность, которую необходимо учитывать при оценке результатов моделирования.

Вместе с тем существует ряд объектов, которые по своей природе обладают ячеечной структурой. Типичными примерами служат секционированные реакторы, тарельчатые колонны и т.д. Поэтому ячеечные модели являются не только удобной формой аппроксимации для объектов, описываемых дифференциальными уравнениями, но и имеют вполне определенное самостоятельное значение.

Общее математическое описание нестационарных объектов представляют в виде совокупности дифференциальных уравнений (обыкновенных или в частных производных), отражающих изменение переменных процесса во времени. Каждую переменную можно охарактеризовать временем релаксации *tj,* в течение которого переменная изменяется на определенную долю от полного диапазона ее изменения при постоянных значениях остальных переменных. Пусть при этом все переменные объекта можно разделить на две группы, для одной из которых *ti≤t*I, а для другой*ti≥t*II,, и, кроме того, справедливо соотношение *t*I*<<t*II, означающее, что время релаксации переменных первой группы значительно меньше времени релаксации переменных второй группы. Тогда с некоторой степенью погрешности можно принять, что переменные первой группы, имеющие значительно меньшее время релаксации, безынерционны, и считать в уравнениях математического описания производные от указанных переменных по времени равными нулю. С помощью такого приема иногда удается весьма существенно упростить нестационарную математическую модель благодаря замене части дифференциальных уравнений конечными. Математические модели, в которых нестационарные дифференциальные уравнения, описывающие изменения во времени переменных с малым временем релаксации, заменены стационарными уравнениями, можно назвать *квазинестационарными.* Нестационарные модели, используемые на практике, фактически обычно являются квазинестационарными, хотя при этом, строго говоря, необходимо обоснование квазистационарности ряда внутренних переменных.

С учетом сказанного математические модели можно классифицировать следующим образом:

**по пространственным признакам** — модели с сосредоточенными па­раметрами; ячеечные модели; модели с распределенными параметрами;

**по временным признакам** - стационарные модели; квазинестационарные модели; нестационарные модели.

**ЛЕКЦИЯ 9. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ**

**Основные принципы построения структурной модели**

**Анализ системы уравнений математического описания**

**Ключевые слова:** движущийся поток, многофазная, многокомпонентная система,уравнения балансов, гидродинамическая модель движения потока, реальный поток движущейся фазы, интенсивности источников веществ.

1. Движущийся поток рассматривается как многофазная, многокомпонентная система (число компонентов = *n*), для каждой из фаз которой записывают уравнения балансов, базирующиеся на принятой гидродинамической модели движения потока: модель идеального смешения (МИС) и идеального вытеснения (МИВ) – крайние случаи.

2. Реальный поток движущейся фазы может быть представлен в виде комбинированной гидродинамической модели, состоящей из зон ИВ или ИС, причём для каждой зоны записывается своя система уравнений балансов.

3. Для каждой зоны записываются следующие уравнения балансов:

* Уравнение покомпонентных балансов, которое характеризует изменение концентраций компонентов в зоне; число уравнений - *n*
* Уравнение общего материального баланса, характеризующее изменение расхода потока в зоне; число уравнений -1
* Уравнение теплового баланса, которое характеризует изменение температуры в зоне; число уравнений -1
* Уравнение баланса импульса (количества движения), которое характеризует изменение давления в зоне (в этом курсе не используются).

4. Если уравнения балансов включают производные по времени, то строятся динамические математические модели, которые описывают нестационарные режимы движения потока фазы. Если в системе уравнений нет производных по времени, то строятся статические математические модели, которые описывают стационарные режимы движения потока.

5. Основу уравнений математического описания составляют гидродинамические уравнения балансов для движущихся потоков, перечисленные в п.3, в которые включаются интенсивности источников вещества (компонентов) - в уравнения покомпонентных и материального балансов, а также интенсивности источников тепла - в уравнения теплового баланса.

6. Интенсивности источников веществ характеризуют скорости образования или расходования компонентов в потоке за счёт других отличных от гидродинамики элементарных процессов.

7. Интенсивности источников тепла характеризуют скорости выделения или поглощения тепла в потоке за счет также других элементарных процессов.

8. К основным элементарным процессам относятся:

- Химические превращения или реакции





- Массопередача





- Изменение агрегатного состояния или фазовые переходы





- Скорость потока подпитки





- Скорость теплопередачи



- Скорость теплоизлучения



ИТОГО:



*i* - 1,…*n*



9. Суммарные источники веществ определяются как аддитивная сумма



Для совмещённых процессов в этих суммах присутствуют два и более слагаемых, например, хемосорбция – массопередача и химическая реакция.

10. Различают объёмные интенсивности источников элементарных процессов, для локальных интенсивностей которых записываются физико-химические зависимости с соответствующими коэффициентами и поверхностные интенсивности источников элементарных процессов, для которых также записываются физико-химические зависимости с соответствующими

коэффициентами.

Например:

Химическая реакция





- локальная скорость химической реакции по компоненту ***i***(скорость, отнесённая к единице объёма).

- локальная скорость выделения или поглощения тепла за счёт химической реакции.

Массопередача



- вектор локальных скоростей массопередачи, отнесённых к единице поверхности



- поверхность массопередачи

11. Записываются выражения для локальных интенсивностей элементарных

процессов, зависящие от различного переменного процесса:

Химическая реакция:



где

П - произведение

 если *i* - реагент

 если *i* - продукт или отсутствует

( *j =* 1,…*m* )



Массопередача





12. Записываются выражения для коэффициентов элементарных процессов, зависящих от различного переменного процесса (коэффициентов теплопередачи ***КТ***, констант скоростей реакций ***kj*** и т.д.).

13. Записываются уравнения ограничений на конструкционные параметры протекающих процессов, например, длина трубы от 0 до ***L*** (где ***L*** - длина зоны) и на физический переменный процесс (например, сумма долей компонентов реакции).

В результате получаются уравнения математического описания или система уравнений МО процесса.

**Анализ системы уравнений математического описания**

1. Исключаются зависимые уравнения, которые можно получить линейной комбинацией других уравнений.
2. Проверяется совпадение размерностей левых и правых частей уравнений МО.
3. По возможности уравнения системы заменяются на более простые, например, на стехиометрические соотношения.

Основные соотношения для математического описания процессов в химической технологии представлены в следующей таблице.

**Условные обозначения**

*V -* объём рассматриваемой зоны

*v* - расход потока

*L* - длина рассматриваемой зоны

*D* - коэффициент продольного перемешивания

, *T* - состав и температура потока

 - состав контактирующей фазы при изменении агрегатного

**Состояния при фазовом переходе**

 - суммарная интенсивность источников компонентов в потоке

 - суммарная интенсивность источников тепла в потоке

*Cp* - теплоёмкость при постоянном давлении

 - локальные интенсивности источников компонентов в потоке

*Δq* - локальная интенсивность источника тепла в потоке

*K* - коэффициент передачи, характеризующий интенсивность

**источников тепла в потоке**

*ΔН* - тепловой эффект элементарного процесса

 - скорости стадий химической реакции

 - стехиометрические коэффициенты компонентов в реакциях

 - координата пространства

*t* - координата времени

*n* - число компонентов в многокомпонентной системе

*m* - число элементарных стадий в сложной химической реакции

***УРАВНЕНИЯ БАЛАНСОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс  уравнений | Вид  модели | С сосредоточенными параметрами | С распределенными параметрами | |  |
| Модель  идеального смешения | Модель  идеального вытеснения | Однопараметрическая  диффузионная модель |  |
|  |
| Покомпонент.  баланса | Динам. |  |  |  |  |
| Статич. |  |  |  |  |
| Общего баланса  массы | Динам. |  |  |  |  |
| Cтатич. |  |  |  |  |
| Теплового баланса | Динам. |  |  |  |  |
| Статич. |  |  |  |  |

**4-МОДУЛЬ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ В АППАРАТЕ**

**ЛЕЦИЯ 10.РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ ЧАСТИЦ ПОТОКА В ПРОМЫШЛЕННЫХ АППАРАТАХ**

Источниками неравномерности распределения элементов потока по времени пребывания в промышленных аппаратах

Методы исследования структуры потоков

Импульсный метод исследования структуры потоков

Пример

**Ключевые слова:** модели структуры потоков, источниками неравномерности, распределение элементов потока по времени пребывания, импульс, степень полноты завершения процесса, профиль скоростей системы, турбулизация, каналообразование, застойные зоны, байпасные и перекрестные токи, индикатор, безразмерное время.

Поведение потоков в реальных аппаратах настолько сложно, что в настоящее время дать строгое математическое описание их в большинстве случаев не представляется возможным. В то же время известно, что струк­тура потоков оказывает существенное влияние на эффективность химико-технологических процессов, поэтому ее необходимо учитывать при моделировании процессов. При этом математические модели структуры пото­ков являются основой, на которой строится математическое описание химико-технологического процесса. Как уже отмечалось, точное описание реальных потоков (например, с помощью уравнения Навье-Стокса) приводит к чрезвычайно трудным для решения задачам. Поэтому разработанные к настоящему времени модели структуры потоков в аппаратах являются достаточно простыми и носят полуэмпирический характер. Тем не менее, уже они позволяют получать модели, достаточно точно отражающие реальный физический процесс (модели, адекватные объекту).

При проведении химико-технологических процессов часто важно знать степень полноты их завершения, что, в свою очередь, зависит от распределения по времени пребывания частиц потока в аппарате, поскольку некоторые доли потока могут задерживаться в аппарате, а другие, наоборот, проскакивать, что непосредственно связано с временем контакта и диффузией.

Распределение времени пребывания частиц потока в аппарате (РВП) имеет стохастическую природу и оценивается статистическим распределением.

Наиболее существенными источниками неравномерности распределения элементов потока по времени пребывания в промышленных аппаратах являются: 1) неравномерность профиля скоростей системы; 2) Турбулизация потоков; 3) наличие застойных областей в потоке; 4) каналообразование, байпасные и перекрестные токи в системе; 5) температурные градиенты движущихся сред; 6) тепло- и массообмен между фазами и т.п.

Может оказаться, что истинное время пребывания в аппарате частиц потока недостаточно для осуществления процесса диффузии, а от этого зависит эффективность всего диффузионного процесса в целом. Поэтому важным является учет реальной структуры потоков фаз в аппарате (а, следовательно, по времени пребывания) с помощью модельных представлений о внутренней структуре потоков.

Для процессов массопередачи описание структуры потоков имеет еще и тот смысл, что позволяет установить перемещение и распределение веществ в этих потоках. Поэтому все гидродинамические модели потоков записываются преимущественно в виде уравнений, определяющих изменение концентрации вещества в потоке.

Далее будут рассмотрены экспериментальные методы исследования структуры потоков в реальных аппаратах, наиболее распространенные математические модели структуры потоков и методы определения параметров моделей.

**Методы исследования структуры потоков.** Сущность указанных методов заключается в том, что в' поток на входе его в аппарат каким-либо способом вводят индикатор, а на выходе потока из аппарата замеряют концентрацию индикатора как функцию времени. Эта выходная кривая называется функцией отклика системы на типовое возмущение по составу потока. В качестве индикаторов используют красители, растворы солей и кислот, изотопы и другие вещества.

|  |  |
| --- | --- |
| Основным требованием, предъ­являемым к индикатору, является условие поведения частиц индикатора в аппарате подобно поведению частиц потока. С этой точки зрения лучшими индикаторами являются изотопы, так как они мало различаются с основным потоком по свойствам. На практике часто применяют индикаторы, которые не вступают во взаимодействие с основным потоком и могут быть легко замерены. К таким индикаторам относятся растворы солей. Индикатор на входе потока | Рис. 10.1 Типичная функция отклика истемы на импульсное возмущение |

в аппарат вводят в виде стандартных сигналов: импульсного, ступенчатого и циклического. В зависимости от вида возмущающего сигнала различают методы исследования структуры потоков: импульсный, ступенчатый и циклический. Последний сигнал на практике обычно имеет форму синусоиды.

**Импульсный метод**. В соответствии с этим методом в поток на входе его в аппарат практически мгновенно, в виде дельта-функции, вводят определенное количество индикатора.

Допустим, что в поток на входе его в аппарат произвольной сложности ввели практически мгновенно индикатор и определили функцию отклика на это возмущение, изображенную на рис. 2.1. Обозначим объем аппарата через V и объемную скорость потока — через *v.*



Количество индикатора, время пребывания которого в аппарате из­меняется от t до t + dt, составляет

(10.1)



Отношение dg ко всему количеству индикатора g выражает долю индика­тора, вышедшего из аппарата за время от t до t+dt:

(10.2)



Так как поведение индикатора в аппарате идентично поведению основного потока, то выражение (10.1) представляет собой долю потока, время пребывания которого изменяется от t до t + dt.

Введем безразмерную концентрацию по формуле:



(10.3)



где — начальная концентрация в потоке:



(10.4)



Одновременно введем безразмерное время по формуле



(10.5)



где - среднее время пребывания частиц потока в аппарате:



(10.6)



Теперь уравнение (2.2) можно привести к виду

(10.7)



Общее количество введенного индикатора определяется выражением

(10.8)



Тогда из уравнений (2,2), (2.7) следует

(10.9)



где выражение

(10.10)



задает нормированную С-кривую.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |  | | --- | |  |   10.2. Типичная С-кривая | Построим экспериментальную кривую в координатах С(), в (рис. 10.2). Такая кри­вая называется С-кривой. За­штрихованная площадь под ней равна  (10.11)  и означает долю потока, время пребывания которого в аппарате изменяется от 0 до . Естественно, что  (10.12)  Таким образом, С-кривая является характеристикой распределения элементов потока по времени их пребывания в аппарате. |

Среднее время пребывания потока в аппарате есть

(10.13)



Поставим в это выражение значение dp из уравнения (10.2) и воспользуемся тем, что. Тогда получим



(10.14)



**Пример 1.** При исследовании гидродинамики потоков в аппарате использовался импульсный метод исследования. В результате нанесения им­пульсного возмущения (импульсный ввод индикатора) были получены сле­дующие значения концентрации индикатора на выходе из аппарата (табл. 10.1).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Время, мин | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | '35 |
| Концентрация индика­тора, г/м3 жидкости | 0 | 3 | 5 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 |

Таблица10.1

Построить С-кривую распределения.

**Решение.** Для определения функции С () предварительно найдем значения C(t) в уравнении (10.9). Для этого вычислим сумму значений полагая интервал времени отбора проб = 5 мин:



Значения нормированной функции в зависимости от времени сведем в табл. 10.2.



Таблица 10.2

Значения нормированной функции C ( t )

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t,мин. | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| мин", | 0 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,01 |

Чтобы получить функцию , приводим время к безразмерному виду и С - к виду. Для этого находим среднее время пребывания в аппарате из уравнения (2.14):



Безразмерное время составит



Тогда, используя уравнение (10.9), имеем



и после подстановки значений получим соответствующие значения С () (табл. 10.3).



Значения безразмерной функции С()



Табл.10.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 1/3 | 2/3 | 1 | 4/3 | 5/3 | 2 | 7/3 |
|  | 0 | 0,45 | 0,75 | 0,75 | 0,60 | 0,3 | 0,15 | 0 |

По этим данным строим С-кривую распределения (рис. 10.3).

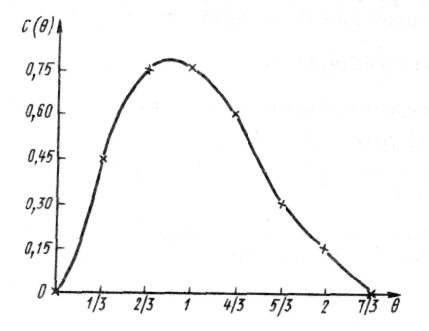


Рис. 10.3. Безразмерная С-кривая

**ЛЕКЦИЯ 11.МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ. Метод ступенчатого возмущения**

Методы исследования структуры потоков

Метод ступенчатого возмущения

**Ключевые слова:** кривая отклика, С-кривая, F-кривая, доля элементов потока, среднее время пребывания, функции распределения элементов потока

При использовании этого метода в поток жидкости, поступающей в аппарат и не содержащей индикатора, вносят некоторое количество индикатора таким образом, что его концентрация во входящем потоке изменяется скачком от нуля до некоторого значения  и в дальнейшем поддерживается на этом уровне.

Кривая отклика, соответствующая сигналу ступенчатой формы, имеет вид, изображенный на рис. 11.1.Если время выражено в безразмерных единицах, то зависимость изменения концентрации индикатора во времени в потоке, выходящем из аппарата, называется F-кривой. Величина, равная отношению , во входящем потоке изменяется от 0 до 1.

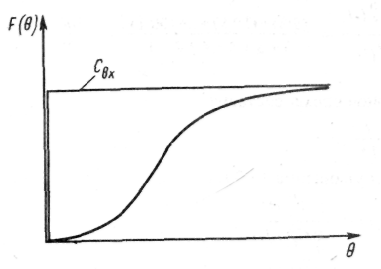


Рис. 11.1. Типичная экспериментальная F - кривая

Доля элементов потока, время пребывания которых в аппарате находится в пределах от  до  +, есть:

 (11.1)

Доля элементов потока, время пребывания которых в аппарате меньше , определяется следующим образом:

 (11.2)

Так как сумма всех долей жидкости в аппарате равна 1, то площадь под С-кривой равна 1 и при  т.е.

 (11.3)

Среднее время пребывания потока в аппарате составляет:

 (11.4)

Для нахождения последнего интеграла в выражении (11.4) восполь­зуемся интегрированием по частям:

 (11.5)

Первое слагаемое в уравнении (11.5) равно нулю. Тогда среднее время пребывания потока в аппарате выразится через значения функции распределения элементов потока на выходе из аппарата  так:

 (11.6)

Введя функцию

 (11.7)

среднее время пребывания можно выразить как

 (11.8)

Геометрически среднее времяпребывания соответствует площади над кривой F(t) (рис. 11.2).

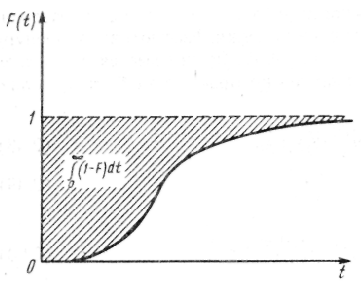


Рис.11.2. Геометрическая интерпретация среднего времени пребывания

**ЛЕКЦИЯ 12.МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ. Метод установившегося состояния**

Методы исследования структуры потоков

Метод установившегося состояния

**Ключевые слова:** обратное перемешивание потока, распределение концентрации индикатора, диффузионная модель, оценка параметра, сечение аппарата, критерий Пекле.

При исследовании структуры потоков в аппарате этим методом в поток на выходе из аппарата с постоянной скоростью вводят индикатор и определяют изменение концентрации индикатора в направлении, противоположном движению потока. Частицы индикатора попадают в аппарат вследствие обратного перемешивания потока. Распределение концентрации индикатора по длине аппарата определяют в установившемся режиме.

Рассмотрим пример использования методов установившегося состояния для оценки параметра диффузионной модели — коэффициента продольного перемешивания.  Уравнение диффузионной модели записывается в виде

 (12.1)

где z - безразмерная координата; С - концентрация; Pe - число Пекле. Запишем граничные условия

 (12.2)

 (12.3)

Общее решение уравнения (2.23) имеет вид

 (12.4)

откуда получаем

 (12.5)

Используя граничное условие при z = 0, найдем значение *Ах*:

. (12.6)

Из условия при z = 1 имеем

. (12.7)

Поэтому решение уравнения диффузионной модели в рассматривае­мом случае таково:

C=CkePe(z-1).(12.8)

Определив концентрацию индикатора в каком-либо сечении аппарата, можно определить Ре и, следовательно, замерив концентрацию в нескольких сечениях аппарата та, мы получим данные, которые можно использовать для проверки адекватности модели. Если коэффициент продольного перемешивания в потоке постоянен по длине аппарата, то значения Ре, полученные в различных точках, должны совпадать.

**ЛЕКЦИЯ 13.МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВМетод синусоидального возмущения*.***

Методы исследования структуры потоков

Метод синусоидального возмущения.

**Ключевые слова:** трассер, функция отклика, синусоидальное возмущение, амплитуда, частота, сдвиг по фазе, амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики, коэффициент усиления, период колебаний.

При наложении синусоидального возмущения на входящий поток получают на выходе функцию отклика, также представляющую собой синусоиду, но имеющую другую амплитуду и сдвинутую по фазе. Синусоидальное возмущение на входе определяется амплитудой *А0* и частотой = *2п/Т* (рад/с), где *Т* - период колебаний. У выходной синусоиды изменяется амплитуда и происходит фазовый сдвиг (рис. 13.1).

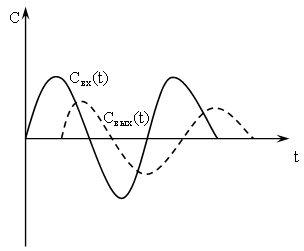


Рис. 13.1. Вид входного и выходного сигналов

при синусоидальной подаче трассера.

Величина  и изменение амплитуды для одного и того же объекта являются функциями частоты возмущающего сигнала. В результате сопоставления входной и выходной синусоид получают амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики (рис. 13.2). Отношение амплитуд называют *коэффициентом усиления *().

Рассмотрим определение коэффициента продольного перемешивания Dдиффузионной модели при подаче на вход синусоидального сигнала. Граничные условия выражаются в виде

C(t,0)=C0A0sinωt,(13.1)

C(t,∞)=C0 (13.2)

∆(ω) φ(ω)

ω=2π/T ω=2π/T

а) б)

Рис. 13.2. Амплитудно-частотная *(а)* и фазочастотная *(б)* характеристики отклика системы

где *С0 -* средняя концентрация индикатора; *А0 -* амплитуда колебаний при z = 0 (на входе в аппарат).

Используя преобразование Лапласа уравнения диффузионной модели и, учитывая граничные условия (2.31), (2.32), можно получить выражение для концентрации индикатора на выходе из аппарата:

C(t,l)=C0+A0e-Bsin(ωt-φ) , (13.3)

Где

; (13.4)

здесь / — длина аппарата; *Aj —* амплитуда колебаний на выходе из аппарата.

Разлагая подкоренное выражение и тригонометрическую функцию в ряд и, пренебрегая членами высшего порядка, можно привести уравнение (13.4) к виду

. (13.5)

Пренебрегая вторым членом уравнения (13.5), получаем

 . (13.6)

Уравнение, определяющее сдвиг фаз, имеет вид

 . (2.37)

После разложения в ряд и отбрасывания членов высшего порядка последнее уравнение упрощается:

. (13.8)

Теперь по экспериментальным значениям сдвига фаз *f*и отношения амплитуд *A0/At*нетрудно по уравнениям (13.6), (13.7) оценить величину коэффициента продольного перемешивания *Dl.*

**ЛЕКЦИЯ 14.ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОТОКА ПОВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ В АППАРАТЕ (моменты функции распределения)**

Свойства распределения случайной величины

Физический смысл моментов

Виды моментов

**Ключевые слова:** статистическое понятие моментов, порядок момента,

начальный момент, центральный момент, *асимметрия* распределения, дисперсия, плотность распределения.

Расчет распределения времени пребывания частиц потока основан на статистическом понятии моментов и связан с распределением плотности вероятностей. Основные свойства распределения случайной величины можно описать несколькими числовыми характеристиками, которые определяют наиболее существенные особенности распределения. Такой системой характеристик являются моменты распределения случайной величины, которые систематизируются по трем признакам: по порядку *р* момента; по началу отсчета случайной величины; по виду случайной величины.

Порядок *р* момента может быть любым целым числом. Практически же рассматривают моменты нулевого, первого, второго, третьего и четвертого порядков, т.е.  = 0, 1, 2, 3, 4. В зависимости от начала отсчета случайной величины различают начальные и центральные моменты. Общий вид *начальных моментов* функции распределения таков:

. (14.1)

Каждый из моментов имеет определенный физический смысл. Нулевой момент — это площадь под кривой; первый момент — характеризует среднее значение (среднее время пребывания), или математическое ожидание случайной величины времени пребывания.

Случайные величины, отсчитываемые от математического ожидания, называются *центрированными.* Моменты центрированной величины называются *центральными.* Общий вид центральных моментов таков:

. (14.2)

Второй центральный момент характеризует рассеяние случайной величины относительно среднего времени пребывания, он называется *дисперсией* и обозначается через 

. (14.3)

Третий центральный момент характеризует *асимметрию* распределения и равен

. (14.4)

Четвертый центральный момент определяет *островершинность* распределения

. (14.5)

и т.д.

В силу стохастической природы движения элементов потока в аппарате их время пребывания является случайной величиной с некоторой плотностью распределения. Оценкой функции плотности распределения элементов потока по времени пребывания в аппарате может служить С-кривая, снимаемая на выходе аппарата при импульсном возмущении. Тогда моменты С-кривой являются основными характеристиками распределения элементов потока по времени пребывания, определяя тем самым структуру потока.

