

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Биологический факультет  
Кафедра биотехнологии

К.О.КАМАЛОВ

# **Основы теории переноса**

Методические указания к самостоятельной работе

Киров

2014

**УДК 66.045.1(07)**  
К18

Допущено к изданию методическим советом биологического факультета ФГБОУ ВПО «ВятГУ» в качестве методических указаний к самостоятельной работе для студентов направлений 19.03.01 «Биотехнология», 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 18.03.01 «Химическая технология» всех профилей подготовки.

**Камалов К.О.**

носа: методические указания к самостоятельной работе / К.О.К  
– 25 с.

Настоящее издание является частью учебно-методического комплекса по дисциплине «Процессы и аппараты химической и биотехнологии». Приведены вопросы, выносимые на самостоятельное изучение, перечень основной и дополнительной литературы.

Тех. Редактор А.В.Куликова

© ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014

## Содержание

### Введение

<b>Общие сведения.....</b>	<b>4</b>
<b>Структура и объем модуля.....</b>	<b>5</b>
1. Структура самостоятельной работы .....	6
2. Методика реализации самостоятельной работы по изучению теоретического курса «Процессы и аппараты химической технологии».....	7
2.1 Структурно-логическая схема модуля.....	7
2.2 Перечень контрольных вопросов по темам курса.....	9
2.3 Работа с дополнительным информационно-справочным материалом.....	10
3. Реализация графика самостоятельной работы.....	10
4. Проведение промежуточной аттестации .....	11
<b>Библиографический список для усвоения курса «Основы проектирования и оборудование предприятий биохимической промышленности».....</b>	<b>11</b>
Основная литература.....	11
Дополнительная литература .....	12

### Приложение 1

## **Введение**

В курсе "Основные процессы и аппараты химической технологии" (ПАХТ) изучают физико-химическую сущность и теорию процессов, характерных для всех отраслей химической технологии, а также принципы выбора и методы расчета аппаратов, предназначенных для проведения этих процессов. ПАХТ - курс синтетический, который формировался на протяжении десятков лет из отдельных областей знаний и дисциплин, зачастую подходящих к анализу и описанию явлений и процессов с совершенно разных позиций. Выявление общности различных процессов и аппаратов и обобщение методов их расчета является важнейшей задачей изучения данного и других модулей, решение которой позволит представить курс ПАХТ в виде единого логически увязанного целого. Усвоив общие подходы и приемы, студент, а в последующем инженер или научный работник, сможет самостоятельно справиться с анализом множества конкретных процессов и ситуаций. Исходя из этого, в настоящем модуле главное внимание уделено вопросам, разделам, дающим наиболее общие представления о процессах, о постановке задач, приемах анализа, алгоритмах расчетов, о физическом смысле явлений и процессов.

### **Общие сведения.**

**Основные закономерности и общие принципы расчета аппаратов химической технологии.** Основные характеристики (свойства) рабочих тел\*. Перенос субстанции в ХТ. Экстенсивные и интенсивные величины. Локальные и конвективные изменения параметров процессов в потоках.

Классификация основных процессов ХТ. Непрерывные и периодические процессы, их характеристики и области рационального применения в химической промышленности (ХП). Стационарные и нестационарные процессы.

Законы сохранения импульса, энергии и массы. Сущность метода и цель составления балансов. Общее балансовое соотношение.

Законы равновесия. Равновесные и рабочие параметры. Направление и движущая сила процессов переноса субстанций. Правило фаз. Принцип Ле Шателье.

Законы переноса импульса, энергии и массы. Механизмы переноса субстанций. Потенциалы переноса и удельные потоки субстанций. Основное уравнение переноса субстанций, области его применения. Уравнение неразрывности потока, дифференциальные уравнения, описывающие поля скоростей, температура концентраций, субстанциональная производная.

Общий вид уравнений скорости процессов; движущие силы и кинетические коэффициенты. Лимитирующие стадии процессов. Интенсификация процессов XX Аналогия процессов переноса\*.

Общие принципы технологического расчета процессов и аппаратов ХТ.

**Методы исследования процессов и аппаратов ХТ.** Место и роль теоретических и экспериментальных исследований, вычислительного эксперимента с использованием ЭВМ. Системный подход к изучению и созданию новых процессов и аппаратов. Моделирование процессов ХТ: сущность, основные методы.

**Физическое моделирование.** Метод обобщённых переменных: сущность метода, области применения, достоинства и недостатки. Подобные процессы. Вилы подобия; константы, инварианты, симплексы и критерии подобия. Анализ дифференциальных уравнений методами обобщённых переменных. Критериальные уравнения и области их применения. Метод анализа размерностей.

