

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт архитектуры, строительства и энергетики  
Кафедра химических технологий

Пикалов Евгений Сергеевич

## ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов  
по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» для студентов ВлГУ,  
обучающихся по направлению 18.03.01 – Химическая технология

Владимир – 2016 г.

Данные методические указания включают рекомендации по содержанию и выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» для студентов направления 18.03.01. «Химическая технология» ВлГУ.

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 18.03.01. «Химическая технология», рабочей программы дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии».

Рассмотрены и одобрены на  
заседании УМК направления  
18.03.01 «Химическая технология»  
Протокол №1 от 05.09.2016 г.  
**Рукописный фонд кафедры ХТ ВлГУ**

## **Общая схема самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов заключается в повторении и более углубленном изучении вопросов, рассматриваемых на лекционных занятиях, в самостоятельном изучении тем, предусмотренных рабочей программой по курсу, подготовке к рейтинг-контролю знаний и сдаче промежуточных аттестаций (экзамена в 4-м семестре и зачета в 5-м семестре), а также в обработке экспериментальных данных, полученных при выполнении лабораторных занятий, составлении отчетов по лабораторным работам и подготовке к защите отчетов по ним, а также выполнении заданий на практических занятиях. Кроме того, студент в течении 5-го семестра выполняет курсовой проект по заданной теме, большая часть работы над которым и подготовка к его защите предусматривают самостоятельную работу.

**Рекомендации по использованию материалов учебно-методического комплекса дисциплины.** Для эффективного использования материалов УМКД следует изучать их последовательно и параллельно с тематикой проводимых аудиторных занятий. План изучения дисциплины и тематика занятий соответствуют, представленным в рабочей программе данного УМКД структуре и содержанию дисциплины.

По мере изучения теоретических вопросов на лекционных занятиях рекомендуется дополнительно изучать их по конспекту лекций для лучшего запоминания и усвоения. Изучать темы для самостоятельного изучения рекомендуется сразу после изучения сопутствующего им материала на лекциях с использованием литературных источников из рекомендуемого в данном УМКД списка основной и дополнительной литературы, которые есть в наличии в библиотеке и электронном зале ВлГУ.

Перед проведением каждой лабораторной работы рекомендуется повторить теоретический материал по тематике работы и изучить методику выполнения работы по рекомендациям, представленным в данном УМКД. Проводить обработку экспериментальных данных и оформлять отчет следует в соответствии с указаниями в этих рекомендациях. В них же указаны контрольные вопросы, по которым рекомендуется готовится к защите отчетов по лабораторным работам.

Перед проведением каждого практического занятия также рекомендуется повторить теоретический материал по тематике занятия по литературным источникам, указанным в методических указаниях к практическим занятиям, в которых представлены страницы, необходимые для изучения, и контрольные вопросы для обсуждения. Также рекомендуется приносить эти литературные источники с собой на занятия, так как сведения из них могут оказаться полезны при выполнении заданий.

Курсовое проектирование рекомендуется выполнять по разделам по мере прохождения соответствующих тем на лекционных занятиях и руководствоваться методическими рекомендациями по выполнению курсовых проектов данного УМКД и литературными источниками из рекомендуемого списка.

Готовится к текущему контролю знаний рекомендуется по спискам вопросов для рейтинг-контролей, представленных в рабочей программе, и по заданиям для контроля, приведенным в фонде оценочных средств данного УМКД. Подготовку к экзамену и зачету также рекомендуется проводить по списку вопросов, представленному в данном УМКД.

Кроме конспекта лекций, основной и дополнительной литературы при подготовке к текущему контролю знаний и защитах отчетов по лабораторным работам будет полезным изучать актуальную информацию, которая представляется в рекомендуемых в рабочей программе данного курса периодических изданиях и интернет-ресурсах.

**Рекомендации по планированию и организации времени, отведенного на изучение дисциплины.** Содержание курса представляет собой набор тематических разделов, рекомендуемое время на изучение которых указано в рабочей программе данного УМКД. Самостоятельное изучение теоретического материала рекомендуется проводить после изучения сопутствующих вопросов на аудиторных занятиях, разбив необходимые для рассмотрения вопросы на группы таким образом, чтобы изучать равное их количество каждый день с момента последнего аудиторного занятия и до времени проведения следующего. Также рекомендуется совмещать изучение теоретических вопросов с подготовкой к лабораторным и практическим занятиям, а также выполнением курсового проекта, так как это позволит получить навыки применения теоретических знаний на практике. Предпочтительно, если студент будет совмещать самостоятельное изучение смежных тем разных дисциплин, изучаемых параллельно. На основании этих рекомендаций каждому студенту будет полезно спланировать самостоятельное изучение дисциплины и выполнение заданий, предусмотренных рабочей программой курса, с учетом своего свободного времени и индивидуальных особенностей при необходимости согласовав его с преподавателем и стараться придерживаться его для своевременного и успешного изучения дисциплины.

**Описание последовательности действий студента, или «сценарий изучения дисциплины».** Для успешного изучения дисциплины студентам рекомендуется придерживаться следующего плана изучения дисциплины:

- для получения базовых знаний, выполнения экспериментальной части лабораторных работ и заданий на практических занятиях необходимо посещать аудиторные занятия в соответствии с расписанием и дополнять полученные на них знания самостоятельным углубленным изучением. А результаты самостоятельного изучения применять при дальнейшем изучении теории и для эффективного выполнения лабораторных работ;

- для успешного выполнения курсового проекта следует выполнять его поэтапно и в соответствии с методическими рекомендациями по выполнению курсовых работ данного УМКД;

- в соответствии со своими возможностями заранее готовится к проведению текущего контроля знаний и защите отчетов по лабораторным работам, которые проводятся в установленные сроки;

- в соответствии со своими возможностями заранее готовится к сдаче промежуточных аттестаций (экзамена и зачета).

**Рекомендации по работе с литературой.** В первую очередь рекомендуется ознакомиться со списком литературных источников, представленным в рабочей программе данного УМКД и изучить содержание каждого из них, чтобы в дальнейшем облегчить поиск источников, необходимых для изучения или разъяснения тех или иных вопросов. Особое внимание следует обратить на источники, указанные как основные. Изучение курса по литературным источникам рекомендуется только как дополнительное и следует проводить его в соответствии с планом и содержанием данного курса. Эти источники рекомендуются для изучения вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение. Использовать литературные источники вне рекомендуемого списка следует только по согласованию с преподавателем, так как возможно сильное различие точек зрения, изложенных в них. Не рекомендуется изучать темы заранее, а только параллельно с их изучением на аудиторных занятиях.

**Разъяснения по поводу работы с тестовой системой курса, по выполнению домашних заданий.** Тестовая система курса позволяет оперативно оценить текущий контроль знаний студентов и представляет собой часть рейтинг-контроля, проводимого в установленные в ВлГУ сроки. Вопросы для подготовки к рейтинг-контролю, примеры тестовых заданий и ключи к ним представлены в фонде оценочных средств данного УМКД. Тестовые задания представляют собой набор вопросов по темам, изученным на аудиторных занятиях или самостоятельно. Вопрос может быть напрямую рассмотрен при изучении курса или предполагать размышления на основе полученных знаний и навыков. К каждому вопросу дается четыре варианта ответов, один или несколько из которых могут являются правильными и должны быть отмечены любым удобным студенту образом.