Рассмотрим теперь связь моментов нормированной и безразмерной С-кривой. Значения нормированной С-кривой определяются как

 . (14.6)

Начальный момент порядка β нормированной С-кривой есть

. (14.7)

Введя безразмерную концентрацию С() и время  и учитывая, что С*()* = *QtjTv.*

* = t/Г,* после подстановки в уравнение (14.7) имеем

. (14.8)

Интеграл в правой части уравнения (14.8) есть по определению начальный момент порядка безразмерного времени пребывания *Мβθ.* Отсюда получается следующее соотношение между размерным и безразмерным начальными моментами порядка*:*

 (14.9)

Аналогично, подставляя C(t)=C(θ)/t и t = tθ в выражение для центрального момента  порядка нормированной С-кривой, получаем соотношение между размерным и безразмерным центральными моментами:

 . (14.10)

**ЛЕКЦИЯ 15. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ С-КРИВЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОМЕНТОВ.**

Вычисление начальных моментов С-кривой

Вычисление центральных моментов С-кривой

**Ключевые слова:** экспериментальная С-кривая, начальный моментов С-кривой, момент нулевого порядка, момент первого порядка, нормированная С-кривая.

Пусть в результате исследования объекта получена экспериментальная С-кривая (рис. 15.1).

Рассмотрим вычисление начальных моментов данной С-кривой, используя приближенную формулу трапеций. Начальный момент нулевого порядка экспериментальной С- кривой определяется площадью под кривой:

, (15.1)

где n *—* число точек разбиения экспериментальной С-кривой

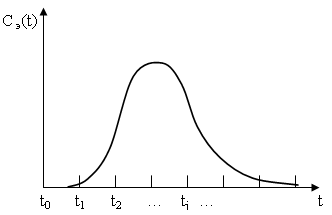


Рис. 15.1. Экспериментальная С-кривая

Начальный момент первого порядка нормированной С-кривой определяет среднее время пребывания *.* Учитывая определение нормированной С-кривой, имеем

 (15.2)

В общем случае начальныймомент *M's*s-го порядка нормированной С-кривой выражается формулой

 (15.3)

Остановимся на вычислении центральных моментов. Используя определение моментов, нетрудно убедиться в справедливости следующих равенств:

, (15.4)

. (15.5)

Центральный момент второго порядка  называется *дисперсией* С-кривой и служит характеристикой разброса распределения времени пребывания относительно среднего значения Г. Второй центральный момент можно выразить через значения второго начального момента *М*и среднее время пребывания *t* следующим образом:

 (15.6)

В общем случае центральный момент s-ro порядка нормированной С-кривой определяется равенством

**ЛЕКЦИЯ 16. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ F-КРИВЫХ**.

Вычисление начальных моментов F -кривой

Вычисление моментов F -кривой

Определение моментов через передаточную

функцию объекта

**Ключевые слова:** оценка функции распределения, нормированная *F(t)* кривая *,*передаточная функция аппарата, преобразование по Лапласу, дельта- функции δ(t).

Если С-кривая служит оценкой функции плотности распределения элементов потока по времени пребывания, то F-кривая (отклик системы на ступенчатое возмущение) является оценкой функции распределения.

На практике удобно перейти от экспериментальной F-кривой *F3(t)* к нормированной *F(t),* определяемой как

F(t)=Fэ/F(∞). (16.1)

Нулевой начальный момент нормированной F-кривой определяется формулой

. (16.2)

Запишем выражения для моментов первого, второго, ...,s-ro поряд­ков:



, (16.3)





. (16.4)

Центральные моменты определяются следующим образом:

, (16.5)

, (16.6)  (16.7)



 (16.8)

**Определение моментов распределения элементов потока по времени пребывания через передаточную функцию объекта.** Оценка моментов функции распределения по времени пребывания для аппаратов со сложной гидродинамикой представляет собой весьма трудоемкую задачу. Часто в таких случаях удобно воспользоваться передаточной функцией аппарата по рассматриваемому каналу. В общем случае передаточную функцию можно найти как отношение преобразованного по Лапласу сигнала на выходе *С(р) к* преобразованному по Лапласу сигналу на входе *Свх:*

 , (16.9)

где преобразование Лапласа определяется следующим образом:

, (16.10)

P=σ+iω. (16.11)

Для импульсной входной функции (дельта- функции δ(t)) преобразо­вание Лапласа дает

. (16.12)

Тогда передаточная функция аппарата при импульсном входном возмуще­нии есть

. (16.13)

Рассмотрим передаточную функцию аппарата при импульсном воз­мущении

. (16.14)

Полагая в выражении (2.69) *р = 0,* получим

. (16.15)

Итак, передаточная функция аппарата при *р =* 0 равна нулевому начальному моменту от функции отклика на импульсное возмущение.

Продифференцируем передаточную функцию *W(р)* по переменной р и рассмотрим значение производной в точке *р =* 0

. (16.16)

Таким образом, получаем

. (16.17)

Аналогично рассмотрим производную второго порядка по р от пере­даточной функции W(*p*)*:* , (2.73)

или . (16.18)

Наконец, в общем случае для производной n-го порядка имеем

. (16.19)

**МОДУЛЬ-5. ТИПОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.**

**ЛЕКЦИЯ 17. Модели идеального смешения и идеального вытеснения**

Типовые математические модели

Требования, предъявляемые к типовым моделям

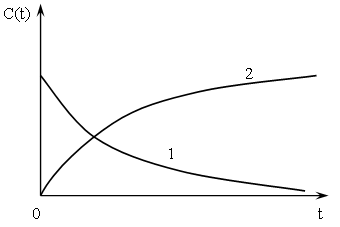
Модель идеального смешения

Модель идеального вытеснения

**Ключевые слова:** диффузионные и тепловые потоки, реальный поток, типовые модели, модель идеального смешения, модель идеального вытеснения, циркуляционная модель, диффузионная модель, ячеечная модель, параметры модели.

Все многообразие взаимодействующих диффузионных и тепловых потоков с учетом распределения по времени пребывания можно формали­зовать в виде типовых математических моделей: идеального перемешивания, идеального вытеснения, диффузионной, ячеечной, циркуляционной и комбинированной. Перечисленные типовые модели отвечают следующим требованиям: 1) отражают основные физические закономерности реального потока в рассматриваемых условиях; 2) являются достаточно простыми; 3) позволяют экспериментально или теоретически определять параметры модели; 4) дают возможность их использования для расчета конкретных процессов.

Модель идеального смешения соответствует аппарату, в котором поступающее в него вещество мгновенно распределяется по всему объему аппарата. Концентрация вещества в любой точке аппарата равна концентрации на выходе из него.

  
Рис 17.1. Функции отклика для модели идеального смешения:

1- метод вымывания (метод импульсного введения индикатора);

. 2*-* метод ступенчатого введения индикатора

Уравнение модели идеального смешения записывается в виде

, (17.1)

где  - концентрация вещества на входе;  — концентрация вещества в аппарате и на выходе из аппарата;  *—* объем аппарата; *-* объемный расход потока через аппарат.

Отклик модели идеального смешения на входное возмущение для метода вымывания соответствует убывающей экспоненциальной 'зависи­мости с начальной концентрацией  (кривая 1на рис. 17.1):

. (17.2)

При импульсном возмущении уравнение имеет аналогичный вид, так как введенный индикатор в количестве  мгновенно распределяется по всему объему и начинается его вымывание. Начальная концентрация при этом равна. Соответственно изменение концентрации на выходе потока из аппарата описывается уравнением (17.2) (кривая 1на рис. 17.2).

При ступенчатом введении индикатора со скачкообразным измене­нием концентрации в момент времени  от до  функция отклика принимает вид (кривая 2 на рис.17.1).

. (17.3)

Передаточная функция аппарата идеального смешения определяется с помощью преобразования по Лапласу исходного уравнения модели и имеет вид

 . (17.4)

Отметим, что модель идеального смешения отличается значительной простотой. Вместе с тем в ряде случаев ее применение вполне обосновано. Это в первую очередь относится к интенсивно перемешиваемым аппаратам с отражательными перегородками (аппараты с мешалками, цилиндрические аппараты со сферическим дном в условиях больших скоростей перемешивания и т.д.)

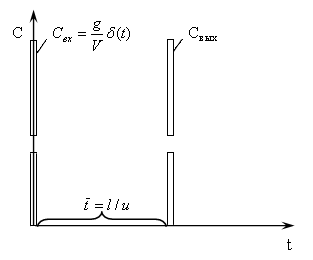


Рис. 17.2. Отклик на импульсное возмущение

для модели идеального вытеснения

В основе модели идеального вытеснения лежит допущение о поршневом течении без перемешивания вдоль потока при равномерном распределении вещества в направлении, перпендикулярном движению. Время пребывания всех частиц в системе одинаково и равно отношению объема системы к объемному расходу жидкости.

Такой поток, например, имеет место в трубчатом аппарате при турбулентном режиме течения жидкости через него. В этом случае профиль скоростей можно считать равномерным, т.е. считать одинаковым время пребывания отдельных элементов потока.

Уравнение модели идеального вытеснения записывается в виде

, (17.5)

где *t —* время, ах — координата, вдоль которой перемещается вещество со скоростью и.

Решение уравнения (17.5), удовлетворяющее начальному условию

C(0,x)=Cн(x) при t=0, 0<x≤l , (17.6)

и граничному условию

C(t,0)=Cвх(x) при x=0, t>0 (17.7)

есть

 (17.8)

Из решения (2.83) следует, что любое изменение концентрации на входе в аппарат идеального вытеснения появляется на его выходе через время, равное среднему времени пребывания  = *l/и* (здесь / - длина аппарата).

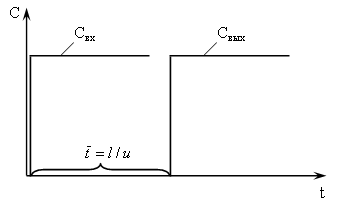


Рис. 17.3. Отклик на ступенчатое возмущение

для модели идеального вытеснения

В соответствии с решением (17.8) отклики на импульсное и ступенчатое возмущения для модели идеального вытеснения изображены соответственно на рис. 17.2 и 17.3.

Передаточная функция для аппаратов идеального вытеснения имеет вид

W(p)=e-pt (17.9)

Отметим, что модели идеального вытеснения в первом приближении соответствуют процессы, протекающие в трубчатых аппаратах при боль­шом отношении длины трубы к диаметру.

**ЛЕЦИЯ 18.ДИФФУЗИОННАЯ МОДЕЛЬ**

Основное уравнение однопараметрической диффузионной модели

Уравнение сохранения массы

Граничные условия по Данквертсу

**Ключевые слова:** однопараметрическое уравнение, уравнение молекулярной диффузии, коэффициент обратного перемешивания, коэффициент турбулентной диффузии, конвективный поток, диффузионная модель,одномерноедвижение потока.

Основное уравнение однопараметрической диффузионной модели.

Воснове диффузионной модели лежит допущение, что структура потока описывается уравнением, аналогичным уравнению молекулярной диффузии. Параметром модели является коэффициент продольного перемешивания, называемый также коэффициентом турбулентной диффузии (или коэффициентом обратного перемешивания).

Для вывода уравнения модели составим уравнение материального баланса для элемента аппарата , как показано на рис. 18.1. Приняты следующие обозначения: *F*- сечение аппарата, м2; *и -* скорость потока, м/с; *t*— время, с; *С —* концентрация индикатора, кг/м3; Dl*-*коэффициент продольного перемешивания, м2 /с.

В рассматриваемый элемент поступают конвективный поток *uFC*и поток, вызываемый турбулентной диффузией ,a покидают рассматриваемый элемент конвективный поток и поток, вызываемый турбулентной диффузией 

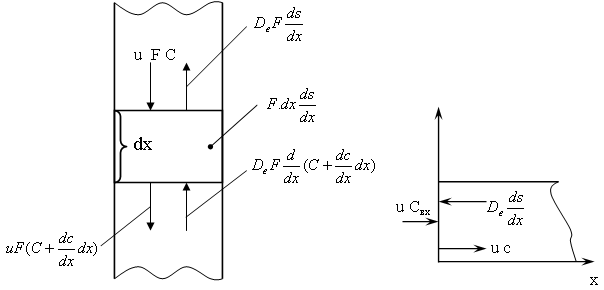


Рис. 18.1. К выводу уравнения Рис. 18.2. Схема потоков у левого

диффузионной модели конца аппарата

В соответствии с законом сохранения массы разность между входя­щими и выходящими потоками должна составлять накопление вещества (индикатора) в рассматриваемом элементе. Она равна . Запишем теперь уравнение сохранения массы:

***Накопление = Приход вещества - Расходвещества*** (18.1)

Или

. (18.2)

Преобразуя последнее уравнение и переходя к пределу при *х*0, получаем

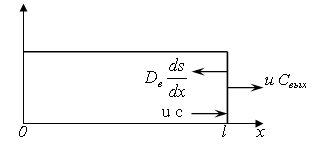
. (18.3)

Уравнение (18.3) является основным уравнением диффузионной модели.

Остановимся на начальном и граничном условиях для уравнения (18.3). Очевидно, что должны быть заданы одно начальное и два граничных условия. В качестве начального условия обычно задается профиль концентраций по аппарату в начальный момент времени:

*С(0,х)* =Cн(х) при t=0. (18.4)

Граничные условия могут быть заданы из условия материального баланса на концах аппарата (условия по Данквертсу). Рассмотрим левый конец аппарата, в который поступает поток с некоторой средней скоростью (рис. 18.3).



18.3. Схема потоков у правого конца аппарата

Сумма потоков веществ, подходящих к границе x=0 должна быть равна потоку вещества, отходящего от границы. Тогда получим:

, (18.5)

или

. (18.6)

Для правого конца аппарата (рис. 18.4) имеем

 . (18.7)

На практике часто принимают *С ≈* Свых. С учетом этого граничное условие (18.7) примет вид

. (18.8)

Условия (18.6), (18.8) называются *граничными условиями по Данквертсу,*

Наряду с рассмотренной однопараметрической диффузионной моделью иногда используется двухпараметрическая диффузионная модель. Отличие ее состоит в том, что перемешивание потока учитывается как в продольном, так и в радиальном направлении. Таким образом, двухпараметрическая диффузионная модель характеризуется двумя параметрами: коэффициентом продольного *D]* и радиального *Dr* перемешивания. Принимается, что коэффициенты продольного и радиального перемешивания не изменяются соответственно по длине и сечению аппарата. Для случая одномерного движения потока в аппарате цилиндрической формы с постоянной по длине и сечению скоростью *и* уравнение двухпараметрической диффузионной модели имеет вид

. (18.9)

Если начальное и граничные условия заданы в виде

С(0,x,r)=0 при t=0, (18.10)

r=0, C(t,0,0)=C0δ(0) при x=0, (18.11)

; (18.12)

 (18.13)

 (18.14)

то решение уравнения двухпараметрической диффузионной модели есть

 (18.15)

Здесь *J0*функция Бесселя первого рода нулевого порядка; *Х*n - корень функции Бесселя первого рода первого порядка;

корень *к0*удовлетворяет уравнению  ; *R*- радиус аппарата.

Двухпараметрическая диффузионная модель используется для описания движе­ния потоков в аппаратах колонного типа с небольшим отношением длины к диаметру и большой поперечной неравномерностью скоростей потоков. Ввиду сложности решения такая модель используется значительно реже однопараметрической, поэтому в дальнейшем будем рассматривать лишь однопараметрическую диффузионную модель.

**ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П. TEXNOLOGIK JARAYONLARNI MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH ASOSLARI. Олий ўқув юртлари учун дарслик. –Т.: Фан ва технология , 2015.
2. Luigi BocolaIdentifying Neutral Technology Shocks. University of Pennsylvania, 2014
3. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов. – М.:ИКЦ “Академкнига”, 2006. 416с.
4. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химической технологии. - М.: Высшая школа. 1999.
5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
6. Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 224 с
7. Комиссаров М.А., Глебов М.Б., Гордеев Л.С. Химико-технологические процессы. Теория и эксперименты. – М.: Химия, 1999. – 358 с.
8. Юсупбеков Н.Р. Математическое моделирование технологических процессов. Ўқув қўлланма. - ТошДУ.: 1989.

**Дополнительная литература**

1. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Базаров М.Б., Халилов Ж.А. Бошқариш системаларини компьютерли моделлаштириш асослари. Олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. –Н.: Навоий-Голд-Сервес, 2009.
2. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Гулямов Ш.М. Основы процессов разделения многокомпонентных смесей. – Т: “Университет”, 2017.
3. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Мухитдинов Д.П., Авазов Ю.Ш. Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей. –Т.: ТашГТУ, 2014.
4. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Маннанов У.В. Моделирование совмещенных реакцинно-разделительных процессов. –Т.: ТашГТУ,1999.
5. Маъруза матнларининг электрон версияси.

**Интернет сайтлари**

1. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)
2. <http://www.allbest.ru>
3. [www.knowledge.allbest.ru](http://www.knowledge.allbest.ru)
4. [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com)
5. [www.e-lib.kemtipp.ru](http://www.e-lib.kemtipp.ru)
6. [www.newlibrary.ru](http://www.newlibrary.ru)
7. [www.priapp.ru](http://www.priapp.ru)
8. [www.knigafund.ru](http://www.knigafund.ru)
9. [www.ozon.ru](http://www.ozon.ru)
10. [www.elibrary-book.ru](http://www.elibrary-book.ru)
11. [www.studfiles.ru](http://www.studfiles.ru)

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1 (4 ч)**

**Реактор идеального перемешивания: статический режим**

* 1. Составление математического описания

Исследуется химическая реакция в реакторе идеального перемешивания (РИП). Предполагается знание механизма реакции в результате предваритель­ных исследований и кинетического анализа.

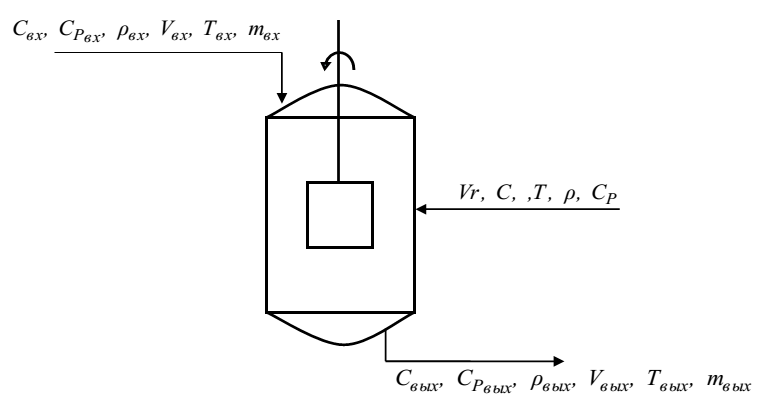


Рис. 1. Аппарат идеального перемешивания

Свх, С, Свых - концентрация вещества, моль/м

Твх, Т, Твых - температура потока, К,

V*вх*, *V*вых - объёмная скорость потока, м/с,

т*вх*,твых - мольный поток вещества, моль/с

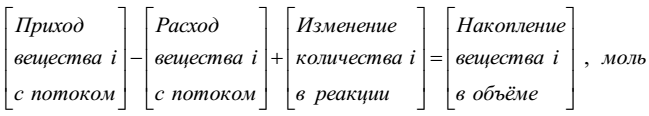
Vr - объём реактора, м

р*вх*, р, рвых - плотность смеси, кг/м

СP*вх*, СР, СРвых - теплоёмкость смеси, Дж/(кг \* К).

Полное математическое описание (детерминированная математическая модель) процесса будет представлено покомпонентным материальным балансом и тепловым балансом всего реактора. Параметры потока одинаковы по всему объёму аппарата для малого промежутка времени dt. На выходе из аппарата идеального смешения параметры те же, что в объёме.

Материальный баланс реактора идеального перемешивания



твхi. \* dt - приход вещества с потоком, mвxi \* dt = Vвxi \* Cвxi \* dt

твыхi.• dt - расход вещества с потоком, твыхi \* dt = Vвыхi \* Ci \* dt

Vr \* ri \* dt - изменение вещества в химической реакции

dM - накопление вещества, dM = Vr \* dCi

твхi. \* dt – твыхi.• dt + Vr \* ri \* dt = dM

Vвxi \* Cвxi \* dt – Vвыхi \* Ci \* dt + Vr \* ri \* dt = Vr \* dCi

где *ri* - скорость изменения концентрации вещества i в результате химического превращения, моль/ (м \* с).

После преобразований баланс реактора идеального перемешивания для вещества i имеет вид

, (1.1)

где Ri - скорость реакции

В случае стационарного режима работы реактора , и уравнение (1.1) примет вид

 (1.2)

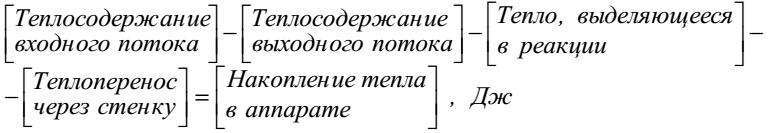
Если Vвх = *V*вых = V и , то из (1.1) имеем

, (1.3)

Для стационарного режима

, (1.3)

**Тепловой баланс реактора идеального перемешивания**



[Теплосодержание входного потока]– [Теплосодержание выходного потока] – [Тепло, выделяющееся в реакции] – [Теплоперенос через стенку] = [Накопление тепла в аппарате], Дж

Vвx \* ρвх \* СРвх \* (Твх - Тну) \*dt - теплосодержание входного потока,

Vвыx \* ρ \* СР \* (Т - Тну) \*dt - теплосодержание выходного потока,

 - тепло химического превращения,

KF \*F \*(T – TS) \* dt - теплоперенос через стенку,

Vr \* d (ρ \* СР \* T) - накопление тепла в аппарате,

j = 1, m - количество стадий реакции,

ΔНРj - энтальпия химического превращения (тепловой эффект стадии с обратным знаком), Дж/моль,

KF - коэффициент теплопередачи через стенку, Дж/(м \* с \* К),

F - поверхность теплообмена, м2,

TS - температура хладоагента, К.

Тепловой баланс реактора:

Vвx \* ρвх \* СРвх \* (Твх - Тну) \*dt – Vвыx \* ρ \* СР \* (Т - Тну) \*dt –  – KF \*F \*(T – TS) \* dt = Vr \* d (ρ \* СР \* T)

Преобразуя, поделим все члены уравнения на (Vr\* dt):

,

где F' =*F/Vr*, м2 /м3 - поверхность теплообмена на единицу объема реактора

Поделим все члены уравнения на (ρ \* СР ), обозначим . Общее уравнение теплового баланса политропического реактора имеет вид

 (1.5)

В случае стационарного режима работы реактора  = 0, и уравнение (1.5) будет

=0 (1.6)

Уравнение упрощается для адиабатического реактора при Kf = 0 (футеровка, теплоизоляция) или T = Ts (специально созданный температурный режим у внешней поверхности реактора). При этом .

Если Vвх = *V*вых = V, ρвх = ρ, СРвх = СР и , то из (1.5) и (1.6) имеем

 (1.7)

=0 (1.8)

Таким образом, для практических расчетов протекания химических реакций в реакторах идеального перемешивания могут быть использованы системы алгебраических уравнений (1.2), (1.6) или (1.4), (1.8) для стационарного режима; системы дифференциальных уравнений (1.1), (1.5) или (1.3), (1.7) для динамического режима.

**Решение математического описания**

Прямая задача решения формулируется следующим образом: по заданным параметрам входного потока реактора идеального перемешивания с использованием кинетической модели реакции и математического описания реактора определить характеристики реакционной смеси в реакторе и параметры выходного потока

**Стационарный режим работы**

В адиабатическом (или политропическом) реакторе идеального перемешивания в стационарном режиме проводится газофазная гомогенная химическая реакция. Заданы механизм реакции, параметры математического описания реактора:

kj - константы скорости стадий,

Свхi - концентрации компонентов смеси на входе в реактор,

HPj - энтальпии химических превращений,

*V*вх - объемная скорость входного потока,

Твх - температура на входе в реактор.

Определить параметры выходного потока С*вых, Vвых,* Т*вых*.

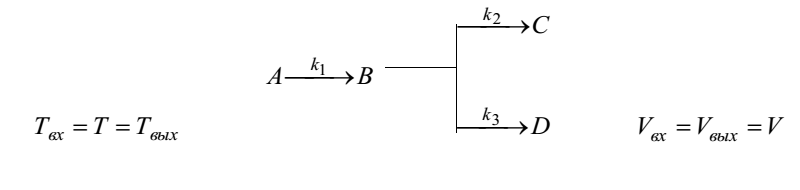
На практике возможны следующие характерные ситуации:

1. Твх = Т = Твых - лабораторные реакторы с малым объемом или специально организованным тепловым режимом, Vвх =*V*вых = V - мономолекулярная химическая реакция в газовой фазе или реакция в жидкой фазе. В этом случае тепловой баланс исключается, материальный баланс составляется аналогично уравнениям (1.4).
2. Твх = Т = Твых - лабораторные реакторы с малым объемом или специально организованным тепловым режимом, Vвх ≠*V*вых - реакция с изменениемчисла молекул в газовой фазе. В этом случае тепловой баланс исключается, материальный баланс - уравнения (1.2).
3. Твх ≠ Т = Твых - адиабатические (или политропические) реакторы, Vвх ≈*V*вых ≈ V - например, реакция в жидкой фазе. В этом случае тепловой баланс составляется по уравнению (1.8), материальный баланс - уравнение (1.4).
4. Твх ≠ Твых = Т - адиабатические (или политропические) реакторы, Vвх ≠*V*вых - реакция с изменением числа молекул в газовой фазе. В этом случае тепловой баланс - уравнение (1.6), материальный баланс - уравнение (1.2).