**Математическое моделирование.** Общая схема процесса математического моделирования. Связь математического и физического моделирования.

**Технико-экономическая оценка эффективности** химико-технологических процессов. Критерии оптимальных процессов. Оптимизация процессов.

### Структура и объем модуля

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость модуля	5
Аудиторные занятия В том числе:	5
Лекции	5
Самостоятельная работа (подготовка к занятиям, конспектирование литературы)	

## 1. Структура самостоятельной работы

Существующая ныне градация усвоения знания насчитывает четыре уровня:

- "Распознавание" (узнавание ранее изученного объекта при его предъявлении);
- "Воспроизведение" (умение воспроизвести объект; его описание, математический вывод);
- "Понимание" (овладение связями различных факторов, умение установить и объяснить их, предсказать поведение объекта при изменении условий- то есть активное применение знаний);
- "Творчество" (создание новых подходов к описанию объектов, выявление новых факторов, новых объектов, новых областей знаний).

Инженер, научный работник должны функционировать на уровнях "Понимания" и "Творчества", владея уровнями "Распознавания" и "Воспроизведения".

По этой причине изложение курса и содержательная к методическая стороны заданий преследуют цель представить курс как единое, логически увязанное целое, в котором изучаются не только конкретные, типовые процессы и аппараты химической и биотехнологии, но и прежде всего общие подходы к их анализу и расчету.

В соответствии с этим изучаемый модуль является базовым, то есть содержит общие вопросы, где изложены основные положения курса, весьма важные для понимания других модулей.

Основными формами самостоятельной работы студентов при изучении темы "Основные закономерности и общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов химической и биотехнологии» являются:

- работа с тестами с составлением конспектов ответов;
- заучивание определений основных терминов и понятий модуля;
- подготовка к лекционным и практическим занятиям;
- подготовка к письменным опросам.

Все виды самостоятельной работы должны сопровождаться изучением соответствующего материала в конспектах лекций и рекомендованной литературе. Фундаментальные принципы, лежащие в основе материала модуля, последовательность изучения отдельных элементов раздела и их взаимосвязь указаны в разделе "Структурно-логическая схема модуля".

## **2.Методика реализации самостоятельной работы по изучению теоретического курса «Процессы и аппараты химической и биотехнологии»**

В Программе дисциплины выделен раздел для самостоятельного изучения теоретического материала. Для этого по каждому разделу (модулю) дисциплины обозначены конкретные темы и дан список рекомендованной литературы.

Самостоятельное изучение теоретического курса построено также с учетом модульного принципа обучения. Для каждого модуля дисциплины даны темы для самостоятельного освоения теоретического материала, список контрольных вопросов.

### **2.1 Структурно-логическая схема модуля**

Технологические процессы различных химических производств представляют собой комбинацию сравнительно небольшого числа типовых (основных) процессов (фильтрование, нагревание, охлаждение, сушка и другие).

Теоретические основы этих процессов, методы их расчета и принципы наиболее рационального аппаратного оформления составляют *предмет и содержание курса процессов и аппаратов химической технологии*.

Изучение курса строится на базе методологии *системного подхода*, основным понятием которого является «система» - совокупность элементов, находящихся во взаимодействии между собой и окружающим миром. Без понимания этого взаимодействия невозможно понять сущность «системы», которой, по сути, является любой объект природы и общества. Поэтому при анализе химико-технологического процесса особое внимание следует обращать на взаимодействие составляющих его элементов.

В системном анализе курса «Процессы и аппараты химической технологии» *первым этапом* изучения является рассмотрение всей дисциплины как единой системы знаний и выявление ее роли в общеинженерной подготовке.

*Вторым этапом* изучения является рассмотрение структуры самого курса ПАХТ и иерархии его подсистем.

*Дисциплина ПАХТ* включает в себя *две подсистемы* одного уровня: *теоретическую*, в которой рассматриваются основные закономерности процессов и методы их изучения, и *практическую*, в которой рассматриваются типовые процессы с изучением конструкций аппаратов и методов их расчета.

В зависимости от постановки проблем возможны различные *классификации* ПАХТ, например:

- по физической сущности процесса (гидромеханические, тепловые, массообменные);
- способу организации (периодические, непрерывные и комбинированные).