Домашние задания представляют собой самостоятельное углубленное изучение теоретического материала и выполнение подготовительной части лабораторных работ и практических занятий, расчетной и графической частей курсового проекта. Подготовка к лабораторной работе проводится в два этапа. На первом этапе следует изучить теоретические вопросы по тематике работы, методику ее проведения и подготовить черновик отчета. На втором этапе проводится обработка результатов эксперимента, оформляется чистовой вариант отчета и про-

водится подготовка к защите отчетов по лабораторной работе по контрольным вопросам. Рекомендуется подготовительную часть лабораторных работ проводить совместно со студентами, с которыми они выполняются. Подготовка к практическим занятиям заключается в изучении материала из рекомендуемых литературных источников по вопросам, предусмотренным для обсуждения. Курсовой проект рекомендуется выполнять поэтапно, после выполнения каждого этапа проверять результаты с руководителем и согласовывать с ним дальнейшие действия.

**Рекомендации по подготовке к промежуточным аттестациям.** При изучении данного курса проводится две промежуточные аттестации: экзамен в 4-м семестре и зачет в 5-м семестре. Начальным этапом подготовки к экзамену и зачету является успешное изучение теоретического курса, своевременное выполнение лабораторных работ и защита отчетов по ним, а также своевременное выполнение и успешная защита курсового проекта. Это позволит получить высокие баллы при проведении рейтинг-контроля знаний и является условием допуска к сдаче экзамена и зачета. Суммарный балл, набранный за три рейтинг-контроля учитывается при выставлении оценки на экзамене. Подготовку рекомендуется проводить по списку вопросов и экзаменационным билетам, которые приведены в данном УМКД. Каждый студент, исходя из своих возможностей, должен выбрать время необходимое ему для подготовки к экзамену до дня, в который будет проводиться консультация, а к зачету до дня его проведения. На эти дни рекомендуется распределить материал, который следует повторить при подготовке. Причем каждый раз перед изучением последующего материала рекомендуется повторить материал, изученный ранее. Будет полезна и совместная с другими студентами группы подготовка, особенно по вопросам, представляющими наибольшую трудность.

**Разъяснения основных трудностей самостоятельной работы студента и пути их преодоления.** Для снижения трудности самостоятельного изучения теоретических вопросов они рассматриваются отдельно по каждому разделу лекционного курса и подобраны таким образом, чтобы тематика лекции была близкой к этим вопросам и обеспечивала студентам необходимые для их освоения основные знания. Результат самостоятельного освоения и преодоление возникших трудностей обеспечиваются на каждом лекционном занятии при проведении устного диалога с группой студентов для закрепления знаний, полученных на лекциях и самостоятельно, и для разъяснения сложных для восприятия вопросов. Трудности, возникающие при подготовке к выполнению лабораторных работ, преодолеваются при получении допуска к их выполнению, на котором детально разбирается план выполнения работы, устройство и принцип действия установки. Трудности, возникающие при обработке экспериментальных данных и при подготовке к защите отчетов по работам, преодолеваются непосредственно перед защитой при проверке отчетов, проводимой в форме устного диалога. Для снижения труд-

ности выполнения практических заданий предусмотрены подготовка к ним по рекомендуемым литературным источникам и вводная беседа, проводимая в начале каждого практического занятия. Трудности, возникающие при выполнении практических заданий, преодолеваются путем обсуждения их с преподавателем и при проведении на занятиях общегрупповых диалогов. Трудности при выполнении курсового проекта решаются совместно с руководителем проекта и при необходимости с ведущим преподавателем на консультациях. Трудности при подготовке к экзамену рассматриваются и разбираются при проведении консультации. Трудности при подготовке к зачету могут быть рассмотрены в индивидуальном порядке на беседах с ведущим преподавателем.

## **Методические рекомендации по изучению теоретического материала курса**

### **4-Й СЕМЕСТР**

#### **Раздел 1. Теоретические основы процессов химической технологии**

##### **Лекция 1. Основы изучения процессов и аппаратов химической технологии**

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Классификация процессов химической технологии. Общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов.

**Цель и задачи изучения темы:** Определить место и роль ПАХТ в системе научно-практических знаний; систематизировать совокупность процессов химической технологии и их параметров; изучить принципы анализа и расчета процессов и аппаратов.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курса общая химическая технология; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы: процесс, аппарат, технология – позволяют понять суть изучаемого курса. К важным понятиям относятся признаки, по которым классифицируются процессы и параметры, их характеризующие, а также рабочая поверхность аппарата, которая обеспечивает эффективное проведение процесса и определение которой является целью проводимых в ПАХТ расчетов. Сведения по данной теме являются основополагающими для курса и их изложение в различных источниках практически не отличается (могут отличаться принципы, цели и методы анализа и расчета, но различия не существенны и каждый студент может выбрать наиболее близкую ему точку зрения). Для самостоятельного изучения может быть рекомендован любой источник из списка рекомендованных.

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Вопросы темы достаточно широко освещены в литературных источниках. Особое внимание при изучении литературы по тематике данной

лекции стоит обратить на место и роль ПАХТ и на общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов с точки зрения разных авторов. Тема имеет и практическое значение - сведения о принадлежности процесса к той или иной группе позволит определить основные закономерности, применяемые для расчета его параметров. А принципы анализа и расчета представляют собой алгоритм, применение которого обеспечит успешное достижение результатов и будет полезно при проектировании. В связи с этим изучение данной темы будет являться основой для изучения остального курса.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует понять место и роль ПАХТ в системе научно-практических знаний, группы процессов химической технологии и их отличительные признаки, общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Назовите цели и задачи науки ПАХТ.
2. На какие группы делятся параметры? В чем отличие двух групп?
3. По каким признакам классифицируют процессы химической технологии?
4. Какие группы процессов химической технологии существуют? Дайте определения.
5. В какой последовательности проводится расчет процессов и аппаратов?
6. В чем заключаются цели и задачи расчетов процессов и аппаратов?

## **Лекция 2. Общие закономерности процессов химической технологии**

**Основные вопросы темы:** Законы сохранения субстанций. Законы термодинамического равновесия. Законы переноса субстанций. Локальная, конвективная и субстанциональная составляющие потока.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить основные закономерности процессов сохранения, равновесия и переноса субстанций в химической технологии; изучить способы выражения изменения параметров процесса при помощи производных.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курса общая химическая технология; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – законы сохранения и переноса субстанции, законы термодинамического равновесия, движущая сила и коэффициент переноса. Внимание следует уделить принципам составления балансовых уравнений, условиям равновесия и выражению изменения параметров процесса в пространстве и времени при помощи производных. Сведения по данной теме лежат в основе, необходимы для понимания сути и вывода всех закономерностей процессов химической технологии. Сведения по данной теме являются основополагающими для курса и их изложение в различных источниках практически не отличается, различия возможны лишь в обозначениях символьных величин и промежуточных формах записи производных.



Для самостоятельного изучения может быть рекомендован любой источник из списка рекомендованных.