Алгоритмы «Прямая задача» используют результаты предшествующих этапов анализа химико-технологического процесса (ХТП) (например, входные сопряжения модуля для примера 5) и, в свою очередь, служат основой для решения более сложных обратных и оптимизационных задач.

Таким образом, постановка и решение прямой задачи для стационарного режима работы реактора идеального перемешивания (гомогенные реакции) - это формирование и решение систем алгебраических уравнений различной сложности. Метод решения выбирается в зависимости от сложности уравнений.

Пример 1. В лабораторном реакторе идеального перемешивания в стационарном режиме проводится газофазная гомогенная мономолекулярная реакция известного механизма:



Твх = Т = Твых Vвх =*V*вых = V

Заданы:

kj (j = 1,2,3) - константы скорости стадий (результат кинетического анализа), с-1,

Cвхi(i = A,B,C,D) - концентрации компонентов смеси на входе в реактор, моль/м3,

*V*вх - объемная скорость входного потока, м3/с.

Определить состав смеси на выходе из реактора Свых i (i = A,B,C,D).

Решение. Тепловой баланс из рассмотрения исключается. Основа покомпо­нентного материального баланса - уравнение (1.4)



Скорости стадий реакции

*r1= k1 \* CA*

*r2= k2 \* CB*

*r3= k3 \* CB*

Скорость реакций по компонентам:

*RA = - r1*

*RB = r1 – r2 – r3*

*RC = r2*

*RD = r3*

Математическое описание реактора (формула (1.4)):

 (1.9)

Система (1.9) представляет собой простые алгебраические уравнения, решением которых являются концентрации компонентов реакционной смеси на выходе





(1.10)

*CC = CвхC + k2CBτ*

*CD = CвхD + k3CBτ*

*j*= 1, 2,3



На основе полученного решения составляется расчетный модуль прямой задачи. Модуль позволяет получить зависимости состава выходного потока от времени пребывания (или объемной скорости входного потока) и от температуры реакции, а также подобрать условия (τ ,Т) для достижения заданной степени превращения исходного вещества или максимального выхода целевых продуктов. Этот модуль можно использовать в обратных задачах, при подборе kj0, Ej, а также в оптимизационных задачах при определении оптимальных условий проведения реакции (V, T, Cвхi)*опт* .

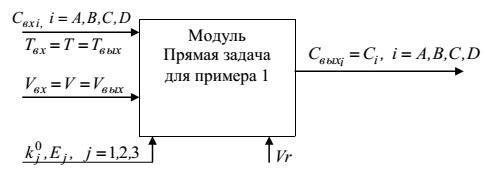


Рис. 2. Расчетный модуль компьютерного решения прямой задачи для примера 1

Пример 2. В лабораторном реакторе идеального перемешивания в стационарном режиме проводится газофазная гомогенная мономолекулярная обратимая реакция известного механизма:



Твх = Т = Твых Vвх =*V*вых = V

Заданы:

kj (j = 1,2) - константы скорости стадий (результат кинетического анализа), с-1,

K*P2* - константа равновесия как функция температуры и давления (результат термодинамического анализа),

Cвхi(i = A,B,C,D) - концентрации компонентов смеси на входе в реактор, моль/м3,

*V*вх - объемная скорость входного потока, м3/с.

Определить состав смеси на выходе из реактора Свыхi (i = A,B,C).

Решение. Основа покомпонентного материального баланса - уравнение (1.4). Скорости стадий реакции:

*r1= k1 \* CA r2= k2 \* CB r-2= k-2 \* CC* или 

Скорость реакции по компонентам

*RA = - r1 RB = r1 – r2 + r-2 RC = r2 – r-2*

Математическое описание реактора (формула (1.4)):

 (1.11)

Решение математического описания



Из третьего уравнения системы (1.11) следует выражение:



После подстановки его значения во второе уравнение системы (1.11) и преобразований получим:

На основе полученного решения (1.12) составляется расчетный модуль прямой задачи:

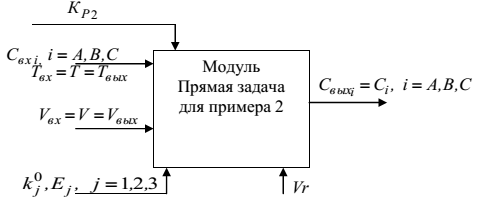
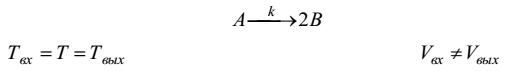


Рис. 3. Расчетный модуль компьютерного решения прямой задачи для примера 2

Пример 3. В лабораторном реакторе идеального перемешивания в стационарном режиме проводится газофазная гомогенная реакция известного механизма:



В смеси присутствует вещество С, не участвующее в реакции.

Заданы:

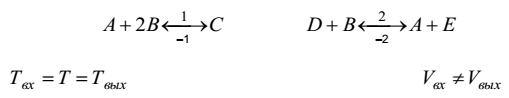
k - константа скорости стадии (результат кинетического анализа), с-1,

Cвхi(i = A,B,C) - концентрации компонентов смеси на входе в реактор, моль/м3,

*V*вх - объемная скорость входного потока, м3/с.

Определить состав смеси на выходе из реактора Свых i (i = A,B,C) и объемную скорость на выходе реактора Vвых .

Пример 4. В лабораторном реакторе идеального перемешивания в стационарном режиме проводится газофазная гомогенная реакция:



Заданы:

kj (j = 1,2) - константы скорости стадий (результат кинетического анализа),с-1,

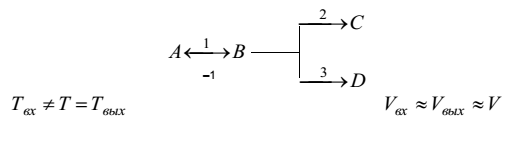
K*P1*, KP2 - константы равновесия стадий (результат термодинамического анализа),

Cвхi(i = A,B,C,D, Е) - концентрации компонентов смеси на входе в реактор, моль/м3,

*V*вх - объемная скорость входного потока, м3/с.

Определить состав смеси на выходе из реактора Свых i (i = A,B,C,D, Е) и объемную скорость на выходе реактора Vвых.

Пример 5. В адиабатическом промышленном реакторе идеального переме­шивания в стационарном режиме проводится жидкофазная гомогенная реакция:



Заданы:

kj0, Ej(j =1, 2, 3) - параметры констант скоростей стадий (результат кинетического анализа),

константа равновесия стадии (результат термодинамического анализа),

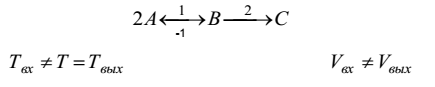
ΔНPj .(j =1, 2, 3) - тепловые эффекты стадий, Дж/моль,

Свх, Vвх, Твх (i = A,B,C,D) - параметры входного потока,

Vr - объем реактора идеального перемешивания, м3.

Определить параметры выходного потока Свыхi(i = A,B,C,D), Vвых, Твых.

Пример 6. В адиабатическом промышленном реакторе идеального переме­шивания в стационарном режиме проводится газофазная гомогенная реакция:



В смеси присутствует вещество D, не участвующее в реакции.

Заданы:

kj0, Ej (j =1, 2) - параметры констант скоростей стадий (результат кинетического анализа),

константа равновесия стадии (результат термодинамического анализа),

ΔНPj .(j =1, 2) - тепловые эффекты стадий, Дж/моль,

Свх, Vвх, Твх (i = A,B,C,D) - параметры входного потока,

Vr - объем реактора идеального перемешивания, м3.

Определить параметры выходного потока Свыхi(i = A,B,C,D), Vвых, Твых.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2 (2 ч)**

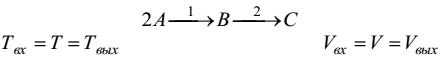
**Реактор идеального перемешивания: динамический режим**

Химические реакторы непрерывного действия эксплуатируются, как правило, в стационарном режиме, при постоянных технологических параметрах процесса. Динамический (переходный, нестационарный) режим - это работа реактора в условиях, когда параметры процесса (Cвx, Vвx, Твх) изменяются во времени. Это происходит в период пуска и остановки реактора, при изменении технологического режима (переключение).

Отклонения от статического режима возможны из-за неизбежных внешних возмущений, например, изменении состава сырья, условий подвода или отвода тепла. Они могут быть незначительными или существенными, приводящими к изменениям качества продукта, производительности реактора или даже к авариям.

Динамические режимы реакторов непрерывного действия описываются дифференциальными уравнениями в обыкновенных (реактор идеального перемешивания) или частных (реактор идеального вытеснения) производных.

В лабораторном реакторе идеального перемешивания в динамическом режиме проводится газофазная гомогенная реакция



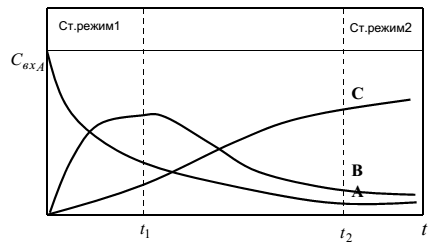


Рис. 2.1. Зависимость состава смеси от времени

Выделяют три стационарных состояния объекта:

- «холодный» реактор: продувка реактора смесью исходного состава с объемной скоростью V1 и температурой ТОС (окружающей среды);

-стационарный режим1: Твх = Т = Твых*,*Vвх1 =*V*вых1 = V1, ;

- стационарный режим 2: Твх = Т = Твых*,*Vвх2 =*V*вых2 = V2, 

При этом пуск «холодного» реактора и вывод его на стационарный режим 1 сводится к ступенчатому подъему температуры реактора ТОС → Т в момент времени t = 0 (рис. 2.2). Состав смеси в реакторе и, следовательно, на выходе из реактора в момент t = 0 начинает изменяться и через промежуток времени tкстабилизируется на значениях, соответствующих стационарному режиму 1.

Переключение с режима 1 на режим 2 - ступенчатое изменение расхода V1 → V2 в момент времени t = 0 и вызванное этим изменение состава реакционной смеси показано на рис. 2.3.

Время переходного процесса равно tК2. Предполагается, что в лабораторном реакторе тепловой режим достаточно хорошо контролируется и устойчиво поддерживается, поэтому динамика изменения температуры здесь не рассматривается.

Дифференциальные уравнения, описывающие динамический режим работы реактора идеального перемешивания, представленный на рис. 2.2 и 2.3, приведены ранее - уравнения (1.1) и (1.5) или (1.3) и (1.7).

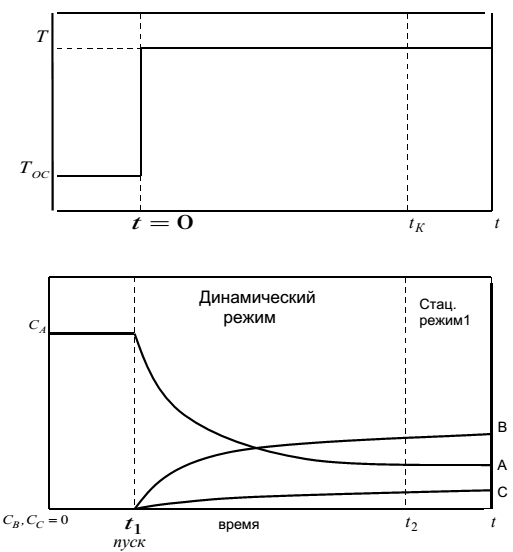


Рис. 2.2. Пуск реактора идеального перемешивания

Возможные области использования математического описания химических реакторов и его решения:

- прямые задачи - решение математического описания с произвольно выбранными параметрами используется при определении принципиальной возможности решения модели, при выборе метода решения, для определения первого приближения параметров модели;

- обратные задачи - выбор формы адекватного математического описания и определение его параметров; алгоритм прямой задачи при этом используется в качестве модуля;

- анализ ХТП - прямые задачи на адекватных моделях, исследование влияния технологических параметров на процессы в реакторе;

- оптимизационные задачи - определение технологических параметров, соответствующих максимальной эффективности процесса, выбор конструкции аппарата; алгоритм анализа ХТП при этом используется в качестве модуля.

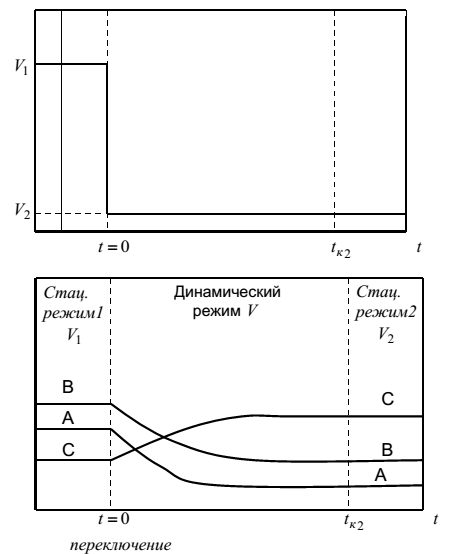


Рис. 2.3. Изменение режима работы реактора идеального перемешивания

Таким образом, основная область использования моделей - компьютерный анализ и оптимизация динамических режимов работы реактора.

Прямая задача решения формулируется следующим образом: в адиабатическом (или политропическим) реакторе идеального перемешивания проводится гомогенная химическая реакция (рис. 2.1).

Заданы:

ГУ - граничные условия Свхi, Vвх, Твх,

НУ - начальные условия Свых1i, Vвых1, Твых1 при t = 0,

kj0, Ej(j =1, 2) - результат кинетического анализа,

КPj, ΔНPj – соответственно константы равновесия и тепловые эффекты (результат термодинамического анализа),

Vr - объем реактора идеального перемешивания, м3.

Требуется получить модельные зависимости (Сi, V, Т)*вых* от времени переходного процесса (рис. 2.1 и 2.2).

Математическая модель реактора в динамическом режиме представлена системой дифференциальных уравнений (1.1) и (1.5) или (1.3) и (1.7). Решение этих уравнений - функции Сi, V, Т от независимого аргумента t. В компьютерном анализе химических реакторов часто используется метод Эйлера.

Пример 2.1. В лабораторном реакторе идеального перемешивания проводится гомогенная реакция:



Для описания динамического режима используется дифференциальное уравнение (1.3). Результаты кинетического анализа

*r1= k1 \* CA r2= k2 \* CB RA = - r1 RB = r1 – r2 RC = r2*

Решение. Математическое описание реактора

 (2.1)

ГУ: СвхA, СвхB , СвхC 

НУ: СA1, СB1, СC1  при t1 = 0,

Алгоритм решения системы дифференциальных уравнений (2.1):

1. Задание ГУ:СвхA, СвхB , СвхC ,*V*, T,Vr

2. Задание НУ: С*Al*, СВ1, C*Cl*, t1

3. Задание kj0, Ej , j =1, 2

4. Расчет 

5. Pасчет (j =1, 2)

6. Выбор шага численного интегрирования Δt, задание малой величины ε

7.Численное интегрирование системы (2.1), циклические вычисления

*ti+1 = ti +* Δt

*r1= k1 \* CA i*

*r2= k2 \* CB i*





Если , то выход из цикла

Результаты решения:

* зависимость Сa, СВ, Сс от времени переходного процесса
* время переходного режима tк = ti+l
* параметры установившегося режима V, T, САК = СAi+1, Сbк = СBi+1, СCК = СCi+1

Задавая соответствующие ГУ и НУ, с помощью данного алгоритма можно рассчитать режим пуска, переключения и остановки лабораторного реактора идеального перемешивания.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3 (4 ч)**

**Реактор идеального вытеснения: статический режим**

**3.1. Составление математического описания**

Исследуется химическая реакция в аппарате идеального вытеснения (РИВ):

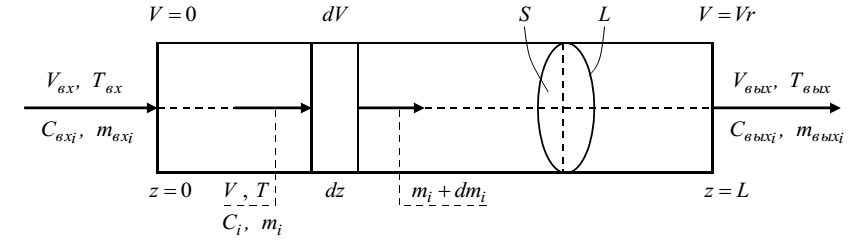
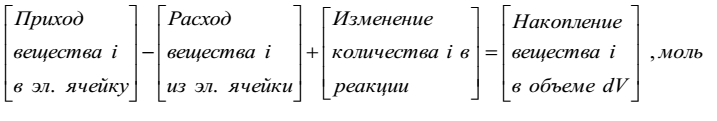


Рис. 3.1. Аппарат идеального вытеснения

Полное математическое описание (детерминированная математическая модель) процесса будет представлено покомпонентным материальным балансом и тепловым балансом элементарной ячейки с объемом dV для малого промежутка времени dt, так как параметры потока меняются по длине аппарата и во времени.

**Материальный баланс элементарной ячейки реактора идеального вытеснения**



тi. \* dt - приход вещества с потоком, mi \* dt = Vвx \* Ci \* dt=u \* S \* Ci \* dt,

(тi.+ dтi) \*dt - расход вещества с потоком,

(тi.+ dтi) \*dt= (Vвх \* Ci +d (Vвх \* Ci))\* dt,

dV \* ri \* dt - изменение вещества в химической реакции

dMi - накопление вещества, dMi = dCi \* dV,

тi. \* dt – (тi.+ dтi) \*dt + dV \* ri \* dt = dCi \* dV,

где *ri* - скорость изменения концентрации вещества i в результате химического превращения, моль/ (м3 \* с).

mi =Vвх \* C = и \* S \* Сi - мольный поток вещества i, моль/с,

u - линейная скорость потока, м/с.

Преобразуя, поделим все члены уравнения на (dV \* dt). Конечный вид уравнения материального баланса реактора идеального вытеснения для вещества i в размерности моль/(м с) имеет вид:

 (3.1)

Решением этого уравнения будет являться функция Ci = f (Vвх ,t).

В случае стационарного режима работы реактора ():

 (3.2)

Решение его - функция *Ci* = f (Vвх).

При Vвх =*V*вых = V(мономолекулярная реакция) Твх = Т = Твых:

 (3.3)

Решение этого уравнения – функция Ci = f (z,t).

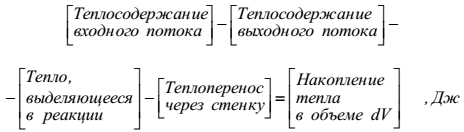
В случае стационарного режима работы реактора ():

 (3.4)

где dxпри и, V - const по длине реактора.

Решение уравнения (3.4) – функции *Ci* = f(z) или Ci = **f**(τ**).**

Тепловой баланс элементарной ячейки реактора идеального вытеснения



[Теплосодержание входного потока]– [Теплосодержание выходного потока] – [Тепло, выделяющееся в реакции] – [Теплоперенос через стенку] = [Накопление тепла в объеме *dV*], Дж

Vвx \* ρ \* СР \* (Т - Тну) \*dt - теплосодержание входного потока,

[Vвx \* ρ \* СР \* (Т - Тну) +*d (*Vвx \* ρ \* СР \* Т*)]*\*dt - теплосодержание выходного потока, (аналогично (mi + dmt )\* dt в материальном балансе)

 - тепло химического превращения,

KF \*F \*(T – TS) \*L \* dz \* dt - теплоперенос через стенку,

d (ρ \* СР \* T)\**dV* - накопление тепла в объеме *dV*(аналогично dCi \* dV в материальном балансе),

где (ρ \* СР \* T), Дж/м3 - аналог концентрации С*i*, моль/м3

(Vвх \* ρ \* СР \* T), Дж/с - аналог мольного потока m*i*, моль/с

j = 1, m - количество стадий реакции,

ΔНРj - энтальпия химического превращения (тепловой эффект стадии с обратным знаком), Дж/моль,

KF - коэффициент теплопередачи через стенку, Дж/(м2 \* с \* К),

F - поверхность теплообмена, м2,

L \* dz - поверхность теплообмена, м2

TS - температура хладоагента, К.

Тепловой баланс элементарной ячейки:

Vвx \* ρ \* СР \* (Т - Тну) \*dt - [Vвx \* ρ \* СР \* (Т - Тну) +*d (*Vвx \* ρ \* СР \* Т*)]*\*dt -  - KF \*F \*(T – TS) \*L \* dz\*dt = d (ρ \* СР \* T)\**dV*

Преобразуя, поделим все члены уравнения на (dV \* dt). Конечный вид уравнения теплового баланса реактора идеального вытеснения в размерности Дж/(м3\*с):

 (3.5)

Уравнение для адиабатического реактора упрощается за счет того, что:



Практически это возможно при Kf = 0 (футеровка, теплоизоляция) или T=Ts (специально организованный температурный режим у внешней поверхности реактора).

Параметры потока V*вx*, ρ, С*Р*, T, C*i*, согласно уравнению (3.5), меняются по длине реактора идеального вытеснения и во времени.

В практических расчетах можно пользоваться упрощенной формой уравнения теплового баланса адиабатического реактора:

 (3.6)

Решением этого уравнения является функция Т = f (Vвх,t).

Стационарный режим работы ():

 (3.7)

Его решением является функция Т = f (Vвх).

При использовании в качестве независимой переменной линейной координаты  уравнение (3.6) преобразуется к виду:

 (3.8)

Решением этого уравнения является функция Т = f(*z,t*)

Стационарный режим работы ():

 (3.9)

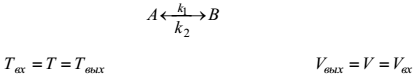
Его решением является функция Т = f (z).

**3.2. Решение математического описания**

Прямая задача решения формулируется следующим образом: по заданным параметрам входных тепловых и материальных потоков и конструкции реактора определить профили требуемых параметров потока по длине реактора (чаще всего профили температуры и концентраций) и параметры выходного потока. На практике возможны такие же характерные ситуации, как и для реактора идеального перемешивания.

Для решения прямой задачи стационарного режима работы реактора идеального вытеснения применяется метод Эйлера.

Пример 3.1. В лабораторном реакторе идеального вытеснения в стационарном режиме проводится газофазная гомогенная химическая реакция:



Решение. Математическое описание реактора:

Скорости стадий реакции:

*r1= k1 \* CA*  

Скорость реакции:



Скорость реакции по компонентам:

*RA = - RRB = R*

Уравнения покомпонентного материального баланса (3.4):

 (3.10)

**Алгоритм решения методом Эйлера**

Исходные данные:

Параметры входного потока С*вхА*, С*вхВ*, Vвx = V, Твх = Т

Параметры аппарата Vr, L, S

НУ: zо = 0, C*A0* = Свхa, СВ0 = СвхВ

Результаты термодинамического анализа Kp(Т)

Результаты кинетического анализа ki (T )

Расчетный блок

1. **
2. Выбор количества шагов n численного интегрирования
3. Определение 
4. Численное интегрирование системы (3.10), численные вычисления по *i = 0,n:*

*zi = i \* Δz*







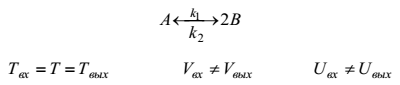
Результаты решения прямой задачи

Профиль С a , СВ по длине реактора

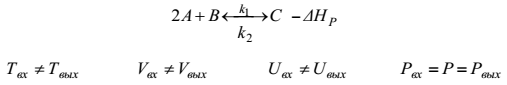
Параметры выходного потока СвыхА = САn, СвыхB = СBn

Таким образом, постановка и решение прямой задачи для стационарного режима работы реактора идеального вытеснения состоит в формировании и решении систем обыкновенных дифференциальных уравнений различной сложности. Алгоритм прямой задачи служит основой анализа ХТП и решения обратных и оптимизационных задач.

Пример 3.2. Усложненные условия примера 3.1. В лабораторном реакторе идеального вытеснения проводится газофазная гомогенная химическая реакция:



Пример 3.3. В промышленном реакторе идеального вытеснения проводится газофазная экзотермическая гомогенная реакция:



В смеси присутствует вещество D, не участвующее в реакции.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4 (2 ч)**

**Реактор идеального вытеснения: динамический режим**

В динамическом режиме работы реактора идеального вытеснения (пуск, переключения, остановка, аварийные и предаварийные ситуации) определяющие параметры потока (Сi, V, T) меняются по длине реактора и во времени. В примере 4.1 рассматриваются процессы, протекающие в реакторе в динамическом режиме его работы (в период пуска).

Пример 4.1. В лабораторном изотермическом реакторе идеального вытесне­ния протекает гомогенная реакция:



Пуск реактора - это переход от состояния «холодный» реактор (продувка реактора смесью исходного состава расходом V и температурой TОС) к стационарному режиму с заданными V, T. Он сводится к ступенчатому подъему температуры реактора ТОС → Т в момент времени t = 0. Концентрации компонентов смеси С*А* и СВ в момент времени t = 0 начнут изменяться во времени и по длине реактора (Ci = f(*z,t*)) и через промежуток времени tк стабилизируются на значениях, соответствующих стационарному режиму (Сi = f (z), рис. 4.3).

При пуске промышленного реактора необходимо учитывать тепловой баланс. Картина динамического режима при этом значительно усложняется.