Протекание процессов в химических производствах в той или иной мере связано с переносом различными механизмами какой-либо субстанции – количества движения (импульса), теплоты, вещества (массы), иногда нескольких субстанций одновременно. Классифицировать механизмы переноса удобнее всего по уровню, т.е. масштабу, в котором осуществляется элементарный акт переноса. По этому признаку выделяют *квантовый, молекулярный и конвективный механизмы* переноса. Необходимо отметить особенность конвективного переноса – его большую мощность. Обычно химико-технологические процессы осуществляются при взаимодействии фаз: контакт между фазами может быть непосредственным (большинство процессов переноса массы) или через разделяющую стенку (большинство процессов переноса энергии-теплоты). Для достижения заданных изменений макроскопических свойств участвующих в процессе веществ на систему оказывают внешнее воздействие, которое приводит к переносу субстанции. *Предельным состоянием системы является подвижное равновесие*, которое не приводит к изменению макроскопических свойств участвующих в процессе веществ во времени и пространстве. Таким образом, *равновесным называется такое состояние системы, при котором перенос субстанции отсутствует. Все самопроизвольные процессы протекают в направлении достижения равновесия*. Чем в большей степени состояние системы отклоняется от равновесия, тем выше скорость процесса переноса субстанций между фазами вследствие увеличения движущей силы, обуславливающей этот процесс.