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Вопросы темы широко освещены в литературных источниках. Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на взаимосвязь изучаемых законов между собой и основными расчетными закономерностями курса, на способы записи и символичные обозначения величин, в т.ч. производных, у разных авторов. Тема имеет большое практическое значение, так как рассматриваемые закономерности напрямую используются в любых технических расчетах или используются для вывода и понимания сути уравнений и законов для расчета параметров процессов, а запись изменений параметров системы при помощи производных важна для понимания дифференциальных уравнений, характеризующих состояние системы, в которой происходит процесс. В связи с этим изучение данной темы будет являться основой для изучения остального курса и будет полезно при изучении других профильных дисциплин и прохождения практик.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать закономерности сохранения, равновесия и переноса массы, тепла и импульса в процессах химической технологии, понятие о движущей силе и коэффициенте переноса, их влиянии на кинетику процессов; знать формы записи изменения параметров системы при помощи производных.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Как формулируют законы сохранения субстанций?
2. Чем характеризуется подвижное фазовое равновесие?
3. Назовите условия равновесия для переноса массы, тепла и импульса?
4. Что называют движущей силой процесса?
5. Что такое коэффициенты переноса субстанций?
6. Что из себя представляют локальная конвективная и субстанциональная составляющие потока субстанции?

### **Лекция 3. Основы теории подобия**

**Основные вопросы темы:** Моделирование химико-технологических процессов. Условия однозначности и виды подобия. Инварианты подобия. Теоремы подобия.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить общие принципы моделирования химико-технологических процессов; получить базовые знания о применении теории подобия.

**Требования к уровню подготовленности студента:** общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы: объект моделирования (натура) и модель, адекватность, теория подо-

бия, условия однозначности, виды подобия, критерии подобия, константы подобия, критериальное уравнение. К важным понятиям относятся математическое и физическое моделирование, симплексы, теоремы подобия. Сведения по данной теме являются основополагающими для применения методов теории подобия для моделирования процессов и аппаратов, а также определения и прогнозирования изменения параметров системы. Эти сведения достаточно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов – М.: АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

2. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>);

3. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>);

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на цели, задачи и принципы различных видов моделирования химико-технологических процессов, на смысл и области применения теории подобия, условия однозначности и физический смысл инвариантов подобия, а также общие принципы определения параметров системы при помощи критериальных уравнений. Тема имеет большое практическое значение, так как теория подобия широко применяется как при изучении и теоретических исследованиях, так и на практике при проектировании, расчете и прогнозировании химико-технологических систем. В связи с этим изучение данной темы также будет являться основой для изучения остального курса.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать цели, задачи и принципы моделирования химико-технологических систем; знать условия однозначности и виды подобия; понимать смысл инвариантов подобия и критериальных уравнений.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. В чем принципиальное различие видов моделирования химико-технологических процессов?
2. Что такое условия однозначности и на какие виды они делятся?
3. При каких условиях две системы являются подобными?
4. Что называют инвариантами подобия?
5. Как при помощи критериальных уравнений определяют параметры системы?
6. Назовите теоремы подобия.

## Раздел 2. Основы гидравлических процессов

### Лекция 4. Общие сведения о гидравлике

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Силы, действующие на жидкость. Физические свойства жидкости.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить представление о гидравлике и ее разделах; изучить группы сил, действующих на жидкость; получить представление о физических свойствах жидкости, изучить их размерность и уравнения для определения.

**Требования к уровню подготовленности студента:** общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – гидростатика и гидродинамика; идеальная, капельная и упругая жидкости; массовые и объемные силы; плотность, давление, вязкость и поверхностное натяжение. Сведения по данной теме необходимы для понимания гидравлических процессов и аппаратов и широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN978543 7200452.html>);

4. Тужилкин А.М. и др. Гидравлика: Учеб. пособие. - М.: Издательство АСВ, 2011. - 272 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785 930938074.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на специфичные свойства, отличающие жидкости от других форм существования вещества, а также на силы, действующие как на покоящуюся или движущую жидкость, влияние этих сил на свойства жидкости. Разные авторы уделяют больше внимание рассмотрению тех или иных вопросов данной темы, но противоречия среди них нет. Тема имеет практическое значение, так как рассмотренные в ней свойства жидкости определяют параметры ее течения, влияют на технологические процессы, в которых присутствуют гидравлические системы. В связи с этим изучение данной темы будет необходимо для дальнейшего изучения как гидравлических, так и других групп процессов.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о разделах гидравлики, различия между упругими и каплевыми жидкостями, иметь представление о силах, действующих на жидкость и основных физических свойствах жидкости.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какие закономерности изучают гидростатика и гидродинамика?
2. В чем отличие между идеальной, каплевой и упругой жидкостями?
3. Какие силы, действующие на жидкость, относятся к массовым, а какие к объемным?
4. Как рассчитать плотность жидкости?
5. Как соотносятся между собой виды давления и размерности для их измерения?
6. Как распределяется скорость жидкости в вязких потоках?

### **Лекция 5. Гидростатика**

**Основные вопросы темы:** Уравнения равновесия Эйлера. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Давление жидкости на дно и стенки сосуда.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить основные закономерности и расчетные зависимости для покоящихся жидкостей.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – основное уравнение гидростатики, геометрический напор, гидростатический напор, закон Паскаля. К важным понятиям данной темы относятся гидростатическое давление, уравнения равновесия Эйлера, основной принцип статики и силы, действующие на жидкость. Сведения по данной теме необходимы для понимания закономерностей конкретных гидравлических процессов и широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN978543 7200452.html>);

4. Тужилкин А.М. и др. Гидравлика: Учеб. пособие. - М.: Издательство АСВ, 2011. - 272 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785 930938074.html>).

5. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на вывод основных закономерностей гидростатики и на переход от дифференциальной формы записи уравнений к упрощенной, а также на физический смысл расчетных зависимостей. Разные авторы порой используют разные способы вывода и несколько отличающиеся формы записи расчетных закономерностей, но критичных различий в изложении материала у них нет. Тема имеет большое практическое значение, так как указанные в ней закономерности широко используются при расчете гидравлических процессов и аппаратов, а также в теории подобия тепло- и массопереноса. В связи с этим изучение данной темы необходимо для успешного изучения курса и будет полезно при выполнении лабораторного практикума.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать основные закономерности гидростатики; физический смысл основного уравнения гидростатики и закона Паскаля; знать расчетные зависимости для определения давления жидкости на дно и стенки сосуда.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. В чем заключается основной принцип статики?
2. Что характеризуют дифференциальные уравнения равновесия Эйлера?
3. В чем физический смысл основного уравнения гидростатики и его составляющих?
4. Назовите следствия из основного уравнения гидростатики.
5. Как формулируется и что определяет закон Паскаля?
6. Как определить давление жидкости на дно и стенки сосуда?

## **Лекция 6. Общие сведения о гидродинамике**

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Уравнение неразрывности (сплошности) потока. Уравнения движения Эйлера. Уравнения движения Навье-Стокса.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить задачи гидродинамики и способы их решения; изучить основные гидродинамические параметры; изучить основные закономерности движущихся жидкостей.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – задачи гидродинамики, гидродинамические параметры и уравнение неразрывности (сплошности) потока. К важным понятиям относятся виды потоков, уравнения

движения Эйлера и Навье-Стокса, вязкость жидкости. Сведения по данной теме необходимы для понимания закономерностей конкретных гидравлических процессов и широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN978543 7200452.html>);

4. Тужилкин А.М. и др. Гидравлика: Учеб. пособие. - М.: Издательство АСВ, 2011. - 272 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785 930938074.html>).

5. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на вывод основных закономерностей гидродинамики, на переход от дифференциальной формы записи уравнений к упрощенной, а также на смысл задач гидродинамики и основных гидродинамических параметров. Разные авторы порой используют разные способы вывода и несколько отличающиеся формы записи закономерностей, но критичных различий в изложении материала у них нет. Тема имеет большое практическое значение, так как указанные в ней закономерности широко используются при расчете гидравлических процессов и аппаратов, а также в теории подобия тепло- и массопереноса. В связи с этим изучение данной темы необходимо для успешного изучения курса и будет полезно при выполнении лабораторного практикума.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о задачах гидродинамики, основных гидродинамических параметрах и основных закономерностях гидродинамики.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Назовите три задачи гидродинамики.
2. Перечислите основные характеристики потока жидкости. Дайте определения.
3. Какие бывают виды потоков жидкости и соответствующие им виды движения?
4. В чем физический смысл уравнения неразрывности (сплошности) потока?

5. Что характеризуют уравнения движения Эйлера и Навье-Стокса? В чем отличие между ними?

6. В чем заключается основной принцип динамики?

### **Лекция 7. Режимы движения жидкости**

**Основные вопросы темы:** Гидродинамическое подобие. Характеристика ламинарного течения. Характеристика турбулентного течения.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить критерии, характеризующие соотношение параметров жидкости; изучить режимы движения жидкости их особенности.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – критерии гидродинамического подобия, ламинарное и турбулентное течения. К важным понятиям относятся разность давлений, скорость потока, вязкость жидкости. Сведения по данной теме являются необходимыми для понимания сущности гидравлических процессов, выбора методики и определения параметров этих процессов. Сведения по данной теме разносторонне и широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300452.html>);

4. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. - 112 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300140.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на критерии гидродинамического подобия и их физический смысл, на характеристики и особенности режимов движения жидкости, распределение скорости движения жидкости в потоке. Разные авторы широко охватывают вопросы данной лекции, дополняют друг друга, но не противоречат. Могут отличаться применимость критериев подобия и критериальные зависимости. Тема имеет большое практическое значение и

полезна как при выполнении лабораторного практикума, так и при проведении расчетов процессов и аппаратов как гидравлических, так и тепло-, массообменных.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать критерии гидродинамического подобия и их физический смысл; знать о закономерностях ламинарного и турбулентного течения, распределение скоростей в движущемся потоке.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какой критерий является определяемым в гидродинамическом подобии?
2. Какие критерии являются определяющими в гидродинамическом подобии?
3. Какие критерии являются производными в гидродинамическом подобии? Для чего они применяются?
4. Как связаны между собой критерий Рейнольдса и режимы течения жидкости?
5. Дайте характеристику ламинарному режиму течения.
6. Дайте характеристику турбулентному режиму течения.

## **Лекция 8. Расчет основных гидравлических параметров**

**Основные вопросы темы:** Уравнение Бернулли. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Истечение жидкости из отверстий резервуаров.

**Цель и задачи изучения темы:** получить базовые знания о распределении напоров в движущемся потоке жидкости; изучить методику расчета гидравлических сопротивлений; изучить параметры истечения и методику их расчета.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – геометрический, статический и динамический напоры, уравнение Бернулли, сопротивления трения и местные сопротивления, потери напора и давления. К важным понятиям относятся коэффициент истечения, коэффициент сжатия струи, объемный расход, коэффициент расхода при истечении, уровень жидкости, частичное и полное истечение. Сведения по данной теме необходимы для расчета параметров гидравлических процессов, расчета и выбора аппаратов для проведения этих процессов. Сведения по данной теме разносторонне и широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);



2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300452.html>);

4. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. - 112 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300140.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на следствия и области применения уравнения Бернулли, на виды местных гидравлических сопротивлений и методы их определения, а также параметры и условия истечения жидкости. Точки зрения разных авторов по общим вопросам сходятся, но могут расходиться в деталях – промежуточных формах записи уравнений, в формулах для определения местных гидравлических сопротивлений и коэффициента трения. Тема имеет большое практическое значение и полезна как при выполнении лабораторного практикума, так и при проведении расчетов процессов и аппаратов как гидравлических, так и тепло-массообменных.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о распределении напоров в движущемся потоке, о причинах потерь напора и давления и способов расчета гидравлических сопротивлений; знать параметры истечения и их физический смысл.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. В чем физический смысл уравнения Бернулли?
2. Назовите следствия из уравнения Бернулли.
3. Какие виды гидравлических сопротивлений существуют? В чем причины их возникновения?
4. Как соотносятся между собой критерий Рейнольдса и коэффициент трения?
5. Как рассчитать общие потери напора и давления?
6. В чем физический смысл параметров истечения и как их определить?

## **Лекция 9. Обтекание жидкостью твердых тел**

**Основные вопросы темы:** Гидродинамические сопротивления. Гравитационное осаждение.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить расчет сопротивлений при обтекании жидкостью твердых тел; изучить режимы обтекания жидкостью твердых тел; знать методику расчета скорости гравитационного осаждения.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – обтекание, сила сопротивления, режимы обтекания, гравитационное осаждение, скорость осаждения. Сведения по данной теме необходимы для расчета параметров гидравлических процессов, связанных с обтеканием жидкостями твердых тел – осаждения, перемешивания, экстракции и др., а также для расчета и выбора аппаратов для проведения этих процессов. Сведения по данной теме разносторонне и относительно широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300452.html>);

4. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. - 112 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300140.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на характеристику режимов обтекания жидкостями твердых тел и закономерности гравитационного осаждения. У разных авторов могут отличаться формулировки (так термин гидродинамические сопротивления был предложен автором данного УМКД), расчетные зависимости и их вывод. Тема имеет большое практическое значение для расчета параметров процессов, связанных с обтеканием, расчета и выбора аппаратов для проведения этих процессов.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о закономерностях обтекания жидкостями твердых тел, о соотношении между скоростью осаждения, критерием Рейнольдса для режима обтекания и критерием Архимеда.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какой процесс называется обтеканием?
2. От чего зависит сила сопротивления среды, возникающая при обтекании?
3. Какие режимы обтекания существуют?

4. Как коэффициент гидродинамического сопротивления соотносится с критерием Рейнольдса для режима обтекания?
5. В чем отличие свободного осаждения от стесненного?
6. Как рассчитать скорость гравитационного осаждения?