Математическое описание динамического режима работы реактора идеального вытеснения - это дифференциальные уравнения в частных производных. При Твх = Т = Твых (изотермический лабораторный реактор) и Vвх =*V*вых= V (мономолекулярная реакция) уравнение теплового баланса исключается, а для описания покомпонентного материального баланса можно воспользоваться уравнением:

 (4.1)

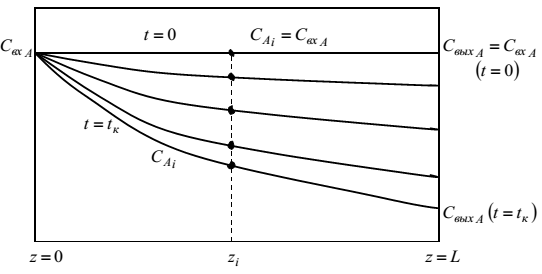


Рис. 4.1. Изменение профиля концентрации Са в период пускаe

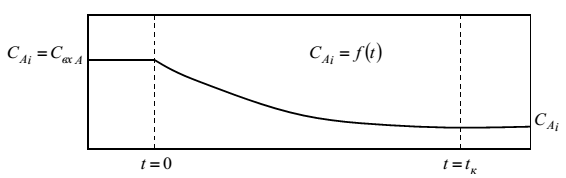


Рис. 4.2. Изменение концентрации Са в сечении zi в период пуска

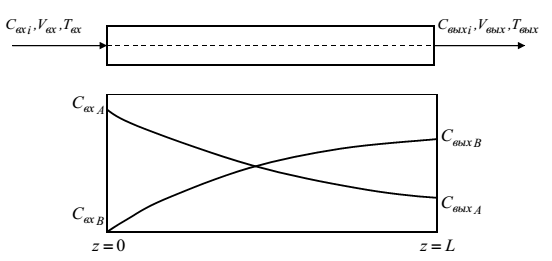


Рис. 4.3. Изменение концентраций Са и Св в стационарном режиме

Решение его - функция Ci = f (z,t) в виде двумерного массива или семейства кривых Ci = f (z) при t = 0, tк (рис. 4.1). В данном примере модель реактора идеального вытеснения в динамическом режиме работы представлена системой из двух дифференциальных уравнений в частных производных:

 (4.2)

НУ: при t = 0 и z = 0, ... , 1 СА = СвхА, СВ = СвхВ (профиль концентраций в реакторе при t = 0; продувка «холодного» реактора исходной смесью с линейной скоростью и).

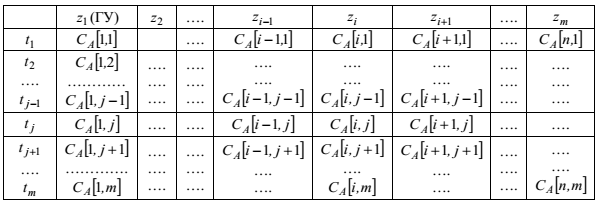
ГУ: при z = 0 и любых t СА = СвхА, СВ = СвхВ (входной поток, питание реактора смесью постоянного состава).

Также должны быть заданы параметры системы уравнений (4.2) и k.

Численное решение системы (4.2) можно рассмотреть на примере первого уравнения. Результатом решения прямой задачи будет двумерный массив Ca (t,z), который получают численным интегрированием уравнения по двум независимым переменным: t с шагом Δt и z с шагом Δ*z*.

Табл. 2.1

Результат решения прямой задачи



Для потока идеального вытеснения z=u\*t и, следовательно, при интегрировании Δ*z* =*u*\*Δtили Δt = Δ*z / u*.

Уравнения для расчета массива CА(t,z) при использовании последовательной аппроксимации производных при малых Δ*z* и Δt вычисляют следующим образом:

 (4.3)

**ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Лабораторная работа № 1.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Цель работы:** Изучение характеристик простых гидравлических систем иоснов компьютерного моделирования, построение системы уравнений математического описаниягидравлических систем.

**Задание:** построение системы уравнений математического описаниягидравлических систем, схематическое описание которых дано в приложении.

**Теоретическая часть.**

К простым гидравлическим системам (рис. 1) относятся технологические схемы трубопроводов, для которых принимаются следующие допущения:

* во всех трубах протекает однофазный поток жидкости температура которого одинакова на всех участках;
* все трубы располагаются на одном уровне, в системе нет обратных потоков (рециклов) не учитываются местные сотивления и перепады давлений в трубах, т.е. рассматриваются, т.н. короткие трубопроводы;
* системы включают только клапаны (вентили) с постоянными неизменяющимися коэффициентами пропускной способности и закрытые емкости (аккумуляторы), давление газа в которых подчиняется идеальным законам.

Реальные гидравлические системы включают насосы, компрессоры и другие единицы оборудования; в них наряду с жидкостью могут перемещаться потоки газа, газо- и парожидкостной смеси. Тем неменее, изучение общих принципов исследования на компьютерах простых гидравлических систем позволяет получить представление о стратегии компьютерного моделирования технологических процессов. При этом удается избежать излишнего углубления в специфику предметной области и отображения в модели подробного механизма протекающих процессов. Основной акцент делается на реализации математической модели на компьютере (построение модели) и расчетном исследовании компьютерной модели (процесс моделирования). В общем случае для любых технологических систем можно выделить три последовательных этапа компьютерного моделирования:

* построение модели процесса;
* обеспечение ее адекватности;
* реализация процесса моделирования, т.е. проведение расчетных исследований.

Первый этап включает подэтапы, связанные с построением уравнений (которые описываютповедение реального процесса), выбором алгоритмов их решения, реализацией вычислительных программ на компьютерах, их тестированием, исправлением синтаксических и семантических ошибок и т.д.

На втором этапе для обеспечения качественного и количественного соответствия поведения модели и объекта (адекватности модели) параметры модели корректируются на основании экспериментальных данных.

H2G

P8

P1

v4

P4

P3

P2

P6

P5

P7

v3

v5

v2

v1

k5

k4

k2

k3

k1

H2

H1

H1G

Рис. 1. **Схема простой гидравлической системы:**

гидравлическая система с двумя закрытыми емкостями (аккумуляторами)

При этом корректируются как коэффициенты (параметры) уравнений математического описания т.н. параметрическая идентификация, так и сам вид уравнений, учитывающий механизмы протекающих процессов, т.н. структурная идентификация. Решение задач идентификации – параметрической и структурной, обеспечивающих адекватность моделей, возможно с применением статистических методом и аппарата регрессионного анализа [2].

На третьем этапе исследуется параметрическая чувствительность моделейи определяются режимные иконструкционные параметры,наиболее сильно влияющие на характер протекающих процессов, которые могут быть управляющими (оптимизирующими)переменными при оптимизации процесса.Также проводятся расчетные исследованиямодели адекватной реальному процессу, ставятся различного рода вычислительные экспериментына компьютере, позволяющие более глубоко понять закономерности протекания исследуемого процесса. Результатами исследований являются статические и динамические характеристикипроцессов, часто представляемые в виде графиков, анализ которых позволяет принимать решения по усовершенствованию и модернизации работы реальных производств.

При построении моделей процессов в стационарном состоянии (статических моделей)переменные уравнений их математического описания не зависят от времени, а для динамических моделей, описывающих нестационарные режимы процессов, переменные уравнений математического описания являются функциями времени, и динамический процесс описывается системами дифференциальных уравнений.

Схема простой гидравлической системы представлена на рис. 1.

Для построения статической моделипредставленной гидравлической системы необходимо выполнить три последовательных этапа:

* изучение и/или ознакомление с теорией протекающих процессов;
* построение и анализ системы уравнений математического описания (МО) процесса;
* выбор и реализация моделирующего алгоритма (МА) решения системы уравнений МО.

**Практическая часть**

Для изучения процесса осуществляется построение системы уравнений МО гидравлической системы изображенной на рис.1, и включающей:

* балансовые уравнения;
* уравнения для определения скоростей движения жидкостей через клапаны;

- уравнения, определяющие давления жидкости на дне закрытой емкости и давление газа над поверхностью жидкости.

Для системы, изображенной на рис.1, будут справедливы два уравнения массового баланса (третье возможное балансовое уравнение - уравнение общего баланса получается сложением двух приводимых, т.е. будет линейно-зависимым):

V1-V3-V5= 0 (1)

V2+ V5 - V4 = 0 (2)

Формула для определения скорости протекания жидкости через клапан в соответствии с уравнением Бернулли [4] для суммарной удельной энергии элементарной струи идеальной жидкости при установившемся движении и с учетом допущений о простой гидравлической системе имеет вид:

(3)

где - коэффициент пропускной способности клапана;

- давления жидкости на входе и на выходе из клапана.

Более строгая запись этой формулы имеет вид:

(4)

где *sgn(x)* - функция знака и может принимать только три значения: - 1, 0, +1 в соответствии со схемой:

В результате, в соответствии с формулой (4) знак скорости потока жидкости становится отрицательным, если направление ее движения будет противоположным, изображенному на рис.1.

Так как гидравлическая система (рис.1) содержит 5 клапанов, то приведенных формул в системе уравнений МО должно быть 5.

По аналогии, должно быть две группы уравнений (рис. 1), определяющих давление жидкости внизу закрытой емкости и давление газа над поверхностью жидкости. При этом принимаются допущения:

- об идеальном поведении газа в емкости;

- о цилиндрической форме закрытой емкости с площадью поперечного сечения S и геометрической высотой НG;

- об одинаковом давлении газа PN в емкостях, не заполненных жидкостью.

В соответствии со следствием из закона Дальтона давление жидкости Ржидквнизу емкости определяется по формуле [4]:

Ржидк = Ргаз+ ρgН, (6)

Где Ргаз- давление газа над поверхностью жидкости;

ρ - плотность жидкости;

Н - уровень жидкости в емкости

Для определения давления газа Ргазиспользуется соотношение для идеального газа:

где:

VN - объем емкости, не заполненный жидкостью (VN=SHG);

Vгaз - объем газа в закрытой емкости (Vгaз=S(HG-H))

В результате будет справедливо:

PгазS(HG-H)=PNSHG

или

Формулы для определения давления жидкости Ржидк (6) и давления газа Ргаз, (8) используются для описания поведения двух закрытых емкостей в гидравлической системе (рис. 1).

Пример построения системы уравнений математического описания.

Построение системы уравнений математического описания (МО) осуществляется следующим образом. Составляется система независимых уравнений (9), описывающая поведение простой гидравлической системы (рис.1) в стационарном состоянии, состоящая из следующих уравнений:

А) определение скорости потоков жидкости через клапаны (3) – при программировании используется строгое уравнение (4):

1.

2.

3.

4.

5.

B) расчета балансов (1) и (2)  
6. V1 - V3 - V5 = 0

7.V2 + V5 - V4 = 0

C) определения давлений жидкости (6) и газа (8) в закрытых емкостях:

8. Р5=Р7+ ρgН1

1. Р6=Р8+ ρgН2

Так как система конечных уравнений (9) включает 11 независимых уравнений (в дальнейшем используется последовательная нумерация уравнений от 1 до 11), она может быть решена в принципе, относительно любых 11 переменных, которые наз. определяемыми переменными. Все остальные переменные системы (9), соответствующие числу степеней свободы, должны задаваться.

Кроме этого должны быть специфицированы коэффициенты (например, коэффициенты пропускной способности клапанов – вектор k, а также постоянные в системе уравнений (9) – геометрическиевысоты емкостей , давление в незаполненной жидкостью емкости PN и плотность жидкости ρ).

**Порядок выполнения работы**

1. Начертить индивидуальный вариант модели простейшей гидродинамической системы
2. Указать направление потоков и обозначить все направления
3. Составить уравнение скоростей, проходящих через все клапаны
4. Составить уравнение балансов для статического режима гидравлической системы
5. Составить уравнения давления жидкости и газа в закрытых емкостях

**Отчет должен содержать:**

1. Индивидуальный вариант гидравлической системы с направлениями потоков и всеми присущими ей обозначениями и характеристиками;
2. Уравнения скоростей потоков жидкости через все клапаны
3. Уравнения балансов
4. Уравнения давлений жидкости и газа в закрытых емкостях

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое простая гидравлическая система?
2. Этапы компьютерного моделирования.
3. Как определяется давление жидкости на дне сосуда?
4. Какие уравнения называются балансовыми?
5. Почему для рассмотренной системы будут справедливы два уравнения массового баланса?

Лабораторная работа № 2.

ВЫБОР МОДЕЛИРУЮЩЕГО АЛГОРИТМА РАСЧЕТА СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА **ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Цель работы:** Основываясь на теоретических и практических данных лабораторной работы № 1 выбрать моделирующий алгоритм для составленной ранее системы уравнений.

**Задание:** построение информационной матрицы системы уравнений математического описанияи на ее основе блок-схемы алгоритма расчета стационарного режимагидравлических систем, схематическое описание которых дано в приложении.

**Теоретическая часть.**

Исходя из физических соображений, при гидравлическом расчете систем трубопроводов, представляющем собой решение системы 11 уравнений (9), определяемыми переменными являются:

- расходы жидкости на всех участках PN : 5 компонентов вектора

-промежуточные давления в системеP5,Р6,Р7,Р8...PN:4 компонента вектора;

(Н) :2 компонента вектора

Давления на входе в систему и Р2, а также давления на выходе из системы Р3 и Р4 задаются и их количество соответствует числу степеней свободы системы уравнений (9), которое определяется как разность числа переменных - числа независимых уравнений и равно: 15-11= 4. Эти четыре переменные могут задаваться независимо в соответствии с физическим смыслом решаемой задачи. Это означает, что если предполагается движение жидкости в соответствии со стрелками, изображенными на рис. 1, давления на входе в систему и Р2 должны быть больше давлений на выходе Р3 и Р4.

Информационная матрица системы уравнений МО представляет собой квадратную матрицу (табл.1), строки которой соответствуют номерам уравнений, а столбцы - обозначению определяемых переменных. Информационная матрица формируются следующим образом: на пересечении i-ой строки, соответствующей i-ому уравнению, с j-ым столбцом ставится знак плюс, если i-oe уравнение включает j-ую определяемую переменную. Эта процедура повторяется для всех независимых уравнений и определяемых переменных системы.

Для выбора оптимального алгоритма расчетов при решении системы уравнений (9) необходимо проанализировать информационную матрицу.

Каждое уравнение системы (9) содержит несколько определяемых переменных: как минимум две. Начальные приближения для итерационных расчетов при решении нелинейных уравнений следует задавать в тех уравнениях, где наименьшее число определяемых переменных (в данном случае две) и оно может быть хорошо обосновано из физических соображений. Например, значение приближения Н1,может быть задано в интервале [0, ] так как высота емкости задана в условии задачи.

Для обозначения задания начального приближения итерационного процесса вычисления в информационной матрице ставится знак плюс, соответствующий задаваемой переменной в конкретном уравнении и обводится квадратом.

Первым шагом вычислительной процедуры будет определение переменной Р7 в уравнении (9). Для обозначения переменной, которая определяется в уравнении (9), соответствующий ей плюс в строке (9), обводится ромбом. Заданное значение приближения и найденная переменная Р7 справедливы для всей системы уравнений и поэтому эти величины должны использоваться и другими уравнениями системы (см. уравнение (8) в табл. 1). Для обозначения распространения значений переменных на все уравнения системы соответствующие им плюсы в столбцах, обводятся окружностями. В уравнении (8) окружностями обведены плюсы, соответствующие Н1 и Р7, что позволяет решить это уравнение относительно Р5 на шаге 2 вычислительной процедуры. Дальнейшие последовательные шаги расчетов дают возможность определить только приближенные значенияV1, V3, V5, Р6, V2, V4, что связано с выбором в самом начале реализуемой процедуры вычисления приближения величины

Таким образом, определение корректного значения Н1, приведет соответственно к получению корректных значений и Р7, Р5, V1, V3, V5, Р6, V2, V4, т.е. 9 из 11 искомых переменных.

Для коррекции Н1,должно использоваться уравнение (7), в котором все переменные известны из предыдущих расчетов (соответствующие им плюсы обведены окружностями) – табл. 1 шаг 9

Когда система уравнений МО решена, то уравнение (7) вида:

V2{Hi} + V5{H1}-V4{H1} =0

должно превратиться в равенство. Переменная Н1 в фигурных скобах в этом случае означает что каждое слагаемое этого уравнения зависит от переменной Н1 и оно должно быть решено относительно Н, для получения ее корректного значения.

Реализацию алгоритма решения уравнения (7) можно рассматривать как процедуру коррекции переменной Hi и соответственно определение значений переменных Р7, Р5, V1, V3, V5, Р6, V2 и V4.Для обозначения того факта, что уравнение (7) является корректирующим для Н1, в строке (7) информационной матрицы (табл.1) в позиции, соответствующей переменной Н1,стоит пустой ромб.

Наиболее эффективным алгоритмом для коррекции переменной Н1 и решения уравнения (7) является метод половинного деления [5], с нижней границей интервала поиска - 0 и верхней границей т.к. только в этом случае знаменатель уравнения (9) системы уравнений МО (9) не станет равным нулю при подстановке в него верхней границы .

При решении уравнения (7) в итерационном цикле на шаге 6 (табл. 1) необходимо определить Р6 из формулы (5). Так как на предыдущих этапах расчетов V5 может получиться как положительным, так и отрицательным, выражение для определения Р6 должно учитывать это обстоятельство - используется функция знака sgn(x) для решения уравнения (5):

Для определения двух оставшихся переменных Р8 и Н2 в уравнение (10) подставляется Р8 из уравнения (11) системы уравнений МО (9). В результате получается квадратное уравнение относительно Н2 (Р6 известно из предыдущих расчетов - табл. 1):

(12)

Для определения значения Н2 используется формула вычисления корней квадратного уравнения и выбирается тот из корней, который располагается в интервале [0, ].

Общепринято для отображения последовательности вычислений и изображения вычислительных процессов использовать блок-схемы алгоритмов расчетов.

При этом предлагается пользоваться следующими графическими блоками:

* начало вычислительного процесса;
* конец вычислений;
* блок обмена информацией:

ввод и вывод данных и результатов расчетов;

- вычислительный блок: блок вычислительногопроцесса, не использующий стандартныевычислительные процедуры и алгоритмы

- алгоритмический блок: блок предопределенного вычислительного процесса, в том числесо сложными численными алгоритмами ипроцедурами проверки условий окончания приближенных расчетов

В общем случае перед применением любого приближенного численного метода следует отделить корень уравнения, т.е. определить замкнутый интервал по искомой переменной х, в котором располагается одно решение (уравнение может иметь несколько корней - решений). В рассматриваемой задаче этот интервал целесообразно задавать из физических соображений в виде: а = 0 и - и для него должно быть справедливо неравенство f(a)\*f(b)<0.

Для метода половинного деления задание такого замкнутого интервала обязательно, в то время, как дляостальных методов, представленных в табл. 2, могут быть заданы одно (х(0)) или два (х(0), х(1)) начальных приближения, по возможности, близко расположенные к искомому решению х\*.

При решении уравнений *f*(x)=0 методом последовательных итераций с использованием итерационных формул, приведенных в табл. 2, целесообразно установить следующие условия окончания итерационного процесса расчетов:

по аргументу

и по функции

где (k) и (k+1) - верхние индексы: номера последовательных итераций; и - точность, определенная корня уравнения х\* соответственно по аргументу и функции.

**Таблица 2.**Итерационные формулы численных методов решения уравнений с одной неизвестной вида *f*(x)=0

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название метода | Итерационная формула | Начальныеприближения |
| 1 | 2 | 3 |
| 1. Половинного деления |  | х(0), х(1) |
| 2.Касательных (Ньютона) |  | х(0) |
| 3.Секущих |  | х(0), х(1) |
| 4.Простых итераций |  | х(0) |
| 5. Вегстейна |  | х(0), х(1) |

**Практическая часть.**

Система 11 конечных уравнений (9), решаемая относительно следующих 11 определяемых переменных:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | P5 | P6 | P7 | P8 | Н1 | Н2 |

является системой нелинейных уравнений [5].

Для ее решения наиболее целесообразно использовать метод математической декомпозиции, который позволяет существенно снизить размерность решаемой задачи и определять все искомые переменные путем решения системы (или систем) уравнений значительно меньшей размерности, чем размерность исходной системы [6].

Размерность исходной системы уравнений (9) равна 11. Для выбора алгоритма математической декомпозиции, который позволит определить 11 искомых переменных (10) путем последовательного решения одного нелинейного уравнения размерностью 1 и одного квадратного уравнения, необходимо построить и проанализировать информационную матрицу системы уравнений МО (9).

Информационная матрица системы уравнений (9), описывающей стационарный режим гидравлической системы (рис.1), представлена в табл.1.

**Таблица** 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| пп | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | P5 | P6 | P7 | P8 | Н1 | Н2 | № |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 3 |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 7 |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4 |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 8 |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 6 |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 5 |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 9 |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 10,11 |
| 11 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 10,11 |

Информационная матрица системы уравнений, описывающей стационарный режим гидравлической системы (рис.1)

P8

H2

H1

СТАРТ

СТОП

Ввод

Р1,Р2,Р3,Р4, PN, H1G, H2G, k, ρ, g

9

3

1

4

2

6

5

7

10

11

Вывод

H1,H2,Р5,Р6,Р7,Р8, v1,v2,v3,v4,v5,

*f*

P7

P5

8

v1

v3

v5

v2

v4

H1

Рис.2. Блок-схема расчета стационарного режима гидравлической системы, изображенной на рис.1

В таблицу 1, соответствующей информационной матрице, включен правый дополнительный столбец, который имеет обозначение номера (№). В этом столбце будет отражаться последовательность вычислений согласно выбираемому алгоритму расчетов.

На рис. 2 изображена блок-схема алгоритма расчета стационарного режима гидравлической системы, изображенной на рис.1. При этом используется два алгоритмических блока – стандартных алгоритма:

- метод половинного деления [5]: алгоритмический блок (7) для определения Н1;

- вычисление корней квадратного уравнения: алгоритмические блоки (10), (11) для определения Н2 и Р8.

Топология гидравлической системы отображается вычислительными блоками слева от алгоритмического блока (7). Результатом расчета по вычислительным блокам (9), (8), (1), (3), (6), (5), (2), (4) является значение величины функции:

*f*=V2+V5 – V4 , (13)

которая используется стандартным модулем метода половинного деления в алгоритмическом блоке (7) для определения уровня жидкости в первой емкости.

**Порядок выполнения работы**

1. Для индивидуального варианта гидравлической системы по уравнениям, полученным в результате выполнения Лабораторной работы 1, пользуясь методом декомпозиции, составить информационную матрицу системы уравнений, описывающей стационарный режим данного варианта гидравлической системы
2. По полученной информационной матрице с помощью выше алгоритма показанного, используя метод половинного деления, построить блок-схему алгоритма расчета стационарного режима гидравлической системы
3. Сделать выводы

**Отчет должен содержать:**

1. Индивидуальный вариант гидравлической системы с направлениями потоков и всеми присущими ей обозначениями и характеристиками;
2. Информационная матрица системы уравнений, описывающей стационарный режим данного варианта гидравлической системы
3. Блок-схема алгоритма расчета стационарного режима гидравлической системы
4. Вывод

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое информационная матрица?
2. В чем сущность графических блоков блок-схемы.
3. На основе чего строится блок-схема алгоритма расчета стационарного режима гидравлической системы?
4. Какие алгоритмические блокииспользуются дляпостроения блок-схема алгоритма расчета стационарного режима гидравлической системы**?**
5. В чем суть метода, использованного при построении блок-схемы алгоритма расчета стационарного режима гидравлической системы**?**

Лабораторная работа № 3.

**СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОСТЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ БЛОК-СХЕМ.**

**Цель работы:**Изучить приведенную компьютерную программу на языке VisualBasicApplication (VBA) и на основе индивидуаного алгоритма составитьсвою программу для расчета простых гидравлических систем на любом из языков программирования.

**Задание:** На основе блок-схемы расчета стационарного режимагидравлических систем, схематическое описание которых дано в приложении, и провестианализ параметрической чувствительности статической модели к изменению входного давления р2 и выходного давления р4.

**Теоретическая часть.**

В табл. 2 представленыитерационные формулы для реализации некоторых численных методов решения уравнения вида*f*(x)=0 (для рассматриваемой задачи – х = Н1 для решения уравнения (13)) [6].

В общем случае перед применением любого приближенного численного метода следует отделить корень уравнения, т.е. определить замкнутый интервал по искомой переменной х, в котором располагается одно решение (уравнение может иметь несколько корней - решений). В рассматриваемой задаче этот интервал целесообразно задавать из физических соображений в виде: а = 0 и - и для него должно быть справедливо неравенство f(a)\*f(b)<0.

Для метода половинного деления задание такого замкнутого интервала обязательно, в то время, как дляостальных методов, представленных в табл. 2, могут быть заданы одно (х(0)) или два (х(0), х(1)) начальных приближения, по возможности, близко расположенные к искомому решению х\*.

При решении уравнений *f*(x)=0 методом последовательных итераций с использованием итерационных формул, приведенных в табл. 2, целесообразно установить следующие условия окончания итерационного процесса расчетов:

по аргументу

и по функции

где (k) и (k+1) - верхние индексы: номера последовательных итераций; и - точность, определенная корня уравнения х\* соответственно по аргументу и функции.