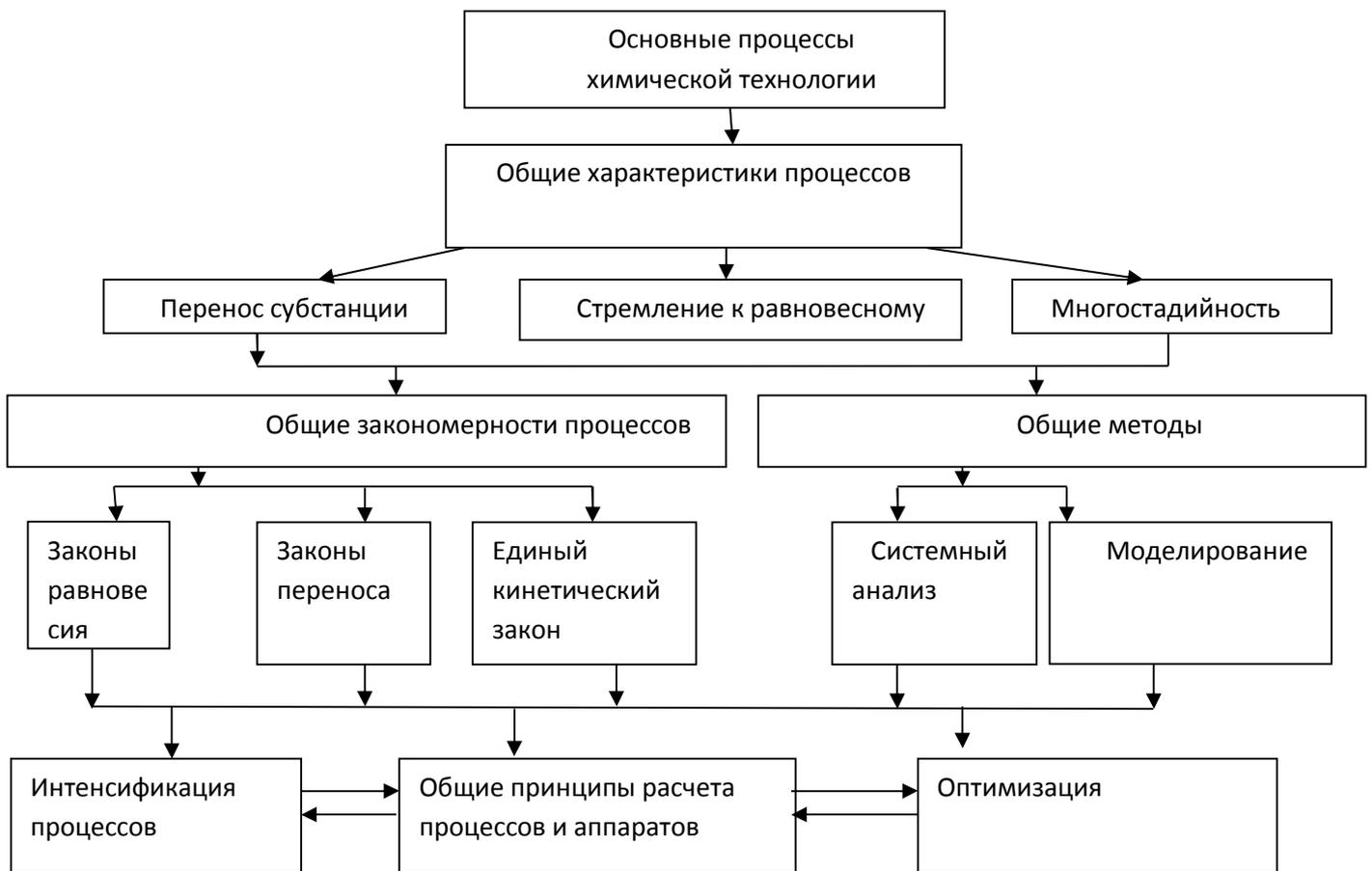


Рисунок 1.1- Структурно-логическая схема модуля "Общие закономерности и принципы анализа и расчета процессов химической технологии"

*Теоретической основой* (см. рисунок 1.1) всех технологических процессов являются законы сохранения, равновесия и переноса субстанций (для химических процессов - еще и законы химической кинетики).

Полное математическое описание каждого отдельного процесса содержит уравнения балансов массы, энергии, действующих сил, уравнения равновесия системы и скоростей процессов переноса - его кинетики. Общие кинетические закономерности процессов химической технологии формулируются в виде общего закона: *скорость процесса прямо пропорциональна движущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению*. Величина обратная сопротивлению называется коэффициентом скорости процесса, который в значительной степени зависит от гидродинамических условий протекания процесса. Анализ кинетических закономерностей позволяет оценить условия протекания процесса и определить оптимальные, соответствующие минимальным размерам машин и аппаратов. При

этом задача существенно упрощается, если одна из стадий процесса является лимитирующей.

Из общего кинетического закона следует, что *основными направлениями интенсификации процессов переноса субстанций являются увеличение движущей силы процесса и снижение сопротивления переносу*. В соответствии с применяемыми для анализа и расчета процессов переноса модельными представлениями сопротивление при переносе субстанций в потоке в поперечном направлении, в основном, определяется явлениями, протекающими в пограничном слое (гидродинамическом, тепловом, диффузионном): в данном случае перенос субстанций через пограничный слой осуществляется самым медленным механизмом - молекулярным, и потому эта стадия является лимитирующей. То есть, те технологические и конструктивные методы, применение которых приводит к уменьшению толщины пограничного слоя, увеличивают и скорость этой стадии, а следовательно и всего процесса переноса субстанций в целом.

Многие химико-технологические процессы настолько сложны, что не представляется возможным их теоретическое исследование и расчет, основанные на составлении и решении дифференциальных уравнений, полностью описывающих процесс. В подобных случаях для решения таких задач применяют метод моделирования, заключающийся в создании моделей процесса, их изучении и распространения результатов на оригинал.

Чтобы моделирование имело смысл, оно *должно удовлетворять двум требованиям:*

- 1) исследование на модели должно быть более экономичным (в широком смысле), чем непосредственно исследование на оригинале;
- 2) моделирование должно быть продуктивным, т.е. должны быть известны условия, при которых оно дает результаты, пригодные для распространения на оригинал, и то, как осуществлять это распространение. Разные способы моделирования - это, в некотором смысле, разные типы традукции.

Моделирование можно осуществлять двумя основными методами: а) методом обобщенных переменных или методом теории подобия (физическое моделирование) и б) методом численного эксперимента (математическое моделирование). Принципиального различия между этими методами нет, поскольку оба они в большей или меньшей степени основаны на экспериментальных данных и различаются лишь подходом к их обработке и анализу.

Следует обратить внимание на то что и в том, и в другом методе в ходе анализа химико-технологических процессов применяется понятие (модель) о сплошных средах, что позволяет пользоваться математическим аппаратом непрерывных функций, прежде всего - дифференциальным и интегральным исчислением.

Аналогия процессов переноса импульса, тепла и вещества, общность закономерностей определяют общие подходы к анализу и расчету - процессов и аппаратов химической технологии, задачами которых являются:

- 1) при заданных расходах исходных материалов определить количество получаемых продуктов и энергию, необходимую для проведения процесса;
- 2) определить условия равновесного (предельного) состояния системы;
- 3) определить оптимальные режимы работы аппаратов;
- 4) рассчитать основные размеры аппаратов, работающих в оптимальных условиях.

Следует обратить особое внимание на то, что при изучении всех перечисленных процессов используют одностепенные дифференциальные уравнения и одностепенный математический аппарат дифференциальные уравнения, полученные теоретическим путем, на основе теории подобия преобразуются критериальные уравнения, которые приводят по экспериментальным данным к расчетному виду. По критериальным уравнениям определяют коэффициенты скоростей процессов, используемые в дальнейшем для расчета рабочего объема или площади поверхности аппаратов.