### **Лекция 10. Гидродинамика зернистых материалов**

**Основные вопросы темы:** Сопротивление слоя зернистого материала. Режимы движения потока через зернистые материалы. Гидродинамика псевдооживленных слоев.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить знания о основных характеристиках, определяющих сопротивление слоя зернистого материала; изучить расчетные зависимости по определению коэффициента сопротивления при обтекании элементов слоя; получить знания о режимах движения жидкости через зернистые слои; получить знания о гидродинамике псевдооживленных слоев.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – удельная поверхность, порозность, насыпная плотность, гидравлическое сопротивление при обтекании элементов слоя; режимы движения потока через слой зернистого материала; скорость витания; скорость уноса; однородное и неоднородное псевдооживление. Сведения по данной теме необходимы для гидравлических расчетов большой группы процессов: фильтрования; гидро- и пневмотранспорта; сорбционных и других массообменных процессов. Сведения по данной теме достаточно широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);
2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);
3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300452.html>);
4. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. - 112 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300140.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на определение и физический смысл основных характеристик зернистого слоя; кинетику изменения гидравлического сопротивления слоя и его характеристик в зависимости от скорости потока; соотношение между скоростью потока скоростями витания и уноса. У разных авторов могут отличаться формулировки и расчетные зависимости, но отличия не критичны. Тема имеет большое практическое значение для расчета параметров процессов, связанных с движением потоков через зернистые слои, гидро- и пневмотранспортом, расчета и выбора аппаратов для проведения этих процессов.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о характеристиках и параметрах, характеризующих зернистые слои; режимах движения потока жидкости через зернистые слои; характеристики и условия реализации псевдооживленного состояния; определение и значимость скоростей витания и уноса.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какими характеристиками определяется гидравлическое сопротивление слоя зернистого материала?
2. Как соотносятся между собой коэффициент сопротивления при обтекании элементов слоя и модифицированный критерий Рейнольдса?
3. Дайте характеристику режимам движения потока через слой зернистого материала.
4. Как меняется гидравлическое сопротивление слоя зернистого материала с увеличением скорости потока?
5. В чем отличие однородного и неоднородного псевдооживленных состояний?
6. Как рассчитать скорости псевдооживления и уноса?

### **Раздел 3. Перемещение жидкостей и газов**

#### **Лекция 11. Транспортирование жидкостей**

**Основные вопросы темы:** Область применения, параметры работы и классификация насосов. Поршневые насосы. Шестеренчатые насосы. Центробежные насосы.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить схему работы насосных установок; получить знания об основных параметрах работы и классификации насосов; изучить конструкцию и принцип действия наиболее распространенных видов насосов.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – насос, нагнетающая линия, всасывающая линия, полезная мощность, объемные насосы, динамические насосы. Сведения по данной теме необходимы для выбора и

расчета насосов и насосных установок, применяемых в большинстве процессов химической технологии. Общие сведения по данной теме достаточно хорошо освещены в литературных источниках, сведения по конструкции и принципу работы освещены менее, но найти их не сложно. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300452.html>);

4. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. - 112 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300140.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на классификацию, типы насосов и их применение, упомянутые в разных источниках. Также у авторов могут отличаться схемы и описания к ним для изучаемых типов насосов, поэтому будет полезным изучить их с разных точек зрения. Тема имеет большое практическое значение, так как расчет гидравлических систем транспортирования жидкостей и насосов, входящих в эти системы, часто проводится при проектировании производственных линий. Кроме того, эти знания будут полезны при эксплуатации уже существующих систем, включающих насосные установки.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать об основных параметрах работы насосов, преимуществах и недостатках разных видов насосов, конструкцию и принцип действия наиболее распространенных видов насосов.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какие гидравлические машины называют насосами? Где они применяются?
2. Какие основные параметры насосов Вы знаете?
3. Как классифицируют насосы? Приведите примеры каждой группы насосов.
4. Опишите конструкцию и принцип действия поршневого насоса.
5. Опишите конструкцию и принцип действия шестеренчатого насоса.
6. Опишите конструкцию и принцип действия центробежного насоса.

## Лекция 12. Сжатие и транспортирование газов

**Основные вопросы темы:** Область применения, параметры работы и классификация компрессоров. Поршневые компрессоры. Винтовые компрессоры. Центробежные вентиляторы.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить знания об основных параметрах работы и классификации компрессоров; изучить конструкцию и принцип действия наиболее распространенных видов компрессоров.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – компрессор, вентилятор, газодувка, степень сжатия, объемные компрессоры, динамические компрессоры. Сведения по данной теме необходимы для выбора и расчета компрессоров для подачи (отвода) газов или воздуха, применяемых в большинстве процессов химической технологии. Общие сведения по данной теме достаточно хорошо освещены в литературных источниках, сведения по конструкции и принципу работы освещены менее и практически нет единообразного представления информации. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>);

3. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. - 112 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300140.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на классификацию, типы компрессоров и их применение, упомянутые в разных источниках. Также у авторов отличаются схемы и описания к ним для изучаемых типов насосов, рассматриваются разные достоинства и недостатки. Однако противоречий между ними нет, хотя некоторые описания могут быть сложны для восприятия (например, схема работы винтового компрессора), поэтому будет полезным изучить их с разных точек зрения. Тема имеет большое практическое значение, так как расчет гидравлических систем сжатия и транспортирования газов и компрессоров, входящих в эти системы, часто

проводится при проектировании производственных линий. Кроме того, эти знания будут полезны при эксплуатации уже существующих систем, включающих компрессорные и вентиляционные установки.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать об основных параметрах работы компрессоров, преимуществах и недостатках разных видов компрессоров, конструкцию и принцип действия наиболее распространенных видов компрессоров.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какие гидравлические машины называют компрессорами? Где они применяются?
2. Что такое степень сжатия компрессора?
3. В чем отличие между компрессором, вентилятором и газодувкой?
4. Опишите конструкцию и принцип действия поршневого компрессора.
5. Опишите конструкцию и принцип действия винтового компрессора.
6. Опишите конструкцию и принцип действия центробежного вентилятора.

#### **Раздел 4. Образование и разделение неоднородных систем**

##### **Лекция 13. Общие сведения о неоднородных системах**

**Основные вопросы темы:** Классификация неоднородных систем. Характеристика неоднородных систем. Материальный баланс процесса разделения.

**Цель и задачи изучения темы:** получить общее представление о неоднородных системах, их составе, свойствах и принципах разделения.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики и закономерности смешанной задачи гидродинамики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы –фаза, компонент, гомогенные и гетерогенные системы, аэрозоль, суспензия, эмульсия. К важным понятиям данной темы относятся система, дисперсность, коалесценция, коагуляция, степень извлечения. Сведения по данной теме необходимы для изучения процессов получения и разделения неоднородных систем и их применения в химической технологии. Сведения по данной теме относительно хорошо представлены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов – М.: АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);
2. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие – М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке [http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN978543\\_7200452.html](http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN978543_7200452.html));

3. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на классификацию и особенности неоднородных систем с различной степенью дисперсности, а также характеристики и свойства основных типов неоднородных систем. Точки зрения разных авторов сходятся по общим вопросам, однако разные авторы выбирают для изложения совершенно разные специфичные вопросы (материальный баланс разделения, динамику существования неоднородных систем и т.п.). В связи с этим рекомендуется изучить все рекомендованные источники для получения полной картины состояния изученности вопросов данной лекции. Тема имеет и практическое значение, являясь основой для изучения, выбора и расчета процессов получения и разделения неоднородных систем.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать классификацию и основные характеристики неоднородных систем; знать причины и следствия коалесценции и коагуляции; знать принципы расчета материальных балансов процессов разделения.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. В чем принципиальные отличия гомогенных и гетерогенных систем?
2. Какие виды аэрозолей Вы знаете? В чем их особенности?
3. Какие виды неоднородных жидких систем Вы знаете? В чем их особенности?
4. Что называют дисперсностью? На что влияет эта характеристика?
5. Что из себя представляют и как протекают процессы коалесценции и коагуляции?
6. Как рассчитывают и оценивают показатели процесса разделения неоднородной системы?