**Таблица 2.** Итерационные формулы численных методов решения уравнений с одной неизвестной вида *f*(x)=0

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название метода | Итерационная формула | Начальныеприближения |
| 1 | 2 | 3 |
| 1. Половинного деления |  | х(0), х(1) |
| 2.Касательных (Ньютона) |  | х(0) |
| 3.Секущих |  | х(0), х(1) |
| 4.Простых итераций |  | х(0) |
| 5. Вегстейна |  | х(0), х(1) |

Исходные данные для расчета базового стационарного режима гидравлической системы (рис.1) представлены в табл. 3. Компьютерная программа на языке VisualBasicApplication (VBA) [7], которая реализует изображенный на рис. 2 алгоритм расчета статической системы, приведена в табл. 4.

Результаты некоторых вариантов расчета, которые позволяют оценить параметрическую чувствительность компьютерной модели статической гидравлической системы (рис.1) к изменениям одного из входных давлений (р2) и одного из выходных давлений (р4), представлены на рис.3 и рис.4. При этом отрицательные значения компонента вектора расхода потока V5 (в рассматриваемых случаях приводятся значения массовых расходов VM5=V5\* ρ) свидетельствуют о том, что поток V5 течет не так, как изображено на рис. 1, а - наоборот.

Основной целью расчетных исследований компьютерной модели гидравлической системы с стационарном состоянии путем анализа ее статических характеристик является определение более эффективных условий работы реального объекта и выявление дополнительных ресурсов для решения задачи оптимизации.

**Практическая часть:**

На основе исходных данных (табл. 3) и блок-схемы алгоритма (лабораторная работа № 2) изучить компьютерную программу на языке VisualBasicApplication (VBA) и создать для своего варианта программу для расчета статического режима работы гидравлической системы.

**Таблица**3. Исходные данные для расчета базового стационарного режима гидравлической системы

Статический режим

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Высота емкости |  | Площадь основ.емкости | | | |
| 1 – ой (м) = | 10 |  | 1 – ой (м^2) = | | 1 |
| 2 – ой (м) = | 10 |  | 2 – ой (м^2) = | | 1 |
| Плотность (кг/м^3) = | 1000 | Нач. давление (МПа) = | | | 0.1 |
|  |  |  | | |  |
| Давление (1–4)/МПа/ = | 1.5 | 2 | 0.2 | 1.25 |  |
| Коэф. проп. Способности (1 – 5) = | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Промеж.вывод. 0 – нет, 1 – частич, 2 – полный = | | 0 |  | |  |
| Относительная погрешность |  | 0.001 |  | |  |

|  |
| --- |
| СЧЕТ |

**Таблица** 4. Компьютерная программа на языке VBA для расчета стационарного режима гидравлической системы

Модуль 1-1

Option Explicit

Option Base 1

Constnp% = 8, nk% = 5, nv% = 11

Dim vm! (nk) , v!(nk), ak!(nk), p!(np), hg!(2), h!(2)

Dim a!, b!, с!, e!, ro!, pn!, g!, x!

Dim i%, kl%, ipr%

Dim buAs Boolean

Public Sub stat()

ipr = 1

With Worksheets("Лист1")

' Высотаемкостей (1-2) m

hg(1) = .Cells(4, 5): hg(2) = .Cells(5, 5)

'Плотность (кг/m3)

ro = .Cells(6, 5)

'Начальное давление (Mпa)

pn = .Cells (6, 9)

' Давление (1-4) /Мпа/

For i = 1 To 4: p(i) = .Cells(8, i +4): Next i

' Коэф. пропускнойспособности (1 – 5)

For i = 1 To 5: ak(i) = .Cells (9, i +4) : Next i

' Относительная локальная погрешность (%)

e = .Cells(11, 6)

'вывод промежуточных результатов 0-нет, 1-частичный, 2-полный

kl = .Cells(10, 6)

End With

Worksheets("Лист2").Activate

Cells.Select

Selection.Clear

Range("al").Select

If kl = 2 Then

Cells(ipr, 5) = “Промежуточныйвывод”: ipr = ipr + 1

Cells(ipr, 5) = "h": Cells(ipr, 6) = “p(5 - 7)”: Cells(ipr, 7) = "vm": ipr = ipr + 1

End If

g = 9.815: e = e / 100: a = 0: b = hg(l)\*(1 – e)

Call MPD(a, b, e, bu, x)

With Worksheets("Лист2")

If bu Then

a = ro \* g \* 0.000001: b = p(6) + ro \* g \* hg(2)

с = (p(6) - pn) \* hg(2)

h(2) - (b - Sqr(b\*b – 4\*a\*c))/2/a

p(8) = pn \* hg(2) / (hg(2) – h(2))

For i = 1 To 5: vm(i) = v(i) \* ro: Next i

Cells(1, 1) = "РЕЗУЛЬТАТ"

Cells(2, 1) = “h”: .Cells(2, 2) = “p(5-8)”: .Cells(2, 3) = “vm”

Cells(3, 1) = h(1): .Cells(3, 2) = p(5):Cells(3, 3) = vm(1)

Cells(4, 1) = h(2): .Cells(4, 2) = p(6):Cells(4, 3) = vm(2)

Cells(5, 2) = p(7): .Cells(5, 3) = vm(3)

Cells(6, 2) = p(8): .Cells(6, 3) = vm(4)

Cells(7, 3) = vm(5)

Else

kl = 2

.Cells(1, 1) = “РЕШЕНИЯ НЕТ”

.Cells(2, 1) = “a”: .Cells(2, 2) = “f(a)”: .Cells(2, 3) = “b”: .Cells(2, 4) = “f(b)”

.Cells(3, 1) = a

.Cells(ipr, 5) = “Промежуточныйвывод а”: ipr = ipr + 1

.Cells(ipr, 5) = “h”: .Cells(ipr, 6) = “p(5–7)”: .Cells(ipr, 7) = “vm”:ipr= ipr +1

.Cells (3, 2) = FUNC (a)

.Cells(3, 3) = b

.Cells(1, 5) = “Промежуточныйвыводb”: ipr = ipr + 1

.Cells(2, 5) =“h”: .Cells(2, 6) = “p(5 – 7)”: .Cells(2, 7) = “vm”: ipr = ipr + 1

Cells(3, 4) = FUNC (b)

End If

End With

End Sub

Function FUNC(x!) As Single

Dim vm!(5), fx!

h (1) = x

p(7) = pn \* hg(1) / (hg(1) - h(l))

p(5) = p(7) + ro \* g \* h(1) \* 0.000001

v(l) = ak(1) \* Sgn(p(1) - p(5)) \* Sqr(Abs(p(l) – p(5)))

v(3) = ak(3) \* Sgn(p(5) – p(3)) \* Sqr(Abs(p(5) – p(3)))

v(5) - v(l) - v(3)

Модуль1 – 2

р(6) = р(5) - Sgn(v(5)) \* (v(5) / аk(5)) ^ 2

v(2) = аk(2) \* Sgn(р(2) - р(6)) \* Sqr(Abs(р(2) - р(6)))

v(4) = аk(4) \* Sgn(p(6) - р(4)) \* Sqr(Abs(p(6) - р(4)))

fx = (v(2) + v(5) - v(4)) \* го

For i = 1 То 5: vm'(i) = v(i) \* го; Next i

If kl = 0 Then GoTo 400

If kl \* 1 Then GoTo 300

Cells(ipr, 5) = h(1): Cells(ipr,. 6) = p(5): Cells(ipr, 7) = vm(l): ipr = ipr + 1

Cells (ipr, 6) = p(6): Cells (ipr, 7) = vm(2): ipr = ipr + 1

Cells (ipr, 6) = p(7): Cells (ipr, 7) = vm(3): ipr = ipr + 1

Cells(ipr, 7) = vm(4): ipr = ipr + 1

Cells(ipr, 7) = vm(5): ipr = ipr + 1

300: Cells (ipr, 5) = "x =": Cells(ipr, 6) = x: Cells(ipr, 7) = "fx =": Cells(ipr, 8) = f

x: ipr = ipr + 1

400: FUNC = fx

End Function

Sub MPD(a!, b!, eps!, bu As Boolean, xcon!)

Dim fa!,fb!, x!, fx!

fa = FUNC(a): fb = FUNC(b)

If fa \* fb> 0 Then: bu = False: GoTo 100

Do

x = (a + b) /2: fx FUNC(x)

If fx \* fa< 0 Then b = x Else a = x

Loop While Abs(a - b) >eps

xcon = Abs(a + b) / 2: bu = True

100:

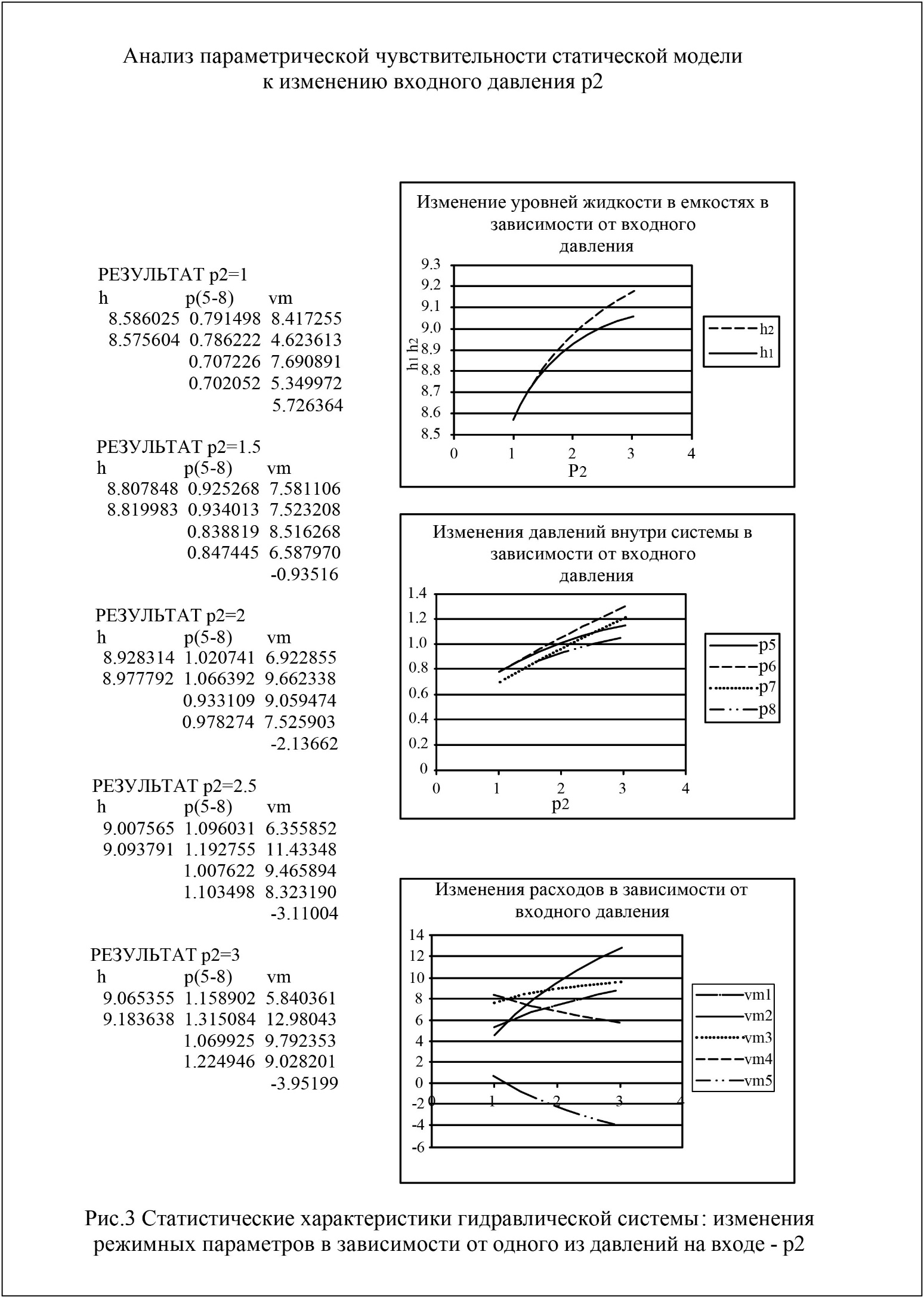
End Sub

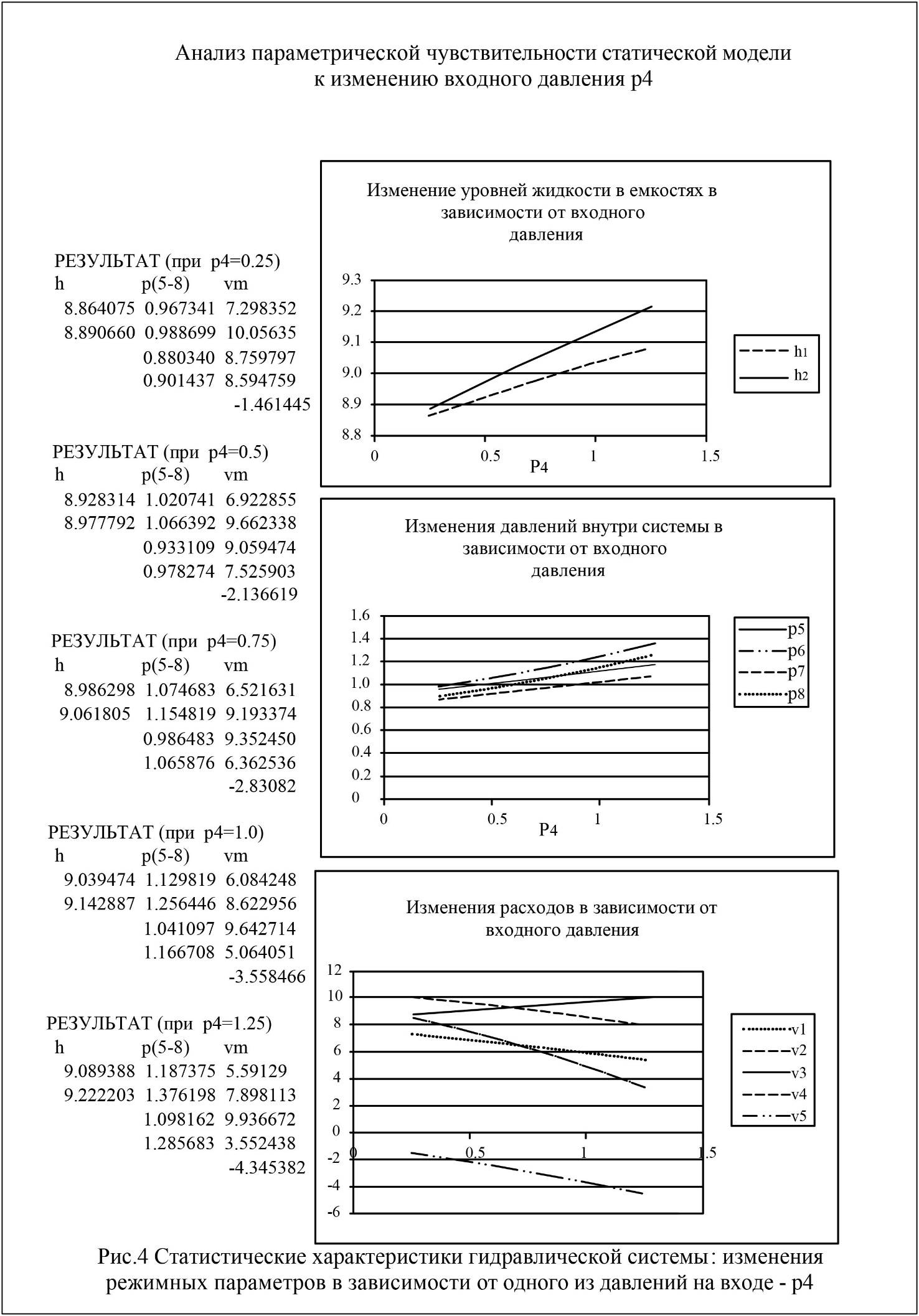
Sub auto\_open()

Worksheets("Лист1") .Activate

EndSub

Проведем анализ параметрической чувствительности статической модели к изменению входного давления р2 и выходного давления р4 на основе этих данных.

****



**Порядок выполнения работы**

1. Для индивидуального варианта гидравлической системы на основе блок-схемы алгоритма расчета стационарного режима гидравлической системы, полученной в результате выполнения лабораторной работы № 2, составить наглядную программу на одном из языков программирования
2. Провести анализ параметрической чувствительности модели к изменению одного из входных давлений
3. Изменяя значение одного из выходных давлений, построить статические характеристики гидравлической системы, т.е. изменение режимных параметров в зависимости от выхода
4. Сделать выводы

**Отчет должен содержать:**

1. Индивидуальный вариант гидравлической системы с направлениями потоков и всеми присущими ей обозначениями и характеристиками;
2. Блок-схема алгоритма расчета стационарного режима гидравлической системы
3. Программа на одном из языков программирования по индивидуальному варианту
4. Графики анализа параметрической чувствительности статической модели к изменению входного давления р2 и выходного давления р4
5. Выводы

**Контрольные вопросы:**

1. Какая задача лежит в основе Вашего варианта компьютерной программы?
2. Какие условия ставились при написании Вашей программы и как они реализовывались?
3. Какая часть программы реализует проверку значения h1?
4. Какая итерационная формула (формулы) использовалась при создании Вашей программы?
5. Меняется ли параметрическая чувствительностьстатической модели при изменении входного давления р2 (выходного давления р4)? Если да, то каким образом? Покажите на графиках.

**Литература:**

1. Гартман Т.Н. и др. Компьютерное моделирование простых гидравлических систем. Москва 2002
2. Комиссаров Ю.А., Глебов М.Б., Гордеев Л.С., Вент Л.П. Химико-технологические процессы. Теория и эксперимент: Учебник для вузов. – М.: Химия, 1989. – 360 с.: ил.
3. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химической промышленности. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.

Лабораторная работа № 4

**ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Цель работы:**При помощи теоретических данных (Лабораторная работа № 1) изучить особенности и построение динамических моделей простых гидравлических систем.

**Задание:** построение системы уравнений математического описания, составление информационной матрицы, моделирующего алгоритма и программы на основе его на одном из языков программирования для динамических моделей гидравлических систем, схематическое описание которых дано в приложении

**Теоретическая часть.**

При построении динамических моделей конечные балансовые уравнения (6) и (7) в системе уравнений МО (9)] превращаются в обыкновенные дифференциальные уравнения вида:

где и объемы жидкости в емкостях 1 и 2 гидравлической системы, представленной на рис.1.

Если емкости 1 и 2 являются цилиндрическими, то объем жидкости в них определяется VR=SH (S - площадь поперечного сечения цилиндра) и выше приведенные обыкновенные дифференциальные уравнения (16) и (17) принимаются вид:

Для решения системы дифференциальных уравнений на компьютере, т.е. получения соответствующего частного решения необходимо задать, т.н. начальные условия вида [5]:

При этом решается задача Коши или задача с начальными условиями, и получаемые частные решения представляют собой функции *H*1(t) и *H*2(t)Нл{\)и (t), рассматриваемые в замкнутом интервале [t(0),t(k)],которые являются приближениями истинных функций решения и

Более общее представление систем двух дифференциальных уравнений (18) и (19) имеет вид:

где *f*1(H1,H2) и *f*2(H1, Н2) – правые части дифференциальных уравнений первого порядка записанные в явном виде.

Существуют два подхода при интегрировании дифференциальных уравнений - явный и неявный.

Для явных методов Эйлера [5] систему дифференциальных уравнений на каждом*k*-ом шаге решения представляют с использованием конечно-разностной схемы в виде:

где - шаг интегрирования;

В этом случае зная в том числе легко pacсчитываются и по простым формулам:

При этом необходимо располагать алгоритмом расчета дифференциальных уравнений и при известных значениях .

Для неявного метода Эйлера соотношения (22) и (23) принимаются вид [6]

В этом случае уравнения (24) и (25) для определения и принимают вид:

Сравнение (20) и (21) с (18) и (19), а также учет зависимостей системы уравнения (9) позволяет установить, что функции f1 и f2 являются нелинейными относительно определяемых на каждом к-ом шаге интегрирования и .

Отсюда следует вывод, что определение и на каждом очередном k -шагеинтегрирования сводится к решению системы двух нелинейных уравнений (28) и (29). Это в свою очередь усложняет расчеты и делает их более длительными. Поэтому неявные методы относят к классу медленных методов и применяют, когда быстрые явные методы (например (24) и (25)) не дают удовлетворительных результатов.

Таблица 5.

Явные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений вида

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название метода | Расчет приближений искомой функции на каждом шаге интегрирования | Число вычислений правых частей на каждом шаге интегрирования |
| 1. Эйлера | *i =1, ...,n*  *k = 0,1,2,3, ...* | 1 |
| 1. Эйлера-Коши | *i =1, ...,n*  *k = 0,1,2,3, ...* | 2 |
| 1. Рунге-Кутта | *i =1, ...,n*  *k = 0,1,2,3, ...* | 4 |

Опыт показывает, что для большинства простых гидравлических систем явные методы обеспечивают требуемую сходимость.

Три наиболее распространенных явных метода - Эйлера, Эйлера-Коши, Рунге-Кутта и соответствующие формулы для расчета приближений функций на каждом k+1-ом шаге интегрирования приведены в табл. 5.

**Практическая часть**.

Математическое описание динамики простой гидравлической системы представляет собой систему уравнений (9), в которой балансовые уравнений (6) и (7) заменены на дифференциальные уравнения (18) и (19) и в систему включены два начальных условия (18') и (19') для получения частного решения на компьютере (общее решение обыкновенных дифференциальных уравнений как правило, получают аналитическими методами).

В результате необходимо решить систему (9) уравнений, из которых два (6) и (7) являются дифференциальными (18) и (19) с начальными условиями (18') и (19').

Для построения информационной матрицы для решения дифференциальных уравнений (18) и (19) целесообразно представить их в конечно-разностной форме в следующем виде:

где - заданные значения начальных условий в соответствии с (6\*) и (7\*), а также (18') и (19');, - искомые значения определяемых функции *Н1(t)* и *Н2(t)*, получаемые в результате интегрирования на первом шаге при *t=t(1).*

Если интервал интегрирования равен [t(0), t(k)], то правые части дифференциальных уравнений (6\*) и (7\*), а также соответственно (18) и (19), вычисляются при t(0), t(1),..., t(k-1). В результате конечно-разностных преобразований (6\*) и (7\*) информационная матрица уравнений МО динамики простой гидравлической системы имеет вид, приведенный в табл. 6. Так как при решении системы двух дифференциальных уравнений (18) и (19) необходимо определить функции *Н1(t)* и *Н2(t)*[t(0), t(k)], т.е.И  при заданных начальных условиях (18') и (19') и то конечным результатом расчетов должны быть указанные функции, представленные в дискретном виде, при t=t(0), t(1), ...t(k –1), t(k). Последними значениями искомых функций являются определяемые на 12 и 13 шаге вычислений (правый столбец информационной матрицы) -и

Блок-схема алгоритма расчета нестационарного режима гидравлической системы, изображенной на рис. 1, приведена на рис. 5.

Таблица 6

Информационная матрица системы уравнений, описывающей нестационарный режим гидравлической системы (рис. 1)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | P5 | P6 | P7 | P8 | Н1нач | Н1кон | Н2нач | Н2кон | № |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4 |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 9 |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 5 |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 10 |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 11 |
| 6\* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 12 |
| 7\* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 13 |
| 6’ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |
| 7’ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 6 |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 3 |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 8 |
| 11 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 7 |

Рис. 5. Блок-схема алгоритма расчета нестационарного режима гидравлической системы, изображенной на рис. 1

H2(t)

H1(t)

H2(t)

H1(t)

v2

v5

P6

СТАРТ

СТОП

Ввод

Р1,Р2,Р3,Р4, PN, H1G, H2G, ρ, g

9

3

1

5

6\*

Вывод

H1,H2,Р5,Р6,Р7,Р8, v1,v2,v3,v4,v5,

*f6*

P7

P5

8

v1

v3

v4

6’

11

4

2

P8

10

7’

*f7*

7\*

Исходные данные для расчета базового варианта динамического режима гидравлической системы (рис.1) при заполнении двух емкостей представлены в табл.7. Компьютерная программа на языке VisualBasicApplication (VBA), которая реализует изображенный на рис. 3 алгоритм расчета динамического режима, приведена в табл. 8.

На стр. 6 изображены динамические характеристики гидравлической системы (рис.1) при заполнении емкостей без нанесения возмущения и с возмущением на 1000-ом шаге интегрирования дифференциальных уравнений, что соответствует вполне определенному моменту времени.

**Таблица 7.**

Исходные данные для расчета базового динамического режима гидравлической системы

Динамика гидравлической системы

При загрузке системы рекомендуется прикрыть вентили в линиях связи емкостей (уменьшить коэф. пропуск.способ.)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Высота емкости |  | Площадь основ.емкости | | | |
| 1 – ой (м) = | 15 |  | 1 – ой (м^2) = | | 1 |
| 2 – ой (м) = | 10 |  | 2 – ой (м^2) = | | 1 |
| Плотность (кг/м^3) = | 1000 | Нач. давление (МПа) = | | | 0.1 |
|  |  |  | | |  |
| Давление (1–4)/МПа/ = | 1.5 | 2 | 0.2 | 0.5 |  |
| Коэф. проп. Способности (1 – 5) = | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Нач. условия х0, у0(1), у0(2) = | 0 | 0 | 0 |  |  |
| Число шагов, шаг, кратн. вывода | 1000 | 1 | 100 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| Промеж.вывод. 0 – нет, 1 – частич, 2 – полный = | | 0 |  | |  |
| Вывод результатов: 0–нет, 1–частич, 2–полный= | | 1 |  | |  |

|  |
| --- |
| СЧЕТ |

|  |
| --- |
| Продолжить счет |

**Таблица 8.**Компьютерная программа на языке VBA для расчета динамического режима гидравлической системы

**Модуль 11 – 1**

Option Explicit

Option Base 1

Public culc As Integer

ConstmAsByte = 2 'КоличестворешаемыхОДУ’

Constnр% = 8, nk% = 5, nv% = 11, g! = 9,8

Public del! ‘шаг’

Privatek!