В конечном счете, целью моделирования химико-технологического процесса является его наилучшая реализация, его оптимизация. Формулировка задачи оптимизации включает, в частности, выбор критерия оптимальности, который должен удовлетворить трем требованиям: быть единственным; выражаться числом; его величина должна монотонно изменяться при улучшении качества функционирования системы. Часто используют экономические критерии оптимальности, например, прибыль, себестоимость, рентабельность. Применяют также технологические критерии (производительность, чистота продукта, выход продукта), которые, в конечном счете, связаны с экономикой: чем больше производительность, тем выше будет прибыль. Наряду с выбором критерия оптимальности при формулировке задачи оптимизации необходимо установить ограничения (условия, которые необходимо соблюдать независимо от того, как это влияет на величину критерия оптимальности: по количеству и качеству сырья, условиям технологии, по соображениям охраны труда и другие), выбрать оптимизирующие факторы и целевую функцию.

## **2.2 Перечень контрольных вопросов по темам курса**

1. Выразите закон сохранения массы для системы, состоящей из одного компонента, и для многокомпонентной системы.
2. Что понимают под плотностью конвективного потока?

3. По каким признакам разделяют материальные балансы?
4. Приведите выражения материальных балансов для стационарных и нестационарных процессов.
5. Что понимают под уравнением рабочей линии?
6. Приведите выражение теплового баланса аппарата.
7. Укажите, для каких целей в инженерных расчетах необходимо знание разности равновесных и рабочих концентраций.
8. Выразите в общем виде условия термического (теплового), механического и химического (концентрационного) равновесия.
9. Сформулируйте понятие о химическом потенциале. Приведите выражения химического потенциала.
10. Сформулируйте правило фаз Гиббса и укажите его использование при решении инженерных задач.
11. Определите число степеней свободы для процесса поглощения аммиака из аммиачно-воздушной смеси водой (растворимость воздуха в воде можно пренебречь).
12. Сформулируйте понятия об уравнениях и линиях равновесия.
13. Как с помощью равновесных и рабочих концентраций определить направление процесса массопереноса?
14. Что понимают под гидравликой? Гидростатика и гидродинамика, их основные задачи. Сформулируйте понятия идеальной, капельной и упругой жидкостей. Какие силы действуют в реальных жидкостях?
15. Какой величиной является давление - скалярной или векторной? Напишите уравнение, связывающее величину давления с нормальным направлением.
16. Что представляет собой гидростатическое давление? Переведите давление, равное 25 м вод. ст., в ат, Па, кгс/м<sup>2</sup>, мм рт. ст.
17. Чем обусловлено торможение движения жидкости у твердой поверхности (например, у поверхности движущейся пластины и стенок канала)?
18. Сформулируйте закон внутреннего трения Ньютона. Раскройте понятия динамической и кинематической вязкости жидкости.
19. Что такое средняя скорость движения жидкости? Назовите виды и режимы движения.
20. Укажите физический смысл критерия Рейнольдса. Какие факторы влияют на критическое значение этого критерия?
21. В каких случаях используют понятия гидравлического радиуса и эквивалентного диаметра?
22. Сформулируйте основные характеристики турбулентного потока (вихри, пульсации, масштаб турбулентности, турбулентная вязкость и др).

23. Сформулируйте основные различия ламинарного и турбулентного течения. Изобразите эпюру скоростей при турбулентном течении жидкости у поверхности твердой стенки. Назовите области турбулентного потока. Дайте сравнение молекулярной (ньютоновской) и турбулентной вязкости в различных областях турбулентного потока и объясните причину различия величин  $\nu$  и  $\nu_0$ .
24. Что является потенциалом переноса субстанций? Напишите законы, описывающие молекулярный перенос субстанций, и объясните причину сходства этих законов.
25. Напишите основное уравнение переноса массы, энергии и импульса. Укажите ограничения его применения.
26. Напишите уравнение неразрывности с использованием субстанциональной производной. Раскройте физический смысл этой производной. Напишите выражение для субстанциональной производной температуры и концентрации. Приведите уравнение неразрывности для неустановившегося потока несжимаемой жидкости.
27. Приведите систему уравнений, описывающих поле температур в движущейся жидкости