### **Лекция 14. Гравитационное осаждение**

**Основные вопросы темы:** Классификация и характеристики отстойников. Конструкция пылеосадителей. Отстойники для суспензий и эмульсий.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить классификацию, назначение и характеристики аппаратов и сооружений для отстаивания; изучить конструкцию и принцип действия различных типов отстойников.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики и закономерности смешанной задачи гидродинамики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – отстойник, скорость осаждения, пылеосадительная камера, отстойники



для суспензий и эмульсий. К важным понятиям данной темы относятся гравитационное осаждение, шлам, штуцер, суспензия, эмульсия. Сведения по данной теме необходимы для понимания принципов работы и конструкции аппаратов и сооружений для удаления крупнодисперсных примесей из неоднородных систем. Сведения по данной теме достаточно широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике и фильтрованию. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов – М.: АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

2. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие – М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97854327200452.html>);

3. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. - 112 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300140.html>).

4. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на особенности конструкции и работы отстойников для разделения различных типов неоднородных систем (аэрозолей, суспензий и эмульсий), на основные характеристики работы отстойников. Разные авторы не противоречат друг другу и приводят сходные описания типовых аппаратов, однако объяснение сути их работы может отличаться. Также в разных источниках дополнительно представлены самые разнообразные специфичные конструкции (нефтеловушки, смолоуловители и т.д.). Таким образом полезно изучить все рекомендованные источники для получения большего количества информации. Тема имеет и практическое значение, так как будет полезна при расчете, проектировании и анализе работы отстойников и может быть основой для получения практических навыков работы с подобными аппаратами.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать классификацию, характеристики, конструкцию и принцип действия различных отстойников.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Что является движущей силой процессов отстаивания?
2. Как классифицируют отстойники?
3. Какие условия должны выполняться при отстаивании?
4. Опишите конструкцию и принцип действия отстойников аэрозолей.
5. Опишите конструкцию и принцип действия отстойников суспензий.
6. Опишите конструкцию и принцип действия отстойников эмульсий.

## Лекция 15. Центробежное осаждение

**Основные вопросы темы:** Закономерности центробежного осаждения. Конструкция циклонов. Отстойное центрифугирование.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить закономерности осаждения частиц под действием центробежной силы; изучить конструкцию и принцип действия аппаратов для центробежного осаждения.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики и закономерности смешанной задачи гидродинамики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы –центробежная сила, циклонный процесс, центрифугирование. К важным понятиям относятся фактор разделения, циклон, гидроциклон, батарейный циклон, фугат, отстойная центрифуга, сепаратор. Сведения по данной теме необходимы для понимания сути интенсификации осаждения за счет центробежной силы, понимания конструкции и принципа действия применяемых для этого аппаратов. Сведения по данной теме достаточно широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике и фильтрованию. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов – М.: АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

2. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие – М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97854327200452.html>);

3. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. - 112 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300140.html>).

4. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на особенности и закономерности центробежного осаждения, особенности конструкции и принципа действия применяемых аппаратов. Точки зрения разных авторов одинаковы, однако могут отличаться рассматриваемые ими аппараты. В связи с этим могут быть изучены любые использованные источники из числа рекомендуемых, обязательны для рассмотрения аппараты, которые представлены в данной лекции. имеет и практическое значение, так как будет полезна при расчете, проектировании и анализе работы центробежных осадителей и может быть основой для получения практических навыков работы с подобными аппаратами.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать закономерности центробежного осаждения; конструкцию и принцип действия центробежных осадителей.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какими способами создается поле действия центробежной силы?
2. Чем характеризуется и от чего зависит центробежная сила?
3. Как определяется скорость центробежного осаждения.
4. В чем особенности циклонирования суспензий и эмульсий?
5. Опишите конструкцию и принцип действия циклонов.
6. Опишите конструкцию и принцип действия отстойных центрифуг.

## **Лекция 16. Фильтрация**

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Закономерности фильтрации суспензий. Фильтры и фильтрующие центрифуги. Газовые фильтры.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить знания о механизмах и движущей силе процесса фильтрации; изучить закономерности и особенности фильтрации суспензий; изучить конструкцию и принцип действия типовых фильтров.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики и закономерности смешанной задачи гидродинамики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – стадии и механизмы процесса фильтрации, скорость фильтрации, сопротивление осадка, нугч-фильтр, рукавный фильтр, фильтрующая центрифуга. К важным понятиям относятся центрифугирование, фильтровальные перегородки, суспензия, осадок, фильтрат. Сведения по данной теме необходимы для понимания сущности процессов фильтрации, расчета и выбора газовых и водяных фильтров различной конструкции. Сведения по данной теме достаточно широко освещены в литературных источниках, часть которых посвящена непосредственно гидравлике и фильтрации. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97854327200452.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на изучение механизмов фильтрования и закономерности фильтрования под действием перепада давления при различных условиях, закономерности центробежного фильтрования суспензий, особенности различных фильтровальных перегородок, конструкцию и принцип действия фильтров. Разные авторы сходно излагают общие вопросы темы, но зачастую приводят разные аппараты в качестве примера типовых конструкций. Тема имеет и практическое значение для расчета параметров процессов фильтрования различных неоднородных систем, расчета и выбора аппаратов для проведения этих процессов.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о механизмах процесса фильтрования и особенностях фильтрования суспензий; знать конструкцию и принцип работы рукавного фильтра, нутч-фильтра и фильтрующей центрифуги.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какие механизмы фильтрования существуют? Какой из них предпочтительней?
2. Что может являться движущей силой фильтрования? Как создается движущая сила фильтрования?
3. Как происходит фильтрование суспензий под действием разности перепадов давления?
4. Опишите конструкцию и принцип работы открытого нутч-фильтра.
5. Опишите конструкцию и принцип работы фильтрующей центрифуги.
6. Опишите конструкцию и принцип работы рукавного фильтра.

## **Лекция 17. Мокрая газоочистка**

**Основные вопросы темы:** Закономерности мокрой очистки газов. Конструкции скрубберов. Барботажные (пенные) пылеуловители.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить общие принципы мокрой газоочистки; изучить конструкцию и принцип действия аппаратов для мокрой газоочистки.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания по общей и прикладной физике.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – мокрое пылеулавливание, полый скруббер, насадочный скруббер, барботажный пылеуловитель. К важным понятиям относятся шлам, центр конденсации, барботаж, гидравлическое сопротивление. Сведения по данной теме необходимы для понимания сущности процессов газоочистки, расчета и выбора мокрых пылеуловителей различной конструкции. Сведения по данной теме достаточно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97854327200452.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на способы проведения мокрой газоочистки, конструкцию, принцип работы и особенности различных мокрых пылеуловителей. Тема имеет и практическое значение, так как сведения по этой лекции необходимы для понимания сути процессов мокрой очистки газов, расчета и выбора аппаратов для проведения этих процессов.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать механизмы и способы мокрой очистки газов; конструкцию, принцип действия и особенности скрубберов и барботажных пылеуловителей.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. По каким механизмам происходит контакт газового потока и жидкости при мокрой газоочистке?
2. Под действием каких сил происходит мокрая газоочистка?
3. Опишите конструкцию и принцип работы полого скруббера.
4. Опишите конструкцию и принцип работы насадочного скруббера.
5. Опишите конструкцию и принцип работы центробежного скруббера.
6. Опишите конструкцию и принцип работы барботажного пылеуловителя.