Privatey0! (m) , x0! 'Начальное значение

Privaten% ‘Число шагов

Privatekv% ‘Кратностьвывода

Private xl!,yl!(m), i%

Private ki!,kil!, ki2!, vm! (nk), v!(nk), ak!(nk), p!(np)

Private hg! (m) , h!(m), s! (m), pr!(m), ro!, pn!, x!, ipr%, iprl%

‘Используем стандартную функцию sgn(a), которая возвращает (-1)а<0 (1)а>0 (0) = 0

Subdydx (xAsSingle, y() AsSingle, pr!())

'Расчет производных для текущих(pr) х,у

Dimj%

For j = 1 To m: h(j) = y(j): Next j

p(7) = pn \* hg(l) / (hg(1) - h(l)): p(8) = pn \* hg(2) / (hg(2) - h(2)):

p(5) = p (7) + ro \*q \*h(1)\*0.000001: p(6) = p(8) + ro\* g\*h(2)\*0.000001

v(1) = ak(1) \* Sgn(p(1) – p(5)) \* Sqr(Abs(p(l) - p (5)))

v(3) = ak(3) \* Sgn(p(5) – p(3)) \* Sqr(Abs(p(5) - p (3)))

v(5) = ak(5) \* Sgn(p(5) – p(6)) \* Sqr(Abs(p(5) - p (6)))

v(2) = ak(2) \* Sgn(p(2) – p(6)) \* Sqr(Abs(p(2) - p (6)))

v(4) = ak(4) \* Sgn(p(6) – p(4)) \* Sqr(Abs(p(6) - p (4)))

pr(1) = (v(1) – v(3) – v(5)) / s(1) : pr(2) = (v(2) + v(5) – v(4)) / s(2)

For j = 1 To 5: vm(j) = v(j) \*ro: Next j

With Worksheets("Лист2")

If ki> 0 Andki< 3 Then

If ki = 2 Then

.Cells(ipr, 1) = i: .Cells(ipr, 2) = "p(5-7)": .Cells(ipr, 6) = vm

.Cells(ipr, 3) = p(5): .Cells(ipr, 4) = p(6): .Cells(ipr, 5) = p(7)

.Cells(ipr, 7) = vm (1): .Cells(ipr, 8) = vm(2): .Cells(ipr, 9) = vm(3)

.Cells(ipr, 10) = vm(4): .Cells(ipr, 11) = vm(5): ipr = ipr + 1

End If

.Cells(ipr, 2) = "x": .Cells(ipr, 4) = "y(l-2)": .Сells(ipr, 7) = "pr(l-2)

.Cells(ipr, 3) = x: .Cells(ipr, 5) = y(l): .Cells(ipr, 6) = y(2)

.Cells(ipr, 8) = pr(l): .Cells(ipr, 9) = pr(2): ipr = ipr + 1

End If

If ipr = 180 Then ipr = 1

End With

End Sub

Sub step(x As Single, y() As Single, del As single, xl As single, yl() As single)

'Шаг интегрирования по X и Y расчет XI и Yl

Dimу12!(m) , j%

Call dydx(x, y, pr)

For j = 1 To m: yl2(j) = y(j) + del \* pr(j) / 2: Next j

Call dydx(x + del / 2, yl2, pr): xl = x + del

For j = 1 To m: yl(j) = y(j) + del \* pr(j): Next j

End Sub

Public Sub gidra ()

Dim j%, contr As String

Static xOs!, y0s! (2)

ipr = 1: iprl = 1

With Worksheets("Лист1")

hg(1)=.Cells(4, 5): hg(2) =.Cells(5, 5): s(1) =.Cells(4, 9): s(2) =.Cells(5, 9)

ro = .Cells(6, 5): pn = .Cells(6, 9)

' Давление (1-4) /Мпа/

For i = 1 To 4: p(i) = .Ceils (8, i + 4): Next i

' Коэф. пропускнойспособности (1-5)

For i = 1 To 5: ak(l) = .Cells(9, i + 4): Next i

' Начальные условия x0,y0(1),y(2)

x0 = .Cells(10, 5): y0(l) = .Cells(10, 6): y0(2) = .Cells(l0, 7)

Ifculc = 4 Thenx0 = x0s: y0(l) = y0s(l): y0(2) = y0s(2)

'Число шагов, шаг, кратность вывода

n= .Cells(11, 5): del = .Cells(11, 6): kv = .Cells(11, 7)

'Относительная локальная погрешность ( % ) и Кратность шагов на вывод

ki1 = .Cells(12, 5): ki2 = .Cells(13, 5)

End With

Worksheets("Лист2").Activate

Cells.Select

**Модуль 11 – 2**

Selection.Clear

Range ("al"). Select

Worksheets ("Лист 3").Activate

Cells. Select

Selection. Clear

Range ("al"). Select

For i = 1 To n

ki = kil: Call step(x0, y0, del, xl, yl): x0 = xl: x0s = x0

For j = 1 To m: y0(j) = yl(j): y0s(j) = y0(j): Next j

If (i \ kv) = (i / kv) Then

If ki2 = 1 Then

If iprl = 1 Then

Worksheets ("Лист 3") .Cells(iprl, 1) = "x0"

Worksheets ("Лист 3") .Cells(iprl, 2) = "y0(l)

Worksheets ("Лист 3").Cells(iprl, 3) = "y0(2)": iprl = iprl + 1

End If

Worksheets ("Лист 3") .Cells(iprl, 1) = x0

Worksheets ("Лист 3").Cells(iprl, 2) = y0(1)

Worksheets ("Лист 3").Cells(iprl, 3) =y0(2)

iprl = iprl + 1

End If

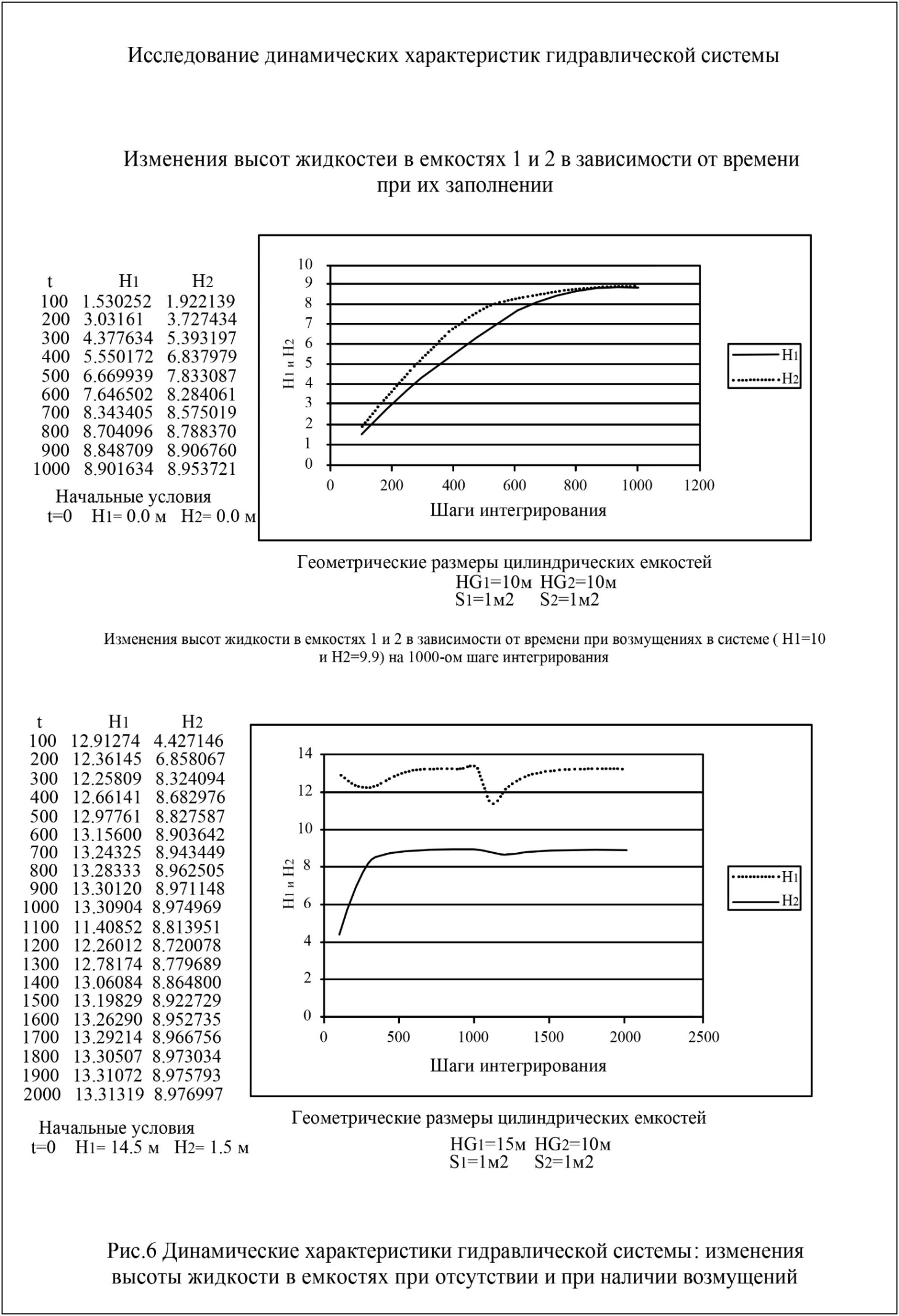
If ki2 = 2 Then ki = ki2: Call dydx(x0, y0, pr)

End If

Next i

End Sub

Вводя исходные данные в программу, выводим динамические характеристики гидравлической системы изменения высоты жидкости в емкостях H1(t) и H2(t) при отсутствии и при наличии возмущений (рис. 6).



**Порядок выполнения работы**

1. Для индивидуального варианта гидравлической системы составить систему уравнений с учетом динамического режима
2. На основе этих уравнений составить информационную матрицу
3. На основе информационной матрицы построить блок-схему алгоритма расчета динамического режима гидравлической системы
4. На основе блок-схемы на одном из языков программирования составить программу расчета динамического режима гидравлической системы
5. Построить графики динамических характеристик гидравлической системы изменения высоты жидкости в емкостях H1(t) и H2(t) при отсутствии и при наличии возмущений.

**Отчет должен содержать:**

1. Индивидуальный вариант гидравлической системы с направлениями потоков и всеми присущими ей обозначениями и характеристиками;
2. Математическое описание динамического режима гидравлической системы.
3. Информационная матрица и блок-схема алгоритма расчета динамического режима гидравлической системы
4. Программа на одном из языков программирования по индивидуальному варианту, основанная на полученном алгоритме
5. Графики динамическиххарактеристик гидравлической системы изменения высоты жидкости в емкостях H1(t) и H2(t) при отсутствии и при наличии возмущений.

**Контрольные вопросы:**

1. В чем особенности динамического режима гидравлических систем?
2. Как строится информационная матрица динамического режима гидравлических систем?
3. Какие условия ставились при написании Вашей программы и как они реализовывались?
4. Какая итерационная формула (формулы) использовалась при создании Вашей программы?
5. В чем отличие алгоритмов расчета динамического и статического режимов гидравлической системы
6. Проанализировать параметрическую чувствительность полученных динамических моделей, а также провести исследование динамических характеристик компьютерной модели процесса.

**Литература:**

1. Гартман Т.Н. и др. Компьютерное моделирование простых гидравлических систем. Москва 2002
2. Комиссаров Ю.А., Глебов М.Б., Гордеев Л.С., Вент Л.П. Химико-технологические процессы. Теория и эксперимент: Учебник для вузов. – М.: Химия, 1989. – 360 с.: ил.
3. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химической промышленности. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.

**ГЛОССАРИЙ**

**Модель** – это некоторый объект, который на разных этапах исследования может заменять исследуемый объект.

**Модель** – это целевой образ объекта оригинала, отражающий наиболее важные свойства для достижения поставленной цели.

**Модель** – это мысленно представляемая, либо материально реализованная система, которая может отображать или воспроизводить объект исследования, а также замещать его с целью изучения и представления новой информации об объекте.

***Математическая модель -*** приближенное описание какого-либо явления или процесса внешнего мира, выраженное с помощью математической символики.

**Объекты моделирования**:

1.Технологические системы (ТС) – участки из технологического оборудования, автоматические линии, гибкие производственные системы (ГПС)

2.Технологические процессы (ТП).

3.Физические и химические процессы (ФХП),протекающие при функционировании технологического оборудования.

***Теория подобия –*** наука**,**которая утверждает, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене одного объекта другим точно таким же. При моделировании абсолютное подобие не имеет места и стремятся к тому, чтобы модель достаточно хорошо отображала исследуемую сторону функционирования объекта.

***Детерминированное моделирование****-* отображает детерминированные процессы, т. е. процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий.

***Стохастическое моделирование -*** отображает вероятностные процессы и события. В этом случае анализируется ряд реализаций случайного процесса, и оцениваются средние характеристики, т. е. набор однородных реализаций.

***Статическое моделирование -*** служит для описания поведения объекта в какой-либо момент времени, а *динамическое* ***моделирование***отражает поведение объекта во времени.

***Дискретное моделирование*** *-* служит для описания процессов, которые предполагаются дискретными, соответственно непрерывное моделирование позволяет отразить непрерывные процессы в системах.

***Дискретно-непрерывное моделирование -*** используется для случаев, когда хотят выделить наличие как дискретных, так инепрерывных процессов.

***Мысленное моделирование -*** часто является единственным способом моделирования объектов, которые либо практически не реализуемы в заданном интервале времени, либо существуют вне условий, возможных для их физического создания.

***Наглядное моделирование -*** на базе представлений человека о реальных объектах создаются различные наглядные модели, отображающие явления и процессы, протекающие в объекте.

***Аналоговое моделирование -*** основывается на применении аналогий различных уровней. Наивысшим уровнем является полная аналогия, имеющая место только для достаточно простых объектов.

***Языковое моделирование -*** В основе лежит некоторый тезаурус. Последнийобразуется из набора входящих понятий, причем этот набор должен быть фиксированным.

***Математическое моделирование –*** следуетпонимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта.

***Методы исследования аналитической модели***

а) аналитический, когда стремятся получить в общем виде явные зависимости для искомых характеристик;

**б)** численный, когда, не умея решать уравнений в общем виде, стремятся получить числовые результаты при конкретных начальных данных;

в) качественный, когда, не имея решения в явном виде, можно найти некоторые свойства решения (например, оцедить устойчивость решения).

***Имитационное моделирование -*** реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы ***S*** во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы *S*.

***Реальное моделирование -*** при *реальном моделировании* используется возможность исследования различных характеристик либо на реальном объекте целиком, либо на его части.

**Этапы моделирования системы:**

- построение концептуальной модели системы и ее формализация;

- алгоритмизация модели системы и ее машинная реализация;

- получение и интерпретация результатов моделирования системы.

**Построение *концептуальной модели М*ки ее формализация** — формулируется модель и строится ее формальная схема, т. е. основным назначением этого этапа является переход от содержательного описания объекта к его математической модели, другими словами, процессу формализации.

***Логическая схема моделирующего алгоритма -*** представляет собой логическую структуру модели процесса функционирования системы *S*. Логическая схема указывает упорядоченную во времени последовательность логических операций, связанных с решением задачи моделирования.

***Схема программы*** *-* отображает порядок программной реализации моделирующего алгоритма с использованием конкретного математического обеспечения.

***Модели*** *с* ***сосредоточенными параметрами*.** Для данного класса моделей характерно постоянство переменных в пространстве.

***Модели с распределенными параметрами****.* Если основные переменные процесса изменяются как во времени, так и в пространстве, или если указанные изменения происходят только в пространстве, то модели, описывающие такие процессы, называются моделями с распределенными параметрами.

***Статические модели -*** отражают работу объекта в стационарных условиях, т.е. когда параметры процесса не меняются во времени.

***Динамические модели -*** отражают изменение объекта во времени.

**Математическая модель** – это реализованный на компьютере алгоритм решения системы уравнений математического описания (МО), или математическая модель –это система уравнений, которая связывает между собой входные и выходные переменные реального процесса (МО), для прогнозирования свойств которого необходимо с помощью специального алгоритма решить эту систему уравнений и реализовать этот алгоритм на компьютере.

**"Элементарные"** процессы: 1) движение потоков фаз; 2) массообмен между фазами; 3) теплопередача; 4) изменение агрегатного состояния (испарение, конденсация, растворение и т.д.); 5) химические превращения.

***Аналитические методы* составления математического описания** -способы вывода уравнений статики и динамики на основе теоретического анализа физических и химических процессов, происходящих в исследуемом объекте, а также на основе заданных конструктивных параметров аппаратуры и характеристик перерабатываемых веществ.

***Экспериментальный метод* составления математического описания**используется для управления и исследования объектов в узком, "рабочем" диапазоне изменения входных и выходных переменных (например, при построении системы автоматической стабилизации отдельных технологи­ческих параметров).

***Состав математического описания -***представляет собой совокупность зависимостей, связывающих различные переменные процесса в единую систему уравнений. Среди этих соотношений могут быть уравнения, отражающие общие физические законы (например, законы сохранения массы и энергии), уравнения, описывающие "элементарные" процессы (например, химические превращения), ограничения на переменные процесса и т.д.

**Блочный принцип построения математических моделей -** модель строится из отдельных логически законченных блоков, отражающих обычно ту или иную сторону рассматриваемого процесса.

**Методы исследования структуры потоков -** в поток на входе его в аппарат каким-либо способом вводят индикатор, а на выходе потока из аппарата замеряют концентрацию индикатора как функцию времени. Эта выходная кривая называется функцией отклика системы на типовое возмущение по составу потока.

**Импульсный метод**. В соответствии с этим методом в поток на входе его в аппарат практически мгновенно, в виде дельта-функции, вводят определенное количество индикатора.

***Метод ступенчатого возмущения****.* При использовании этого метода в поток жидкости, поступающей в аппарат и не содержащей индикатора, вносят некоторое количество индикатора таким образом, что его кон­центрация во входящем потоке изменяется скачком от нуля до некоторого значения  и в дальнейшем поддерживается на этом уровне.

***Метод установившегося состояния****.* При исследовании структуры потоков в аппарате этим методом в поток на выходе из аппарата с постоянной скоростью вводят индикатор и определяют изменение кон­центрации индикатора в направлении, противоположном движению потока.

***Метод синусоидального возмущения.*** При наложении синусоидального возмущения на входящий поток получают на выходе функцию отклика, также представляющую собой синусоиду, но имеющую другую амплитуду и сдвинутую по фазе.

**Моменты функции распределения -** систематизируются по трем признакам: по порядку *р* момента; по началу отсчета случайной величины; по виду случайной величины.

**С кривая -** функция отклика системы на импульсное возмущение по составу потока, служит оценкой функции плотности распределения элементов потока по времени пребывания.

**F– кривая -** функция отклика системы на ступенчатое возмущение по составу потока, является оценкой функции распределения.

**Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики** - результат сопоставления входной и выходной синусоид.

**Модель идеального смешения** - соответствует аппарату, в котором поступающее в него вещество мгновенно распределяется по всему объему аппарата. Концентрация вещества в любой точке аппарата равна концентрации на выходе из него.

**Модель идеального вытеснения -** в основе модели лежит допущение о поршневом течении без перемешивания вдоль потока при равномерном распреде­лении вещества в направлении, перпендикулярном движению. Время пребывания всех частиц в системе одинаково и равно отношению объема системы к объемному расходу жидкости.

**Диффузионная модель -** воснове диффузионной модели лежит допущение, что структура потока описывается уравнением, аналогичным уравнению молекулярной диффузии. Параметром модели является коэффициент продольного перемешивания, называемый также коэффициентом турбулентной диффузии (или коэффициентом обратного перемешивания).

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС**

**ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Рўйхатга олинди:  №*БД-5311000-3.11* |  | Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | |
| 201\_\_\_ йил“\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  | 201\_\_\_ йил “\_\_\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

**ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРНИ ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАШ ВА МОДЕЛЛАШТИРИШ**

фанининг

**ФАН ДАСТУРИ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Билим соҳаси:  Таълим соҳаси:  Таълим йўналиши: | 300000 –  310 000 –  5311000– | Ишлаб чиқариш техник соҳа  Муҳандислик иши  Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни автоматлаштириш ва бошқариш (кимё, нефть-кимё ва озиқ-овқат саноати) |

Тошкент – 2018

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2018 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_даги \_\_\_\_\_\_ - сонли буйруғи билан фан дастурлари рўйхати тасдиқланган.

Фан дастури Олий ва ўрта махсус, касб-ҳунар таълими йўналишлари бўйича Ўқув-услубий бирлашмалар фаолиятини Мувофиқлаштирувчи Кенгашнинг 201\_\_ йил “\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_ -сонли баённомаси билан маъқулланган.

Фан дастури Тошкент давлат иқтисодиёт университетида ишлаб чиқилди.

**Тузувчилар:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Д.П.Мухитдинов | − Тошкент Давлат техника университети «Ишлаб чиқариш жараёнларини автоматлаштириш» кафедраси профессори, техника фанлари доктори, профессор. |
|  | Ш.М. Гулямов | − Тошкент Давлат техника университети «Ишлаб чиқариш жараёнларини автоматлаштириш» кафедраси профессори, техника фанлари доктори, профессор. |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
| **Тақризчилар:** | Тошкент Давлат техника университети «Ахборотларга ишлов бериш тизимлари ва бошқариш» кафедраси профессори т.ф.д. УзР ФА нинг академиги Игамбердиев Х.З.  Адилов Ф.Т. |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Фан дастури Тошкент давлат техника университети Кенгашида кўриб чиқилган ва тавсия қилинган (201\_\_ йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ даги “\_\_\_” -сонли баённома).

**I**. **Ўқув фанининг долзарблиги ва олий касбий таълимдаги ўрни**

Ушбу дастур саноат корхоналарида технологик жараёнларни идентификациялаш ва моделлаштиришнинг таснифи, фаннинг тарихи ва ривожининг тенденцияси, истиқболи ҳамда республикамиздаги ижтимоий-иқтисодий ислоҳотлар натижаларини технологик жараёнларни идентификациялаш ва моделлаштириш истиқболига таъсири масалаларини қамрайди.

**II**. **Ўқув фанининг мақсади ва вазифалари**

Фанни ўқитишдан мақсад – талабаларда техник-технологик объектларни бошқариш тизимларини компьютер ёрдамида тадқиқ қилиш учун керакли билим ва кўникмаларни шакллантиришдан, талабаларни тажриба маълумотлари натижалари асосида объект ва бошқариш системаларининг идентификациялаш, математик моделлар қуриш ва уларнинг баҳолаш алгоритмларини тузиш соҳасида зарурий билимлар, кўникмалар ва тажрибалар даражасини таъминлашдан иборатдир.

Фаннинг вазифаси – талабаларга технологик жараёнларни моделлаштириш, бошқариш объектларини идентификациялаш ва қўйилган талаб даражасидан келиб чиқиб моделларни ҳисоб-китоб қилиш, уларни тўғри танлаш, лойиҳа ҳужжатларини тайёрлашни ўргатишдан иборат.

Фан бўйича талабаларнинг билим, кўникма ва малакаларига қуйидаги талаблар қўйилади. ***Талаба:***

«Технологик жараёнларни идентификациялаш ва моделлаштириш асослари» ўқув фанини бўйича талабаларнинг билим, кўникма ва малакаларига қуйидаги талаблар қўйилади. ***Талаба:***

* фаннинг асосий муаммолари ва унинг касбни эгаллашдаги моҳияти; моделлаштириш ва идентификациялашнинг ўрни ва роли;
* технологик жараёнларни моделлаштиришнинг асосий муаммолари;
* технологик жараёнларни моделлаштиришнинг ривожланиш тенденцияси;
* технологик жараёнларнимоделлаштириш, компьютер техникаси орқали бошқариш, фан, техника ва технология энг сўнгги ютуқлари***ҳақида тасаввурга эга бўлиши***;
* технологик жараёнларни математик моделлаштириш ва модель орқали жараёнларни бошқариш усулларини;
* математик модел (ММ) ларни тузишнинг умумий тамойилларини;
* технологик жараёнларни тузилган моделлари асосида асосий параметрларнинг қийматлари ва жараён боришининг оптимал режаларини аниқлашни;
* технологик жараёнларни идентификациялаш ва моделлаштириш усулларини ***билиши ва улардан фойдалана олиши***;
* ЭҲМ да технологик объектлар ва уларни бошқариш тизимларини идентификациялаш ва моделлаштириш масалалари ечиш;
* типик технологик жараёнларнинг статик ва динамик моделларини тузиш;
* объектлар ва бошқариш системаларини тавсифлаш учун кўлланиладиган моделларнинг асосий турларини, улар орасидаги ўзаро алоқани, кузатилиш ва идентификацияланиш хоссалари;
* технологик жараёнлар учун оптимал шароитларни аниқлаш ва уларни амалиётда қўллай олиш ***тасаввурга эга бўлиши.***
* объектлар ва бошқариш системалари моделларининг параметрик ва нопараметрик идентификациялаш усуллари ва алгоритмларини ***билиши ва улардан фойдалана олиши;***
* баҳолаш масалаларида қўлланиладиган оптималлаштиришнинг асосий меъзонларини ҳисоблаш;
* чизиқли ва ночизиқли динамик системалар ҳолатини бахолашнинг усуллари ва алгоритмларини ҳисоблаш ***кўникмаларига эга бўлиши керак***.