## **2.3 Работа с дополнительным информационно-справочным материалом**

Помимо основного материала компоненты учебно-методического комплекса «Процессы и аппараты химической и биотехнологии» позволяют получить дополнительную информацию, которая касается изучаемого предмета и методико-организационных моментов обучения. Для этого в структуре УМКД «Процессы и аппараты химической технологии» даны списки основной и дополнительной учебной и научной литературы, которые соотнесены с конкретными разделами дисциплины. Для самостоятельной работы по освоению теоретического материала также представлен список литературы по разделам (модулям) дисциплины. Усвоение и закрепление знаний, полученных при изучении теоретического материала, осуществляется при самостоятельном изучении дополнительных источников информации, ссылки на которые даны в дополнительно используемых источниках. Изучение рекомендованной дополнительной учебной и научной литературы позволит получить более полное представление о методологии и возможности современной и новейшей методов моделирования; ознакомиться с описанием промышленных

установок. Самостоятельная работа способствует развитию таких необходимых навыков, как решение поставленной перед студентом задачи, сбор и аналитический анализ литературных данных, умение сделать обоснованное заключение.

### **3.Реализация графика самостоятельной работы**

Реализация графика самостоятельной работы студентов регламентирована в учебной программе курса «Процессы и аппараты химической и биотехнологии». График предусматривает самостоятельное изучение теоретического материала в течение семестра, подготовку к выполнению и защите лабораторных работ. В начале семестра проводится входной контроль по дисциплине «Процессы и аппараты химической и биотехнологии» с целью установления первоначального уровня подготовки студентов, для дальнейшей корректировки проведения практических занятий и повторения необходимого теоретического материала.

### **4.Проведение промежуточной аттестации**

Контроль хода обучения по дисциплине «Процессы и аппараты химической и биотехнологии» осуществляется в процессе выполнения и защиты лабораторных работ, предполагающих обязательный ответ на вопросы к каждой лабораторной работе. Теоретические знания по разделам изучаемого материала проверяются на практических занятиях путем устного опроса по темам занятий.

Показателями промежуточной аттестации служат:

- результаты выполнения, оформления и защиты тем лабораторных работ (в ходе семестра);
- итоги промежуточной аттестации, включающие работу студентов на занятии и ответов на вопросы в ходе практических занятий и самостоятельной работы;

Контрольно-измерительными параметрами дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» являются:

- 1) перечень контрольных вопросов со списком литературы по разделам,
- 3) результаты выполнения лабораторных работ и ответы на вопросы,

- 3) перечень заданий и вопросы по лабораторным занятиям,
- 4) оценка преподавателем работы студента на практических занятиях.

## **Библиографический список для усвоения курса «Процессы и аппараты химической технологии»**

Для каждого раздела программы дисциплины с целью более эффективной работы студентов дан расширенный список рекомендованной учебной и научной литературы:

### **Основная литература**

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. -М.: Химия, 1995, ч.1.С. 32-38, 93-98.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учеб. пос. для вузов/ под ред. П.Г. Романкова.-9-е изд., перераб. и доп.-Л.:Химия,1987.-С. 12-14,29-31.
3. Камалов, Константин Олегович. Исследование теплообменного аппарата (теплообмен): лаб. практикум по курсу "Процессы и аппараты химической технологии": специальности 250500, 250600, 240901, 250300, 320700 д/о, з/о / Камалов, Константин Олегович, Гребенкина, Зинаида Ивановна; ВятГУ, БФ, каф. БТ. - Киров, 2009
4. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. /Под ред. Ю. И. Дытнерского.-М.: Химия, 1983.

### **Дополнительная литература**

5. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1981.- С. 15-30.
6. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973.
7. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для вузов: в 2-х книгах. /Под ред. проф. В.Г. Айнштейна. -М.: Химия, 1999.

## Приложение 1

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Адекватность математической модели** - степень приближения данных, прогнозируемых по модели, к экспериментальным данным.

**Гидромеханические процессы** - процессы, где основные явления связаны с переносом импульса в жидкостных и газовых потоках. К этим процессам относятся перемещение жидкостей, сжатие и перемещение газов, разделение жидких и газовых неоднородных систем в поле тяжести (отстаивание), в поле центробежных сил (центрифугирование), электростатических, а также под действием разности давлений при движении через пористый слой (фильтрование) и перемешивание жидкостей.

**Движущая сила процессов переноса веществ** — разность в значении интенсивных свойств (потенциалов).

В частных случаях: для гидромеханических процессов - разность давлений, для тепловых — разность температур, для массообменных - разность концентраций вещества.