### **Лекция 18. Перемешивание в жидких средах**

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Механическое перемешивание. Конструкции мешалок.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить базовые знания о перемешивании и структуре потоков при механическом перемешивании; изучить конструкции мешалок и их особенности.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – перемешивание, барботаж, тихоходные и быстроходные мешалки. К

важным понятиям относятся интенсивность и эффективность перемешивания, окружная, осевая и радиальная скорости потока, центробежная сила, вязкость. Сведения по данной теме необходимы для понимания сути процесса перемешивания, выбора способа перемешивания и мешалок. Сведения по данной теме достаточно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Сайритдинов С.Ш. Основы гидравлики: учебник для вузов - М.: Издательство АСВ, 2014. - 386 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300263.html>);

3. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие - М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97854327200452.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на способы перемешивания, конструкцию и особенности мешалок, структуру потоков при перемешивании и характеристики перемешивания. Точки зрения разных авторов достаточно схожи, но единого мнения среди них нет, особенно по критериям эффективности перемешивания и конструкциям мешалок. Рекомендуется изучить все рекомендованные источники и выбрать близкую для себя точку зрения. Тема имеет и практическое значение, так как перемешивание один из самых распространенных процессов в химической технологии, применяемый для гомогенизации смесей и интенсификации различных процессов. В связи с этим изучение данной темы будет полезным для дальнейшего обучения по данному направлению и в будущей профессиональной деятельности выпускника.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о способах перемешивания, структуре потоков при перемешивании и критериях оценки перемешивания; знать конструкцию и особенности различных мешалок.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Для каких целей применяют перемешивание в химической технологии?
2. Какие виды перемешивания жидких сред Вы знаете?
3. Опишите и объясните движение потоков в аппарате с механической мешалкой.
4. Какими величинами характеризуется процесс перемешивания?
5. Какие тихоходные мешалки Вы знаете? В чем их особенности?
6. Какие быстроходные мешалки Вы знаете? В чем их особенности?

## 5-Й СЕМЕСТР

### Раздел 5. Теплообменные процессы и аппараты

#### Лекция 1. Общая характеристика теплообменных процессов

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Основное уравнение теплопередачи. Средняя движущая сила теплообменных процессов.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить базовые знания о типах и видах теплообменных процессов; получить знания о движущей силе и средней движущей силе теплообмена; изучить основное уравнение теплопередачи и физический смысл коэффициента теплопередачи; изучить схемы движения потоков.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – теплоотдача, теплопередача, теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность, конвекция, излучение, тепловое расширение, прямоток, противоток. Сведения по этой теме являются базовыми для термодинамических и теплотехнических расчетов процессов и аппаратов. Сведения по данной теме широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Ягов В.В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях: учебное пособие для вузов - М.: Издательский дом МЭИ, 2014. - 542 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI220.html>);

3. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>);

4. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на физический смысл основных понятий теплообменных процессов, вывод и физический смысл составляющих основного уравнения теплопередачи, схемы движения потоков и их особенности. По общим сведениям разные авторы сходятся во мнениях, однако к некоторым специфическим вопросам (например, понятие о видах

теплоемкости, температуропроводности и схемах движения потоков) они подходят с разных точек зрения, изучение которых будет полезным. Тема имеет большое практическое значение, так как сведения по этой лекции необходимы для понимания сути тепловых расчетов, проведение которых необходимо при рассмотрении и проектировании процессов химической технологии.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о различиях между теплоотдачей и теплопередачей, особенностях видах передачи и распространения тепла, об основных тепловых свойствах веществ и особенностях схем движения потоков.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Что называют теплоотдачей и теплопередачей?
2. Какие виды распространения теплы Вы знаете? Дайте определения.
3. Что называют теплоемкостью и температуропроводностью веществ?
4. Какие процессы в химической технологии относят к теплообменным?
5. В чем физический смысл коэффициента теплопередачи?
6. Какие схемы движения потоков существуют? В чем их особенности?

## **Лекция 2. Виды теплопередачи**

**Основные вопросы темы:** Передача тепла теплопроводностью. Передача тепла конвекцией. Передача тепла излучением. Подобие теплообменных процессов. Теплопередача через плоскую стенку.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить основные расчетные закономерности видов распространения и передачи тепла; изучить критерии теплообмена и их физический смысл.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Общие закономерности математики и физики; основы гидравлики и теплообменных процессов.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – закон Фурье, плотность теплового потока, конвекция, излучательная способность, критерии теплообмена, коэффициент теплоотдачи, коэффициент теплопередачи, теплопередача через плоскую стенку. К важным понятиям относятся коэффициент теплопроводности, пограничный тепловой слой, диатермичность, абсолютно черные и белые тела, термическое сопротивление. Сведения по этой теме являются базовыми для термодинамических и теплотехнических расчетов процессов и аппаратов. Сведения по данной теме широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);



2. Ягов В.В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях: учебное пособие для вузов - М.: Издательский дом МЭИ, 2014. - 542 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI220.html>);

3. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>);

4. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на особенности расчета теплового потока через различные теплопередающие поверхности, особенности передачи тепла конвекцией и тепловым излучением, а также применимость критериев теплообмена и их физический смысл, определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи в различных условиях, расчет теплового потока при теплопередаче. По общим вопросам между разными авторами нет противоречий, однако они могут расходиться во мнениях при описании смысла критериев теплообмена и методик определения коэффициентов в особых условиях (например, при конденсации). Также могут отличаться обозначения в формульных зависимостях и запись промежуточных формул.

Тема имеет большое практическое значение, так как сведения по этой лекции необходимы для проведения тепловых расчетов, которые необходимы при рассмотрении и проектировании процессов химической технологии.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать об основных закономерностях и расчетных зависимостях видов распространения тепла; знать критерии теплообмена и их физический смысл; знать методики расчета коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи; знать методику расчета теплового потока при теплопередаче.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Что характеризует закон Фурье и в чем физический смысл коэффициента теплопроводности?
2. Как определить конвективный тепловой поток?
3. Как классифицируют тела (среды) в зависимости от их способности поглощать, отражать или пропускать лучистую энергию?
4. Как определить тепловой поток при лучистом теплообмене?
5. Какие критерии характеризуют тепловое подобие? В чем их физический смысл?
6. Как определяют тепловой поток при теплопередаче через плоскую стенку?

## Раздел 6. Теплообменные аппараты

### Лекция 3. Промышленные способы подвода и отвода тепла

**Основные вопросы темы:** Классификация теплоносителей. Классификация теплообменных аппаратов. Кожухотрубчатые теплообменники. Аппараты с двойными стенками (рубашками).