**III**.**Асосий назарий қисм (маъруза машғулотлари)**

**1-Модул. Математик моделлаштриш асослари**

**1-мавзу. “Идентификациялаш ва моделлаштириш” фанига кириш**

Технологик жараёнларни моделлаштириш ва идентификациялаш асосларининг тарихи ва ривожланиш тенденциялари. Саноат корхоналарида ишлатиладиган компьютерли моделлар тўғрисида умумий маълумот. Технологик жараёнларни моделлаштириш соҳасидаги республикамиздаги ислоҳотлар натижалари, ҳудудий муаммолар ва илм-фан, техника ва технология ютуқлари. Фаннинг вазифалари.

**2-мавзу. Фаннинг предмети ва услублари**

Математик моделлаштириш масаласини умумий қўйилиши. Моделлаштириш–билишусули сифатида. Фаразлар тизими тушунчаси. Моделлаштиришнинг фалсафий масалалари. Физик ва математик моделлаштириш. Математик модель, математик моделлаштиришнинг техник ва дастурий таъминоти тушунчалари. Математик моделлаштиришнинг типик масалалари.

**3-мавзу. Тизимларни моделлаштириш турларининг таснифи**

Хаёлий моделлаш. Аёний моделлаш. Аналогли моделлаш.Тилли моделлаш.Математик моделлаш.Имитацион моделлаш. Комбинацияланган моделлаш.

**2-Модул. Объектнинг математик модели**

**4-мавзу. Математик моделнинг структураси ва ташкил этувчилари.**

Билимлар моделлари. Математик моделлаштириш, бошқариш тизимларини таҳлил қилиш принциплари, ишлаб чиқариш иерархиясининг поғоналари, моделларнинг турлари, математик тавсиф ва уни ташкил этувчи тенгламалар типлари, моделнинг монандлиги, компьютерли моделларни оптималлаш масалаларида қўлланиши.

**5-мавзу. Математик моделларнинг асосий турлари.**

Мужассамлашган параметрли моделлар. Тақсимланган параметрли моделлар. Статик моделлар. Динамик моделлар.

**6-мавзу. Объектнинг математик тавсифини тузиш.**

Математик тавсифни тузишда блокли тамойиллар. Аналитик усуллари ёрдамида математик тавсифни тузиш. Математик тавсифни тузишнингэкспериментал усули. Математик тавсифининг таркиби.

**7-мавзу.Ҳисоблаш машиналари (шахсий компьютерлар)да тизимларни моделлаш имкониятлари ва самарадорлиги**

Тизимларнинг ишлаш жараёнини шакллантириш ва алгоритмлаш. Тизимлар моделларини ЭҲМда амалга ошириш ва уларнинг кетма-кетлигини ишлаб чиқиш. Тизимнинг концептуал моделини қуриш ва уни шакллантириш. Моделни алгоритмлаш ва уни машинали амалга ошириш.

**3-Модул. Объектларнинг аналитик моделларини қуриш усуллари**

**8-мавзу. Математик моделларни қуриш учун дастлабки маълумотлар**

Объект ва унинг моддий, энергетик ва ахборот оқимлари структурасининг таҳлили. Субстанциянинг сақланиш қонунлари асосида математик модел тенгламаларини келтириб чиқариш.Мураккаб объект моделлари.

**9-мавзу. Математик моделларни қуришнинг блокли тамойили.**

Структуравий моделни қуришнинг умумий тамойиллари. Математик тавсив тенгламалар тизимининг тахлили.

**4-Модул.Аппаратдаги оқимлар структурасининг математик тавсифи.**

**10-мавзу.Саноат аппаратларида оқим зарраларини вақт бўйича тақсимланиш нотекислигининг энг муҳим манбалари.** Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Импульсли усул).

**11-мавзу.**Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Поғонали ғалаён усули).

**12-мавзу.**Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Мувозанат ҳолати усули).

**13-мавзу.**Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Синусоидал ғалаёнлаш усули).

**14-мавзу.**Аппаратда бўлиш вақти бўйича оқим элементлари тақсимланишининг асосий тавсифлари (тақсимлаш функциялари моментлари).

**15-мавзу.**Моментлар усули ёрдамида экспериментал С – эгри чизиқларни қайта ишлаш**.**

**16-мавзу.**Тажрибавий F– эгри чизиқларга ишлов бериш.

**5-Модул. Типик математик моделлар.**

**17-мавзу.**Идеал аралаштириш ва идеал сиқиб чиқариш моделлари.

**18-мавзу.** Диффузияли модел.

**6-Модул. Технологик жараёнларни эмпирик статик моделларини қуриш**

**19-мавзу.Пассив тажриба маълумотлари асосида эмпирик моделларни қуриш**

Масаланинг қўйилиши. Пассив тажриба маълумотлари асосида эмпирик моделларни қуриш. Регрессиянинг тахминий тенгламаси турини аниқлаш.

**20-мавзу.** Регрессия коэффициентлари – эмпирик моделлар параметрларини аниқлаш (регрессия таҳлилининг биринчи босқичини бажариш).Бир ўзгарувчили функцияни чизиқли кўринишга алмаштириш.

**21-мавзу.** [**Регрессион ва корреляцион таҳлил**](file:///C:\Technosystem\technosystems1.narod.ru\study\modelling\Theme7_2.mht#_Hlk67235665). Регрессион ва корреляцион таҳлилнинг босқичлари.

**22-мавзу.** Чиқиш ўзгарувчиси ўлчовини тасодифий катталикларининг сонли тавсифларини аниқлаш. Регрессия коэффициентларининг дисперсия баҳоларини аниқлаш.Дисперсия баҳоларини аниқлаш.

**23-мавзу.**Ҳар бир параллел тажрибалар сони турлича бўлган мустақил ўзгарувчилар ўзгарадиган тажрибадаги дисперсиялар баҳоларини аниқлаш. Мустақил ўзгарувчилар ўзгарадиган ҳар бир *k* нуқтадаги параллел тажрибалари сони бир хил бўлган дисперсиялар баҳоларини аниқлаш.

**24-мавзу.** Ихтиёрий ажратиб олинган нуқтада ўтказиладиган параллел синовлардаги дисперсиялар баҳоларни аниқлаш. Регрессия коэффициентларининг аҳамиятлилигини аниқлаш.

**25-мавзу.** Регрессиянинг аҳамиятсиз коэффициентларини ташлаб юбориш процедураси.Регрессия тенгламаси монандлигининг баҳоси.

**7-Модул. Фаол тажриба маълумотлари бўйича эмпирик моделларни қуриш.**

**26-мавзу.** Фаолтажриба ўтказиш кетмакетлиги.Фаол тажрибалаштиришнинг афзаллликлари.

**27-мавзу.Тўлиқ омилли тажриба ва унинг натижаларини қайта ишлаш.** Регрессиянинг кодланган коэффициентларини аниқлаш

**28-мавзу.** Регрессиянинг кодланган коэффициентларини аҳамиятлилигини аниқлаш. Регрессия тенгламасининг монандлигини текшириш

**29-мавзу.** Ортогонал марказий композицияли тажриба (ОМКТ) ва унинг натижаларни қайта ишлаш

**30- мавзу.**Режалаштириш матрицаси нинг ортогоналлик шартидан *α* ва *S* “юлдузли елка ” катталикларини аниқлаш

**31-мавзу.**Регрессиянинг кодланган коэффициентларини ангиқлаш. Ахборот ва корреляция матрицаларининг диагонал элементларини аниқлаш

**32-мавзу.**Регрессиянинг кодланган коэффициентларининг аҳамиятлилигини аниқлаш

**33-мавзу.**Регрессия тенгламалари монандлигини текшириш

**8-Модул.Кимёвий технология типик аппаратларининг компьютерли моделларини тузиш**

**34-мавзу.** Иссиқлик алмашиш аппаратларининг компьютерли моделларини тузиш.

**35-мавзу.**Иссиқлик алмашиш жараёнини тавсифлашда қатнашувчи стохастик ташкил этувчилар ҳисоби

**36 -мавзу**.Рекуператив иссиқлик алмашиш аппаратларининг ишлашини моделлаштириш. Умумий муносабат. Иссиқлик сиғими ва иссиқлик бериш коэффициентлари ўзгармас бўлган ҳоллар.

**37-мавзу**.Рекуператив иссиқлик алмашиш аппаратларининг ишлашини моделлаштириш. Қайнатгичлар ёки конденсаторларни ҳисоблашда иссиқлик ташувчилардан бирининг ҳарорати ўзгармас бўлган холат. Иссиқлик сиғими ва иссиқлик бериш кэффициентлари ўзгарувчан бўлган ҳоллар.

**38-мавзу.** Иссиқлик алмашиш аппаратларини ҳисоблаш ва агоритмлаштириш.

**39-мавзу.**Иссиқлик ташувчилардан бирининг агрегат ҳолати ўзгарадиган иссиқлик алмашиш аппаратларининг ҳисоби.

**40-мавзу.**Ректификация колонналарининг бошланғич аралашмаларининг оби – қувурли қиздиргичларини ҳисоблаш.

**41-мавзу.**Иссиқлик ташувчиларининг агрегат ҳолати ўзгармайдиган иссиқлик алмашиш аппаратларини ҳисоблаш.

**42-мавзу.**Ректификация колонналарининг куб қолдиқлари совитгичини ҳисоблаш.

**43-мавзу**. “Аралаштириш – аралаштириш” типидаги иссиқлик алмашиш аппаратларининг математик тавсифини ва унинг ечим алгоритмини тузиш.

**44-мавзу.** Змеевикли иссиқлик алмашиш аппаратларининг математик тавсифини ва унинг ечим алгоритмини тузиш.

**45-мавзу.** Тўғри (бир хил йўналишли) оқимли «қувур ичида қувур» исиқлик алмашиш аппаратларининг математик тавсифини ва унинг ечим алгоритмини тузиш.

**46-мавзу.** Тескари (қарама қарши) оқимли«қувур ичида қувур» иссиқлик алмашиш аппаратларининг математик тавсифини ва унинг ечим алгоритмини тузиш.

**9-Модул. Моделларни оптималлаштириш асослари**

**47-мавзу. Оптимиаллаштриш масалалари.** Оптималлаштириш масаласининг қўйилиши. Оптималлаштириладиган ўзгарувчиларнинг тавсифи.Оптималлаштириш усулларининг таснифи. Оптималлаштиришнинг тақрибий усуллари.

**48-мавзу.** Автоматик бошқариш системаларнинг оптималлик мезони.

**49-мавзу.**Мақсадли функция ва унинг хусусиятлари. Мақсадли функциянинг геометрик интерпретацияси.

**50-мавзу*.*** Глобал ва локал оптимумлар. Минимумнинг зарурий шартлари. Минимумнинг етарли шартлари. Унимодал функциялар.

**51-мавзу.**Классик усули билан минималлаштириш кетмакетлиги.

**52-мавзу**. Дихотомия усули билан минималлаштириш кетмакетлиги.

**53-мавзу.** “Олтин” кесишусули билан минималлаштириш кетмакетлиги.

**54-мавзу.** Фибоначчи усули билан минималлаштириш кетмакетлиги.

**10-Модул. Идентификациялаш ҳақида асосий маълумотлар.**

**55-мавзу. Идентификациялаш назариясининг асосий тушунчалар. Идентификациялаш масаласини кўйилиши**.

Идентификациялаш муаммолари. Идентификациялаш босқичлари ва идентификациялаш бўйича қулай ечимлари. Объектини идентификациялашнинг асосий тушунча ва масалалари.

**56-мавзу. Идентификациялаш усулларини синфлашги объектлар динамикасининг математик модилларини кўринишлари.**

Идентификациялашда қўлланиладиган математик моделлар ва уларнинг ҳусусиятлари, моделларнинг синфланиши.

**57-мавзу. Динамик объектларнинг асосий хоссалари ва улардаги ўткинчи жараёнлар. Динамик оъектларни синфланиши.**

Чизиқли динамик объектларни параметрик ва дискрет моделлари. Ночизиқли динамик моделлар.

**58-мавзу.Динамик объектларнинг математик моделларини қуриш усуллари. Динамик модел қуришнинг аналитик усули.**

Аналитик усулда модел қуришнинг дастлабки маълумотлари.

**11- Модул. Динамик моделлар қуришнинг усуллари**

**59-мавзу.** Математик модел қуринишининг экспериментал усули. Актив тажриба ўтказишга тайёрлаш.

**60-мавзу.**Вақт характеристикаларини идентификациялаш. Вақт характеристикалари тажриба асосида қуриш усуллари.

**61-мавзу.** Частотавий характеристикалар ёрдамида идентификациялаш. [Импульс](https://www.google.com/search?rlz=1C1GGRV_enUZ798UZ798&q=%D0%98%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwiz9Int4dzcAhWDYVAKHWvkBqEQkeECCCIoAA)ли ўткинчи жараённи аниқлашнинг частотавий усули.

**IV. Амалий машғулотлар мазмуни, уларни ташкил этиш**

**бўйича кўрсатма ва тавсиялар**

Амалий машғулотларда талабалар технологик жараёнларни моделлаштириш ва оптималлаштиришнинг турли усулларини ўрганадилар.

Амалий машғулотларнинг тахминий тавсия этиладиган мавзулари:

* Математик тасниф тузиш. Идеал аралаштириш реактори: стационар ишлаш режими.
* Математик тасниф тузиш. Идеал аралаштириш реактори: динамик ишлаш режими.
* Математик тасниф тузиш. Идеал сиқиб чиқариш реактори: стационар ва динамик ишлаш режимлари.
* Математик тасниф тузиш. Идеал сиқиб чиқариш реактори: динамик ишлаш режими.
* Рақамли усуллар ердамида қурилмалар таснифларини графиклар усули ва содда итерациялар усули билан ечиш.
* Рақамли усуллар ердамида қурилмалар таснифларини алгоритмлаш. Иккига бўлиш усули. Хордадар усули. Ньютон усули.
* Ректификациялаш жараенини математик таснифларини алгоритмлаш.
* Корреляцион таҳлил ўтказиш кетма-кетлиги.
* Чизиқли, параболик ва кўплик регрессия тенгламасининг коэффициентларини аниқлаш.
* Регрессия коэффициентларининг аҳамиятлилигини аниқлаш.
* Аҳамиятсиз коэффициентларни чиқариб ташлаш методикаси.
* Регрессия тенгламасининг монандлигини аниқлаш.
* Бир ўлчовли оптималлаштириш усуллари ердамида масалаларни ечиш. Математик таҳлил усули. Дихотомиялар усули
* Бир ўлчовли оптималлаштириш усуллари ердамида масалаларни ечиш. “Олтин” кесиш усули. Фибоначчи усули
* Кўп ўлчовли оптималлаштириш. Мақсадли функциянинг график ифодаси. Фунция градиентини аниқлаш
* Кўп ўлчовли оптималлаштириш усуллари. Классик усул. Тушиш усуллари
* Динамик объекнинг математик моделларининг кўринишлари ва уларни бир кўринишдан бошқасига ўтиши
* Бир сиғимли объектларнинг узатиш функцияларинини аниқлаш
* Кўп сиғимли объектларнинг узатиш функцияларинини аниқлаш
* Ўткинчи функсияни аппроксимациялаш асосида узатиш функсиясини топиш
* ИЎФ асосида W(p) ни топиш
* Ҳолат тенгламасининг кўринишлари ва уларни бир кўринишдан бошқасига ўтиши
* Тажриба натижалари асосида ҳолат ўтқазувчиларини аниқлаш
* Ўткинчи жараён асосида детерминантли бир ўлчамли объект параметрларини топиш
* Тажриба натижаларини силлиқлаштириш ва нормаллаштириш
* Бир ўлчамли объектнинг математик моделини бир кўринишдан иккинчисига MatLAB дастури асосида ўтиши
* Энг кичик квадратлар усули ёрдамида бир ўлчамли объектнинг параметрларини ҳисоблаш
* Бир ўлчамли динамик объектнинг параметрларни баҳолаш
* Ночизиқли объектларни статистик идентификациялаш
* Ночизиқли объектларнинг параметрларини баҳолаш

Амалий машғулотларни ташкил этиш бўйича кафедра профессор-ўқитувчилари томонидан кўрсатма ва тавсиялар ишлаб чиқилади. Унда талабалар асосий маъруза мавзулари бўйича олган билим ва кўникмаларини амалий масалалар ечиш орқали бойитадилар. Шунингдек, дарслик ва ўқув қўлланмалар асосида талабалар билимларини мустаҳкамлашга эришиш, тарқатма материаллардан фойдаланиш, илмий мақолалар ва тезисларни чоп этиш орқали билимларини ошириш, масалалар ечиш, мавзулар бўйича кўргазмали қуроллар тайёрлаш ва бошқалар тавсия этилади.

**V. Лаборатория ишлари мазмуни, уларни ташкил этиш бўйича кўрсатмалар**

Лаборатория ишларини бажариш давомида талабалар технологик жараёнларни моделлаштиришда ЭҲМдан тўғри фойдаланиш, тизимларни компьютерли моделлаштириш бўйича амалий кўникма ва тажриба ҳосил қилади.

Лаборатория ишларининг тавсия этиладиган мавзулари:

1. Оддий гидравлик системаларнинг статик математик моделларини қуриш
2. Гидравлик системаларни стационар режимларини хисоблашнинг моделлаштирувчи алгоритмини танлаш.
3. Блок-схемалар асосида оддий гидравлик системаларни хисоблаш учун дастур тузиш.
4. Оддий гидравлик системаларнинг динамик математик моделларини қуриш.
5. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг стационар ишлаш режимида моделлаштириш
6. Параметрлари мужассамлашган объектларнинг статик математик моделларини тузиш ва ЭҲМда статик тавсифини олиш.
7. Параметрлари мужассамлашган объектларнинг динамик математик моделларини тузиш ва ЭҲМда динамик тавсифини олиш.
8. Статистик усулда бошқариш системаларини моделлаштириш.
9. Корреляцион тахлил усули билан бошқариш системаларини статик моделини тузиш.
10. Экспериментни режалаштириш усули билан бошқариш системаларини моделини тузиш.

**VI. Курс лойиҳасини ташкил этиш бўйича кўрсатмалар**

Курс лойиҳасининг мақсади талабаларни мустақил ишлаш қобилиятини ривожлантириш, олган назарий билимлари асосида амалий кўникмалар ҳосил қилиш, бевосита ишлаб чиқаришдаги реал шароитларга мос техник ечимларни қабул қилиш ва замонавий техника ва технологияларни қўллаш кўникмаларини ҳосил қилишдир.

Курс лойиҳасининг мавзулари бевосита ишлаб чиқариш корхоналаридаги жараёнлар ва қурилмаларнинг технологик параметрларини оптималлаштиришга боғлиқ ҳолда белгиланади.

Ҳар бир талабага шахсий топшириқ берилади.

Курс лойиҳасининг тавсия этиладиган тахминий мавзулари:

* Иссиқлик алмашиниш жараенларини бошқариш тизимларини моделлаштириш.
* Абсорбциялаш жараенларини бошқариш тизимларини моделлаштириш..
* Ректификациялаш жараенларини бошқариш тизимларини моделлаштириш..
* Реакцион жараенларни жараенларини бошқариш тизимларини моделлаштириш.
* Кўп поғонали буғлатиш қурилмасини моделлаштириш.

**VII. Мустақил таълимни ташкил этишнинг шакли ва мазмуни**

Талаба мустақил таълимни ўзлаштириши жараёнида муайян фаннинг ҳусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги шакллардан фойдаланиши тавсия этилади:

* дарслик ва ўқув қўлланмалар бўйича фанлар боблари ва мавзуларини ўрганиш;
* тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
* автоматлаштирилган ўргатувчи ва назорат қилувчи тизимлар билан ишлаш;
* махсус адабиётлар бўйича фанлар бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
* янги техникаларни, аппаратураларни, жараён ва технологияларни ўрганиш;
* талабаларнинг ўқув-илмий-тадқиқот ишларини бажариш билан боғлиқ бўлган фанлар бўлимлари ва мавзуларини чуқур ўрганиш;
* фаол ва муаммоли ўқитиш услубидан фойдаланиладиган ўқув машғулотлари;
* масофавий (дистанцион) таълим.

Мустақил таълим бўйича тавсия этилаётган мавзулар:

* Тизимларни моделлаштириш турларининг классификацияси.
* Математик моделлаштириш, бошқариш тизимларини таҳлил қилиш принциплари, ишлаб чиқариш иерархиясининг поғоналари, моделларнинг турлари.
* Математик тавсиф ва уни ташкил этувчи тенгламалар типлари, моделнинг монандлиги, компьютерли моделларни оптималлаш масалаларида қўлланиши.
* Пассив тажриба маълумотлари асосида эмпирик моделларни қуриш. Регрессиянинг тахминий тенгламаси турини аниқлаш
* Регрессия коэффициентлари – эмпирик моделлар параметрларини аниқлаш (регрессия таҳлилининг биринчи босқичини бажариш). Регрессион ва корреляцион таҳлил
* Моделлаш натижаларини олиш ва таҳлил қилиш. Мураккаб техник - технологик объектларнинг математик моделларини тузиш усулларининг тахлили
* Статика ва динамиканинг ночизиқли тенгламалари бўйича чизиқли моделларини тузиш; чиқиш координаталарига тасодифий жараёнлар ва тенгламалар параметрларининг флуктуацияси таъсирини ўрганиш
* Объектларнинг аналитик моделларини қуриш усуллари
* Тизимларнинг ишлаш жараёнини шакллантириш ва алгоритмлаш. Тизимлар моделларини ЭҲМда амалга ошириш ва уларнинг кетма-кетлигини ишлаб чиқиш. Моделни алгоритмлаш ва уни машинали амалга ошириш.
* Ечиш усулини танлаш ва уни ечиш алгоритми ва моделлаш дастури кўринишида амалга ошириш. Регрессия коэффициентларининг дисперсия баҳоларини аниқлаш.
* Ҳар бир параллел тажрибалар сони турлича бўлган мустақил ўзгарувчилари ўзгарадиган тажрибадаги дисперсиялар баҳоларини аниқлаш. Ихтиёрий ажратиб олинган нуқтада ўтказиладиган параллел синовлардаги дисперсиялар баҳоларни аниқлаш.
* Регрессиянинг кодланган коэффициентларини аҳамиятлилигини аниқлаш.
* Моделларнинг реал объектга нисбатан монандлигини аниқлаш усуллари.

**VIII. Асосий ва қўшимча ўқув адабиётлар ҳамда ахборот манбалари**

**Асосий адабиётлар**

1. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П. TEXNOLOGIK JARAYONLARNI MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH ASOSLARI. Олий ўқув юртлари учун дарслик. –Т.: Фан ва технология , 2015.
2. Luigi BocolaIdentifying Neutral Technology Shocks. University of Pennsylvania, 2014
3. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов. – М.:ИКЦ “Академкнига”, 2006. 416с.
4. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химической технологии. - М.: Высшая школа. 1999.
5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
6. Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 224 с
7. Комиссаров М.А., Глебов М.Б., Гордеев Л.С. Химико-технологические процессы. Теория и эксперименты. – М.: Химия, 1999. – 358 с.
8. Юсупбеков Н.Р. Математическое моделирование технологических процессов. Ўқув қўлланма. - ТошДУ.: 1989.

**Қўшимча адабиётлар**

1. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Базаров М.Б., Халилов Ж.А. Бошқариш системаларини компьютерли моделлаштириш асослари. Олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. –Н.: Навоий-Голд-Сервес, 2009.
2. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Гулямов Ш.М. Основы процессов разделения многокомпонентных смесей. – Т: “Университет”, 2017.
3. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Мухитдинов Д.П., Авазов Ю.Ш. Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей. –Т.: ТашГТУ, 2014.
4. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Маннанов У.В. Моделирование совмещенных реакцинно-разделительных процессов. –Т.: ТашГТУ,1999.
5. Маъруза матнларининг электрон версияси.