**Инварианты подобия** — отношение разнородных величин у модели и образца. Инварианты подобия могут быть неодинаковы для различных сходственных точек подобных систем, но они не зависят от соотношения размеров образца и модели. Это означает, что при переходе от одной системы к другой, ей подобной, инварианты подобия не меняют своих значений.

$$d_1/l_1 = d_2/l_2 = \text{inv}$$

**Интенсивная величина** - величина, не зависящая от количества вещества.

**Квантовый механизм переноса (излучение)** - перенос вещества путем излучения и поглощения элементарных частиц (квантов).

**Конвективный механизм переноса** — перенос вещества вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов газа или жидкости:

► ►  $q_k = \omega \Delta S / \Delta S = \omega \varphi$

где  $\Delta S$  – участок поверхности, расположенный перпендикулярно вектору  $\omega$ ,  $\varphi$  – потенциал переноса.

**Константы подобия** – отношение однородных величин у модели и образца. Константы подобия постоянны для различных сходственных точек подобных систем, но изменяются в зависимости от соотношения размеров образца и модели.

$$d_1/l_1=d_2/l_2=\text{const}$$

**Критериальные уравнения** – обобщенные уравнения, которые имеют вид:

$$f(k_1, k_2, k_3 \dots k_i)=0$$

где  $k_1, k_2, k_3 \dots k_i$  – критерии подобия.

**Критерий оптимальности** – один из выходов (экономический, технологический) системы, по которому судят о том, насколько хорошо она функционирует. Например, в качестве экономического критерия оптимальности (КО) может быть сумма приведенных затрат  $\Pi$ , которые учитывают капитальные вложения  $K$  на изготовление аппарата и его монтаж, эксплуатационные затраты  $\mathcal{E}$  и нормативный скор окупаемости – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений  $E$ :

$$КО = \min \Pi = \min (EK + \mathcal{E})$$

**Лимитирующая стадия процессов** – стадия, которая определяет общую скорость многостадийного процесса; определяется взаимным расположением стадий и отношением их скоростей.

**Массообменные процессы**– процессы, характеризующие перенос одного или нескольких компонентов исходной смеси из одной фазы в другую через поверхность фаз. К этой группе процессов относятся абсорбция, перегонка (ректификация), экстракция, растворение, кристаллизация, адсорбция, сушка и другие. Протекание процессов массообмена тесно связано с гидродинамическими условиями в фазах и на границе их раздела и часто – с сопутствующими массообмену процессами переноса тепла (теплообмена).

**Математическая модель (ММ)** - создание описания объекта исследования на языке математики в виде некоторой системы уравнений и функциональных соотношений между отдельными параметрами модели, то есть это система соответствующих математических уравнений.

**Модели: материальные** - объекты, заменяющие оригинал при проведении исследований, значительно меньшие по размерам и часто более простые, чем аппараты натуральной величины; **мысленные** - схемы оригиналов, отражающие их существенные стороны.

**Моделирование** - метод исследования химико-технологических процессов, заключающийся в создании модели, ее исследовании и распространении результатов на оригинал.

**Математическое моделирование** — это, по существу, определение свойств и характеристик рассматриваемого явления (процесса) путем решения (как правило, с

помощью ЭВМ) системы уравнений, описывающих этот процесс, - математической модели. Математическое моделирование является одним из методов физического моделирования и составляет с ним единую систему исследования объектов познания.

**Физическое моделирование** - основа теории подобия. Одним из основных принципов теории подобия является выделение из класса явлений (процессов), описываемых общим законом (процессы движения жидкостей, диффузии, теплопроводности), группы подобных явлений.

**Молекулярный механизм переноса** - перенос субстанции перемещением или взаимодействием молекул, возникающий в результате стремления системы к термодинамическому равновесию, отклонения от которого объясняются неоднородностью поля потенциала.

$$q_m = -k \operatorname{grad} \varphi,$$

→ →

где  $k$  - коэффициент пропорциональности, в зависимости от вида переноса принимающей значение  $D$ , а не  $\nu$ .

**Непрерывные процессы** - процессы, характеризующиеся тем, что все их стадии протекают одновременно, но осуществляются в различных частях одного аппарата или же в различных аппаратах, составляющих данную установку.

#### **Общие принципы расчета процессов и аппаратов ХТ:**

- 1) определение условий предельного или равновесного состояния системы и направления течения процесса;
- 2) составление материальных и энергетических балансов и вычисление расходов исходных материалов и количеств получаемых продуктов, а также количества потребной энергии (тепла) и расхода теплоносителей;
- 3) вычисление движущей силы процессов;
- 4) определение оптимальных режимов работы и скорости процесса;
- 5) вычисление основных размеров аппарата.

**Ограничения при оптимизации** - параметры системы, которые остаются неизменными независимо от того, как при этом изменяется значение критерия оптимальности.

**Определяемые критерии подобия** - критерии подобия, в состав которых входит хотя бы одна физическая величина, не входящая в условия однозначности.

**Оптимизация** - выбор наилучших (оптимальных) условий проведения процесса, заключительный этап моделирования.

**Оптимизирующие факторы** - те из входов в систему, которые в процессе оптимизации относят к управляющим; воздействия, которые применяют для оптимизации процесса.

**Основное уравнение переноса субстанций:** описывает поля скоростей, температуры, концентраций, необходимые для решения многих практических задач,

$$\partial\varphi/\partial\tau + \operatorname{div} q - \gamma = 0 \quad \rightarrow$$

**Основные (элементарные) процессы ХТ** - процессы, составляющие основу производств всех отраслей химической промышленности.

**Параметры математической модели** - параметры, которые количественно и однозначно характеризуют изучаемый процесс (чем больше параметры ММ, тем более точно описывает она процесс).

**Периодические процессы** - процессы, характеризующиеся тем, что все его стадии протекают в одном месте (в одном аппарате), но в разное время.

**Плотность потока субстанции** - количество субстанции, передаваемое через единицу поверхности в единицу времени. Суммарные плотности потоков субстанций определяются уравнением:

$$q = q_k + q_m$$

**Подобные процессы** - процессы, которые характеризуются численно равными критериями подобия.

**Поля скоростей, температур, концентраций** - совокупность мгновенных значений, соответственно, скоростей, температур, и концентраций во всех точках рассматриваемого объема.

**Потенциал переноса субстанций** представляет собой удельную (отнесенную к единице объема) массу, энергию или количество движения.

В случае *переноса массы* в качестве потенциала переноса рассматривают плотность или концентрацию:  $\varphi = \rho = \sum m_i/V$  или  $\varphi = C = m/V$ ,

$$\text{где } t - \text{масса } i\text{-го компонента смеси; } [p] = [C] = [\text{кг}/\text{м}^3]$$

В случае переноса энергии (теплоты) потенциалом переноса является энтальпия единицы объема жидкости:

$$\varphi = c_p t \rho V/V = c_p t \rho$$

$$\text{где } c_p - \text{теплоемкость среды; } [c_p t \rho] = [\text{Дж}/\text{м}^3].$$

**В гидромеханических процессах** потенциалом переноса является количество движения (импульса) единицы объема жидкости

$$\varphi = \omega \rho V/V = \omega \rho$$

$$\text{где } \omega - \text{скорость; } [\omega \rho] = [\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})].$$

**Процесс** - изменение каких-либо свойств системы.

**Равновесие** - такое состояние системы, при котором перенос субстанции отсутствует.

**Симплексы подобия** (параметрические критерии) - инварианты подобия, выраженные отношением однородных величин.

**Скорость процессов переноса субстанции** - количество субстанции, переносимое в единицу времени через единицу площади поверхности, нормальной к направлению переноса: чем больше скорость процесса, тем больше производительность аппарата.

**Стационарные процессы или установившиеся процессы** - это процессы, параметры которых не изменяются во времени.

**Тепловые процессы** - процессы переноса тепла, протекающие со скоростью, определяемой законами теплопередачи - науки о способах распространения тепла. Такими процессами являются нагревание, охлаждение, кипение, выпаривание и конденсация паров. К тепловым процессам могут быть отнесены и процессы охлаждения до температур более низких, чем температура окружающей среды (процессы умеренного и глубокого охлаждения). Скорость тепловых процессов в значительной степени зависит от гидродинамических условий (скоростей, режимов течения), при которых осуществляется перенос тепла между обменивающимися теплом средами.

**Технология** - совокупность методов, способов и приемов получения, обработки или переработки сырья с целью изготовления продукции.

**Условия однозначности** (условия, которые полностью, однозначно характеризуют данное явление) включают:

- 1) геометрические размеры и форму системы (аппарата), в котором протекает процесс;
- 2) физические свойства среды, существенные для рассматриваемого процесса;
- 3) граничные условия, характеризующие взаимодействие среды с телами, ограничивающими объем, в котором протекает процесс;

4) начальное состояние системы, то есть ее состояние в момент, когда начинается изучение процесса. Химическая технология - такой способ переработки, который приводит к изменению не только внешних, но и внутренних свойств системы.

Экстенсивная величина - величина пропорциональная количеству субстанции.