**Интернет сайтлари**

1. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)
2. <http://www.allbest.ru>
3. [www.knowledge.allbest.ru](http://www.knowledge.allbest.ru)
4. [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com)
5. [www.e-lib.kemtipp.ru](http://www.e-lib.kemtipp.ru)
6. [www.newlibrary.ru](http://www.newlibrary.ru)
7. [www.priapp.ru](http://www.priapp.ru)
8. [www.knigafund.ru](http://www.knigafund.ru)
9. [www.ozon.ru](http://www.ozon.ru)
10. [www.elibrary-book.ru](http://www.elibrary-book.ru)
11. [www.studfiles.ru](http://www.studfiles.ru)

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА**

**МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**Тошкент давлат техника университети**

|  |  |
| --- | --- |
| Рўйхатга олинди  №\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 йил | ТАСДИҚЛАЙМАН  Ўқув ишлари бўйича проректор \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  “\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_2018 йил |

**ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРНИ ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАШ ВА МОДЕЛЛАШТИРИШ**

**ИШЧИ ЎҚУВ ДАСТУРИ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Билим соҳаси:  Таълим соҳаси:  Таълим йўналиши: | 300000 –  310 000 –  5311000– | Ишлаб чиқариш техник соҳа  Муҳандислик иши  Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни автоматлаштириш ва бошқариш (кимё, нефть-кимё ва озиқ-овқат саноати) |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таълим йўналиши (мутахассислик) коди ва номи   |  | | --- | | 5311000 Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни автоматлаштириш ва бошқариш (кимё, нефть-кимё ва озиқ-овқат саноати) | | Талабаниниг ўқув юкламаси, соат | | | | | | | | Семестрлар, соат | |
| Умумий юклама хажми | Аудитория машғулотлари | | | | | | Мустақил иш | x | x |
| Жами | Маъруза | Амалий машғулот | Лабор.иши | Семинар | Курс иши( лойиҳаси) |
|  | 130 | 72 | 36 | 18 | 18 |  |  | 58 | 5 | 130 |
|  | 226 | 126 | 72 | 36 | 18 |  |  | 100 | 6 | 226 |
|  | 76 | 42 | 14 | 28 | - |  |  | 34 | 7 | 76 |

**Тошкент – 2018**

Ишчи ўқув дастур Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигида № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ рақам билан рўйхатга олинган ва 201\_ йил “\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_ да \_\_\_\_\_\_\_\_- сонли буйруқ билан тасдиқланган намунавий фан дастури асосида тузилган.

**Тузувчилар:** т.ф.д., проф. МУХИТДИНОВ Д.П.

Ишчи ўқув дастур \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ факультетининг \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ кафедраси мажлисида (201 йил “\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_ - сон баённома) мухокама этилди ва факультетнинг ўқув-услубий кенгашига тавсия этилди.

Кафедра мудири\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Котиб \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дастур \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ факультетининг ўқув-услубий кенгашида кўриб чиқилди (201 йил “\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_- сон баённома) ва университетнинг Илмий-услубий кенгашига тасдиқлашга топширилди**.**

Ўқув-услубий кенгаш раиси\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Котиб \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ишчи ўқув дастур университетнинг Илмий-услубий кенгашида кўриб чиқилди ва тасдиқланди (201 йил \_\_\_ июнь \_\_\_-сон мажлис баённомаси).

**Илмий-услубий кенгаш котиби Н.Мамбетов**

1. **Фаннинг долзарблиги ва олий касбий таълимдаги ўрни.**

Ушбу дастур саноат корхоналарида технологик жараёнларни идентификациялаш ва моделлаштиришнинг таснифи, фаннинг тарихи ва ривожининг тенденцияси, истиқболи ҳамда республикамиздаги ижтимоий-иқтисодий ислоҳотлар натижаларини технологик жараёнларни идентификациялаш ва моделлаштириш истиқболига таъсири масалаларини қамрайди.

**2. Фаннинг мақсад ва вазифалари**

Фанни ўқитишдан мақсад – талабаларда техник-технологик объектларни бошқариш тизимларини компьютер ёрдамида тадқиқ қилиш учун керакли билим ва кўникмаларни шакллантиришдан, талабаларни тажриба маълумотлари натижалари асосида объект ва бошқариш системаларининг идентификациялаш, математик моделлар қуриш ва уларнинг баҳолаш алгоритмларини тузиш соҳасида зарурий билимлар, кўникмалар ва тажрибалар даражасини таъминлашдан иборатдир.

Фаннинг вазифаси – талабаларга технологик жараёнларни моделлаштириш, бошқариш объектларини идентификациялаш ва қўйилган талаб даражасидан келиб чиқиб моделларни ҳисоб-китоб қилиш, уларни тўғри танлаш, лойиҳа ҳужжатларини тайёрлашни ўргатишдан иборат.

**3.Асосий қисм**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т/р | Мавзу номи | Ўқитиш шакллари бўйича ажратилган соат | | | | | | |
| Умумий  юклама | Аудитория машғулотлари (соатда) | | | | |  |
| Жами | Маъруза | Амалиёт  (семинар)  машғулот | Лаборато-рия иши | Курс иши  (лойиҳаси) | Мустақил  таълим |
| 1. | Идентификациялаш ва моделлаштириш” фанига кириш | 4 | 2 | 2 | - | - | - | 2 |
| 2. | Математик моделлаштириш масаласини умумий қўйилиши | 4 | 4 | 2 | - | - | - | 2 |
| 3. | Тизимларни моделлаштириш турларининг таснифи | 6 | 2 | 2 | - | - | - | 4 |
| 4. | Математик моделнинг структураси ва ташкил этувчилари | 6 | 2 | 2 | - | - | - | 4 |
| 5 | Математик моделларнинг асосий турлари. | 4 | 2 | 2 | - | - | - | 2 |
| 6 | Объектнинг математик тавсифини тузиш. | 6 | 2 | 2 | - | - | - | 4 |
| 7 | Ҳисоблаш машиналари (шахсий компьютерлар)да тизимларни моделлаш имкониятлари ва самарадорлиги | 8 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 2 |
| 8 | Математик моделларни қуриш учун дастлабки маълумотлар | 6 | 2 | 2 | - | - | - | 4 |
| 9 | Математик моделларни қуришнинг блокли тамойили. | 6 | 2 | 2 |  |  |  | 4 |
| 10 | Саноат аппаратларида оқим зарраларини вақт бўйича тақсимланиш нотекислигининг энг муҳим манбалари. | 10 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 4 |
| 11 | Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Поғонали ғалаён усули). | 10 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 4 |
| 12 | Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Мувозанат ҳолати усули). | 8 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 2 |
| 13 | Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Синусоидал ғалаёнлаш усули). | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 14 | Аппаратда бўлиш вақти бўйича оқим элементлари тақсимланишининг асосий тавсифлари | 10 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 4 |
| 15 | Моментлар усули ёрдамида экспериментал С – эгри чизиқларни қайтаишлаш | 8 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 2 |
| 16 | Тажрибавий F– эгри чизиқларга ишлов бериш. | 10 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 4 |
| 17 | Идеал аралаштириш ва идеал сиқиб чиқариш моделлари. | 10 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 4 |
| 18 | Диффузияли модел. | 10 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 4 |
|  | Семестр (5)  Жами | 130 | 72 | 36 | 18 | 18 |  | 58 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | Пассив тажриба маълумотлари асосида эмпирик моделларни қуриш | 6 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 2 | Регрессия коэффициентлари – эмпирик моделлар параметрларини аниқлаш | 8 | 4 | 2 | 2 |  |  | 4 |
| 3 | [Регрессион ва корреляцион таҳлил](file:///C:\Users\ТГТУ\Technosystem\technosystems1.narod.ru\study\modelling\Theme7_2.mht#_Hlk67235665). | 6 | 2 | 2 |  |  |  | 4 |
| 4 | Чиқиш ўзгарувчиси ўлчовини тасодифий катталикларининг сонли тавсифларини аниқлаш. | 7 | 4 | 2 | 2 |  |  | 3 |
| 5 | Ҳар бир параллел тажрибалар сони турлича бўлган мустақил ўзгарувчилар ўзгарадиган тажрибадаги дисперсиялар баҳоларини аниқлаш. | 7 | 4 | 2 | 2 |  |  | 3 |
| 6 | Ихтиёрий ажратиб олинган нуқтада ўтказиладиган параллел синовлардаги дисперсиялар баҳоларни аниқлаш. | 8 | 4 | 2 |  | 2 |  | 4 |
| 7 | Регрессиянинг аҳамиятсиз коэффициентларини ташлаб юбориш процедураси. | 8 | 4 | 2 | 2 |  |  | 4 |
| 8 | Фаолтажриба ўтказиш кетмакетлиги. | 8 | 4 | 2 | 2 |  |  | 4 |
| 9 | Рекуператив иссиқлик алмашиш аппаратларининг ишлашини моделлаштириш | 6 | 4 | 2 |  | 2 |  | 2 |
| 10 | Тўлиқ омилли тажриба ва унинг натижаларини қайта ишлаш. | 8 | 4 | 2 | 2 |  |  | 4 |
| 11 | Регрессиянинг кодланган коэффициентларини аҳамиятлилигини аниқлаш | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 12 | Ортогонал марказий композицияли тажриба (ОМКТ) ва унинг натижаларни қайта ишлаш | 8 | 4 | 2 | 2 |  |  | 4 |
| 13 | Режалаштириш матрицаси нинг ортогоналлик шартидан *α* ва *S* “юлдузли елка ” катталикларини аниқлаш | 8 | 4 | 2 |  | 2 |  | 4 |
| 14 | Регрессиянинг кодланган коэффициентларини ангиқлаш | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 15 | Регрессиянинг кодланган коэффициентларининг аҳамиятлилигини аниқлаш | 8 | 4 | 2 | 2 |  |  | 4 |
| 16 | Регрессиянинг кодланган коэффициентларининг аҳамиятлилигини аниқлаш | 6 | 2 | 2 |  |  |  | 4 |
| 17 | Иссиқлик алмашиш аппаратларининг компьютерли моделларини тузиш. | 8 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 2 |
| 18 | Иссиқлик алмашиш жараёнини тавсифлашда қатнашувчи стохастик ташкил этувчилар ҳисоби. | 8 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 2 |
| 19 | Рекуператив иссиқлик алмашиш аппаратларининг ишлашини моделлаштириш. | 6 | 4 | 2 |  | 2 |  | 2 |
| 20 | Қайнатгичлар ёки конденсаторларни ҳисоблашда иссиқлик ташувчилардан бирининг ҳарорати ўзгармас бўлган холат | 6 | 4 | 2 |  | 2 |  | 2 |
| 21 | Иссиқлик алмашиш аппаратларини ҳисоблаш ва агоритмлаштириш | 8 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 2 |
| 22 | Иссиқлик ташувчилардан бирининг агрегат ҳолати ўзгарадиган иссиқлик алмашиш аппаратларининг ҳисоби | 10 | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 4 |
| 23 | Ректификация колонналарининг бошланғич аралашмаларининг оби – қувурли қиздиргичларини ҳисоблаш. | 8 | 4 | 2 | 2 |  |  | 4 |
| 24 | Иссиқлик ташувчиларининг агрегат ҳолати ўзгармайдиган иссиқлик алмашиш аппаратларини ҳисоблаш | 8 | 4 | 2 | 2 |  |  | 4 |
| 25 | Ректификация колонналарининг куб қолдиқлари совитгичини ҳисоблаш. | 6 | 4 | 2 | 2 |  |  | 2 |
| 26 | “Аралаштириш – аралаштириш” типидаги иссиқлик алмашиш аппаратларининг математик тавсифини ва унинг ечим алгоритмини тузиш. | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 27 | Змеевикли иссиқлик алмашиш аппаратларининг математик тавсифини ва унинг ечим алгоритмини тузиш. | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 28 | Тўғри (бир хил йўналишли) оқимли «қувур ичида қувур» исиқлик алмашиш аппаратларининг математик тавсифини ва унинг ечим алгоритмини тузиш. | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 29 | Тескари (қарама қарши) оқимли«қувур ичида қувур» иссиқлик алмашиш аппаратларининг математик тавсифини ва унинг ечим алгоритмини тузиш. | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 30 | Оптимиаллаштриш масалалари.Оптималлаштириш масаласининг қўйилиши. | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 31 | Автоматик бошқариш системаларнинг оптималлик мезони. | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 32 | Мақсадли функция ва унинг хусусиятлари. | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 33 | Глобал ва локал оптимумлар. | 4 | 2 | 2 |  |  |  | 2 |
| 34 | Классик усули билан минималлаштириш кетмакетлиги | 6 | 4 | 2 | 2 |  |  | 2 |
| 35 | Дихотомия усули билан минималлаштириш кетмакетлиги. | 6 | 4 | 2 | 2 |  |  | 2 |
| 36 | Олтин” кесишусули билан минималлаштириш кетмакетлиги. | 6 | 4 | 2 | 2 |  |  | 2 |
|  | \_ Семестр  Жами | 226 | 126 | 72 | 36 | 18 |  | 100 |
|  | Фан бўйича ҳаммаси | **356** | 198 | 108 | 54 | 36 |  | 158 |

**Назарий қисм (маърузалар)**

**3Асосий назарий қисм (маъруза машғулотлари)**

**1-Модул. Математик моделлаштриш асослари**

**1-мавзу. “Идентификациялаш ва моделлаштириш” фанига кириш**

Технологик жараёнларни моделлаштириш ва идентификациялаш асосларининг тарихи ва ривожланиш тенденциялари. Саноат корхоналарида ишлатиладиган компьютерли моделлар тўғрисида умумий маълумот. Технологик жараёнларни моделлаштириш соҳасидаги республикамиздаги ислоҳотлар натижалари, ҳудудий муаммолар ва илм-фан, техника ва технология ютуқлари. Фаннинг вазифалари.

**2-мавзу. Фаннинг предмети ва услублари**

Математик моделлаштириш масаласини умумий қўйилиши. Моделлаштириш–билишусули сифатида. Фаразлар тизими тушунчаси. Моделлаштиришнинг фалсафий масалалари. Физик ва математик моделлаштириш. Математик модель, математик моделлаштиришнинг техник ва дастурий таъминоти тушунчалари. Математик моделлаштиришнинг типик масалалари.

**3-мавзу. Тизимларни моделлаштириш турларининг таснифи**

Хаёлий моделлаш. Аёний моделлаш. Аналогли моделлаш.Тилли моделлаш.Математик моделлаш.Имитацион моделлаш. Комбинацияланган моделлаш.

**2-Модул. Объектнинг математик модели**

**4-мавзу. Математик моделнинг структураси ва ташкил этувчилари.**

Билимлар моделлари. Математик моделлаштириш, бошқариш тизимларини таҳлил қилиш принциплари, ишлаб чиқариш иерархиясининг поғоналари, моделларнинг турлари, математик тавсиф ва уни ташкил этувчи тенгламалар типлари, моделнинг монандлиги, компьютерли моделларни оптималлаш масалаларида қўлланиши.

**5-мавзу. Математик моделларнинг асосий турлари.**

Мужассамлашган параметрли моделлар. Тақсимланган параметрли моделлар. Статик моделлар. Динамик моделлар.

**6-мавзу. Объектнинг математик тавсифини тузиш.**

Математик тавсифни тузишда блокли тамойиллар. Аналитик усуллари ёрдамида математик тавсифни тузиш. Математик тавсифни тузишнингэкспериментал усули. Математик тавсифининг таркиби.

**7-мавзу.Ҳисоблаш машиналари (шахсий компьютерлар)да тизимларни моделлаш имкониятлари ва самарадорлиги**

Тизимларнинг ишлаш жараёнини шакллантириш ва алгоритмлаш. Тизимлар моделларини ЭҲМда амалга ошириш ва уларнинг кетма-кетлигини ишлаб чиқиш. Тизимнинг концептуал моделини қуриш ва уни шакллантириш. Моделни алгоритмлаш ва уни машинали амалга ошириш.

**3-Модул. Объектларнинг аналитик моделларини қуриш усуллари**

**8-мавзу. Математик моделларни қуриш учун дастлабки маълумотлар**

Объект ва унинг моддий, энергетик ва ахборот оқимлари структурасининг таҳлили. Субстанциянинг сақланиш қонунлари асосида математик модел тенгламаларини келтириб чиқариш.Мураккаб объект моделлари.

**9-мавзу. Математик моделларни қуришнинг блокли тамойили.**

Структуравий моделни қуришнинг умумий тамойиллари. Математик тавсив тенгламалар тизимининг тахлили.

**4-Модул.Аппаратдаги оқимлар структурасининг математик тавсифи.**

**10-мавзу.Саноат аппаратларида оқим зарраларини вақт бўйича тақсимланиш нотекислигининг энг муҳим манбалари.** Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Импульсли усул).

**11-мавзу.**Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Поғонали ғалаён усули).

**12-мавзу.**Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Мувозанат ҳолати усули).

**13-мавзу.**Оқимлар структурасининг тадқиқот усуллари (Синусоидал ғалаёнлаш усули).

**14-мавзу.**Аппаратда бўлиш вақти бўйича оқим элементлари тақсимланишининг асосий тавсифлари (тақсимлаш функциялари моментлари).

**15-мавзу.**Моментлар усули ёрдамида экспериментал С – эгри чизиқларни қайта ишлаш**.**

**16-мавзу.**Тажрибавий F– эгри чизиқларга ишлов бериш.

**5-Модул. Типик математик моделлар.**

**17-мавзу.**Идеал аралаштириш ва идеал сиқиб чиқариш моделлари.

**18-мавзу.** Диффузияли модел.

**Амалий машғулотларнинг тахминий рўйхати**

* Математик тасниф тузиш. Идеал аралаштириш реактори: стационар ишлаш режими.
* Математик тасниф тузиш. Идеал аралаштириш реактори: динамик ишлаш режими.
* Математик тасниф тузиш. Идеал сиқиб чиқариш реактори: стационар ва динамик ишлаш режимлари.
* Математик тасниф тузиш. Идеал сиқиб чиқариш реактори: динамик ишлаш режими.
* Рақамли усуллар ердамида қурилмалар таснифларини графиклар усули ва содда итерациялар усули билан ечиш.
* Рақамли усуллар ердамида қурилмалар таснифларини алгоритмлаш. Иккига бўлиш усули. Хордадар усули. Ньютон усули.
* Ректификациялаш жараенини математик таснифларини алгоритмлаш.
* Тажриба натижалари асосида ҳолат ўтқазувчиларини аниқлаш
* Ўткинчи жараён асосида детерминантли бир ўлчамли объект параметрларини топиш
* Тажриба натижаларини силлиқлаштириш ва нормаллаштириш
* Бир ўлчамли объектнинг математик моделини бир кўринишдан иккинчисига MatLAB дастури асосида ўтиши
* Энг кичик квадратлар усули ёрдамида бир ўлчамли объектнинг параметрларини ҳисоблаш
* Бир ўлчамли динамик объектнинг параметрларни баҳолаш
* Ночизиқли объектларни статистик идентификациялаш
* Ночизиқли объектларнинг параметрларини баҳолаш

**5. Лаборатория ишлари бўйича кўрсатма ва тасвиялар**

Лаборатория ишларини ташкил этишга кафедра профессор – ўқитувчилари томонидан тавсиялар ва услубий қўлланмалар ишлаб чиқилади.

Лаборатория ишларини талабалар гидроэнергетик қурилмалар ва объектларни лойиҳалашни замонавий дастурлари асосида бажарадилар.

Талабалар маъруза мавзулари бўйича ўзлаштирган билимларини лаборатория машғулотларида тажрибада тасдиқлайдилар.

**Лаборатория ишларининг тахминий рўйхати**

1. Оддий гидравлик системаларнинг статик математик моделларини қуриш
2. Гидравлик системаларни стационар режимларини хисоблашнинг моделлаштирувчи алгоритмини танлаш.
3. Блок-схемалар асосида оддий гидравлик системаларни хисоблаш учун дастур тузиш.
4. Оддий гидравлик системаларнинг динамик математик моделларини қуриш.
5. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг стационар ишлаш режимида моделлаштириш
6. Параметрлари мужассамлашган объектларнинг статик математик моделларини тузиш ва ЭҲМда статик тавсифини олиш.
7. Параметрлари мужассамлашган объектларнинг динамик математик моделларини тузиш ва ЭҲМда динамик тавсифини олиш.

**7. Мустақил талим ва мустақил ишлар бўйича курсатма ва тасвиялар**

Талаба мустақил таълимни ўзлаштириши жараёнида муайян фаннинг ҳусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қуйидаги шакллардан фойдаланиши тавсия этилади:

* дарслик ва ўқув қўлланмалар бўйича фанлар боблари ва мавзуларини ўрганиш;
* тарқатма материаллар бўйича маърузалар қисмини ўзлаштириш;
* автоматлаштирилган ўргатувчи ва назорат қилувчи тизимлар билан ишлаш;
* махсус адабиётлар бўйича фанлар бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
* янги техникаларни, аппаратураларни, жараён ва технологияларни ўрганиш;
* талабаларнинг ўқув-илмий-тадқиқот ишларини бажариш билан боғлиқ бўлган фанлар бўлимлари ва мавзуларини чуқур ўрганиш;
* фаол ва муаммоли ўқитиш услубидан фойдаланиладиган ўқув машғулотлари;
* масофавий (дистанцион) таълим.

**Тавсия этиладиган мустақил таълим мавзулари**

* Тизимларни моделлаштириш турларининг классификацияси.
* Математик моделлаштириш, бошқариш тизимларини таҳлил қилиш принциплари, ишлаб чиқариш иерархиясининг поғоналари, моделларнинг турлари.
* Математик тавсиф ва уни ташкил этувчи тенгламалар типлари, моделнинг монандлиги, компьютерли моделларни оптималлаш масалаларида қўлланиши.
* Пассив тажриба маълумотлари асосида эмпирик моделларни қуриш. Регрессиянинг тахминий тенгламаси турини аниқлаш
* Регрессия коэффициентлари – эмпирик моделлар параметрларини аниқлаш (регрессия таҳлилининг биринчи босқичини бажариш). Регрессион ва корреляцион таҳлил
* Моделлаш натижаларини олиш ва таҳлил қилиш. Мураккаб техник - технологик объектларнинг математик моделларини тузиш усулларининг тахлили
* Статика ва динамиканинг ночизиқли тенгламалари бўйича чизиқли моделларини тузиш; чиқиш координаталарига тасодифий жараёнлар ва тенгламалар параметрларининг флуктуацияси таъсирини ўрганиш
* Объектларнинг аналитик моделларини қуриш усуллари
* Тизимларнинг ишлаш жараёнини шакллантириш ва алгоритмлаш. Тизимлар моделларини ЭҲМда амалга ошириш ва уларнинг кетма-кетлигини ишлаб чиқиш.
* Ечиш усулини танлаш ва уни ечиш алгоритми ва моделлаш дастури кўринишида амалга ошириш. Регрессия коэффициентларининг дисперсия баҳоларини аниқлаш.
* Ҳар бир параллел тажрибалар сони турлича бўлган мустақил ўзгарувчилари ўзгарадиган тажрибадаги дисперсиялар баҳоларини аниқлаш. Ихтиёрий ажратиб олинган нуқтада ўтказиладиган параллел синовлардаги дисперсиялар баҳоларни аниқлаш.
* Регрессиянинг кодланган коэффициентларини аҳамиятлилигини аниқлаш.
* Моделларнинг реал объектга нисбатан монандлигини аниқлаш усуллари.

**8. Асосий ва қушимча ўқув адабиёотлари ва ахборот манбалари**

**Асосий адабиётлар**

1. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П. TEXNOLOGIK JARAYONLARNI MODELLASHTIRISH VA OPTIMALLASHTIRISH ASOSLARI. Олий ўқув юртлари учун дарслик. –Т.: Фан ва технология , 2015.
2. Luigi BocolaIdentifying Neutral Technology Shocks. University of Pennsylvania, 2014
3. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов. – М.:ИКЦ “Академкнига”, 2006. 416с.
4. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химической технологии. - М.: Высшая школа. 1999.
5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991.– 400
6. Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 224 с
7. Комиссаров М.А., Глебов М.Б., Гордеев Л.С. Химико-технологические процессы. Теория и эксперименты. – М.: Химия, 1999. – 358 с.
8. Юсупбеков Н.Р. Математическое моделирование технологических процессов. Ўқув қўлланма. - ТошДУ.: 1989.

**Қўшимча адабиётлар**

1. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Базаров М.Б., Халилов Ж.А. Бошқариш системаларини компьютерли моделлаштириш асослари. Олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. –Н.: Навоий-Голд-Сервес, 2009.
2. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Гулямов Ш.М. Основы процессов разделения многокомпонентных смесей. – Т: “Университет”, 2017.
3. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Мухитдинов Д.П., Авазов Ю.Ш. Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей. –Т.: ТашГТУ, 2014.
4. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Маннанов У.В. Моделирование совмещенных реакцинно-разделительных процессов. –Т.: ТашГТУ,1999.
5. Маъруза матнларининг электрон версияси.

6. Мирзиёев Ш.М. Танқидий таҳлил, қатъий тартиб-интизом ва шахсий жавобгарлик – ҳар бир раҳбар фаолиятининг кундалик қоидаси бўлиши керак. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2016 йил якунлари ва 2017 йил истиқболларига бағишланган мажлисидаги Ўзбекистон Республикаси Президентининг нутқи. // “Халқ сўзи” газетаси. 2017 й., 16 январь, №11.

7. Ўзбекистон Республикаси Конституцияси. - Т.: Ўзбекистон, 2017. - 46 б.

**Интернет сайтлари**

1. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)
2. <http://www.allbest.ru>
3. [www.knowledge.allbest.ru](http://www.knowledge.allbest.ru)
4. [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com)
5. [www.e-lib.kemtipp.ru](http://www.e-lib.kemtipp.ru)
6. [www.newlibrary.ru](http://www.newlibrary.ru)
7. [www.priapp.ru](http://www.priapp.ru)
8. [www.knigafund.ru](http://www.knigafund.ru)
9. [www.ozon.ru](http://www.ozon.ru)
10. [www.elibrary-book.ru](http://www.elibrary-book.ru)

11.[www.studfiles.ru](http://www.studfiles.ru)