**Цель и задачи изучения темы:** Получить представление о промышленных теплоносителях и требованиях к ним; изучить классификацию теплообменников; изучить конструкцию, принцип действия и особенности наиболее распространенных рекуперативных теплообменников.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания по общей и прикладной физике; основы гидравлики и теплообменных процессов.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – первичные и вторичные греющие теплоносители, хладагенты, одно- и многоходовые кожухотрубчатые теплообменники, аппараты с двойными стенками. К важным понятиям относятся рекуперативные, регенеративные и смесительные теплообменники трубное и межтрубное пространства, вертикальные кожухотрубчатые теплообменники, гидравлическое сопротивление. Сведения по этой теме являются основными при рассмотрении промышленных теплообменных аппаратов химической технологии. Эти сведения довольно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Ягов В.В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях: учебное пособие для вузов - М.: Издательский дом МЭИ, 2014. - 542 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI220.html>);

3. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на особенности и области применения промышленных теплоносителей и теплообменников. Разные авторы не противоречат, но дополняют друг друга. Тема имеет и практическое значение, так как ее изучение будет полезным для выбора теплоносителей, смесительных и регенеративных теплообменников.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о классификации и областях применения теплоносителей и теплообменников; знать конструкцию, принцип действия и особенности наиболее распространенных рекуперативных теплообменников.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какие вещества применяют в химической технологии в качестве теплоносителей?
2. Какие требования предъявляют к теплоносителям?
3. Какие требования предъявляют к теплообменникам?
4. Как классифицируют теплообменники?
5. Опишите конструкцию и принцип действия кожухотрубчатых теплообменников.
6. Опишите конструкцию и принцип действия аппаратов с двойными стенками.

#### **Лекция 4. Выпаривание**

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Однокорпусное выпаривание. Многокорпусное выпаривание.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить общее представление о выпаривании; изучить основные параметры и расчетные зависимости для характеристики выпаривания; изучить конструкцию однокорпусных выпарных аппаратов.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания по математике, общей и прикладной физике; основы гидравлики и теплообменных процессов.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – выпаривание, полезная разность температур; греющий пар; однокорпусное выпаривание, многокорпусное выпаривание. К важным понятиям относятся сепаратор, прямоток, противоток, упаренный раствор. Сведения по этой теме необходимы для понимания процесса выпаривания, конструкции и принципа действия выпарных установок. Эти сведения достаточно хорошо освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Замалеев З.Х., Посохин В.Н., Чефанов В.М. Основы гидравлики и теплотехники: учебное издание, под общей ред. проф. В.Н. Посохина – М.: АСВ, 2014. – 424 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300218.html>);

2. Ягов В.В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях: учебное пособие для вузов - М.: Издательский дом МЭИ, 2014. - 542 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI220.html>);

3. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на понятия о первичном и вторичном паре, определение температурных депрессий, полезной разности температур и ее распределении по корпусам, на конструкцию однокорпусных и многокорпусных выпарных аппаратов. Разные авторы излагают одну точку зрения, но с разной степенью доступности, так как эта тема сравнительно сложна для восприятия. Тема имеет практическое значение для областей химической технологии, в которых применяется выпаривание – для концентрирования, выделения растворителя или очистки.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать об основных понятиях выпаривания; знать основные параметры выпаривания и расчетные зависимости для их определения; знать типовые конструкции однокорпусных и многокорпусных выпарных установок.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. В чем отличие выпаривания от испарения?
2. Что называют полезной разностью температур?
3. Какой пар называют греющим?
4. В чем особенности выпаривания при различном давлении?
5. Опишите конструкцию и принцип действия типового выпарного аппарата.
6. В чем особенности прямоточного и противоточного многокорпусного выпаривания?

## **Раздел 7. Основы массообменных процессов**

### **Лекция 5. Общая характеристика массообменных процессов**

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Классификация массообменных процессов. Равновесие и средняя движущая сила массообменных процессов. Подobie массообменных процессов.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить представление о видах и типах массообмена; изучить классификацию массообменных процессов; изучить методику определения движущей силы массообмена; получить представление о критериях, характеризующих соотношение параметров массообменных процессов.

**Требования к уровню подготовленности студента:** основные знания по математике, общей химии, общей и прикладной физике; основы гидравлики и теплообменных процессов.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – массоотдача, массопередача, молекулярная и конвективная диффузии, поверхность контакта фаз, равновесная и рабочая концентрации, критерии подобия массообмена. К важным понятиям относятся массопроводность, непрерывный и ступенчатый контакты фаз. Сведения по этой теме являются базовыми и необходимы для понимания и расчета

массообмена, происходящего в процессах химической технологии. Эти сведения широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>);

2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>);

3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на закономерности и особенности молекулярной и конвективной диффузий, признаки классификации и определения основных массообменных процессов, определение фазового равновесия и кинетики массообменных процессов, критерии подобия массообмена и их физический смысл, а также аналогию тепло- и массообменных процессов. Точки зрения и степень освещенности тех или иных вопросов у разных авторов могут не совпадать, зачастую отличаются терминология (например, конвективная или турбулентная диффузия) и физический смысл критериев подобия. Однако изучение всех точек зрения позволит получить всю широту представлений по тематике данной лекции. Эта тема имеет большое практическое значение, так как необходима для понимания сути массообменных процессов и умения определять их движущую силу.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать об основных видах и типах распределения концентрации веществ внутри фаз и массообмена через разные поверхности контакта фаз, знать классификацию массообменных процессов, знать и уметь определять движущую силу массообмена; знать критерии подобия массообмена и их физический смысл.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. В чем отличие массоотдачи от массопередачи?
2. В чем отличие молекулярной диффузии от конвективной?
3. Как рассчитывается поток вещества при массообмене?
4. Какие массообменные процессы Вы знаете? Дайте определения.
5. В чем отличие непрерывного и ступенчатого контакта фаз?
6. Как определить направление переноса вещества из одной фазы в другую?

## Раздел 8. Массообменные процессы со свободной границей раздела фаз

### Лекция 6. Перегонка и ректификация.

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Равновесие в системе «жидкость – пар». Основные расчетные зависимости.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить основные закономерности и виды перегонки жидких смесей; изучить особенности равновесия парожидкостных систем; изучить расчетные зависимости перегонки.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания по общей и прикладной физике; основы гидравлики, тепло- и массообменных процессов.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – перегонка, низкокипящие и высококипящие компоненты, дистиллят, кубовый остаток, закон Рауля, закон Дальтона, простая перегонка. К важным понятиям дефлегмация, уравнения рабочих линий ректификационной колонны. Эти сведения широко освещены в источниках и относятся к одним из самых распространенных процессов химической технологии – процессам разделения жидких смесей по разности температур кипения. Эти сведения широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>);

2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>);

3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на физическую сущность перегонки, особенности перегонки при разном давлении, описание дефлегмации, особенности и расчетные зависимости равновесия и массообмена в системе «жидкость - пар». Разные авторы не противоречат друг другу, но уделяют больше внимания разным вопросам данной темы. Могут отличаться расчетные зависимости, обозначения и подробность изложения. Эта тема имеет большое практическое значение для понимания и умения проводить расчеты широко распространенных процессов – перегонки и ректификации.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать о летучести компонентов жидких смесей, влиянии давления и дефлегмации на чистоту разделения смесей перегонкой; знать и уметь применять законы Рауля и Дальтона; знать методику расчета материального баланса, флегмового числа и определения числа теоретических тарелок.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. На чем основано разделение жидких смесей перегонкой?
2. Что называют дефлегмацией? С какой целью она проводится?
3. Как формулируется закон Рауля? Как классифицируют жидкие смеси по величине отклонения от этого закона?
4. Как формулируется закон Дальтона? Для чего он применяется совместно с законом Рауля?
5. Как строят и используют равновесные и фазовые диаграммы?
6. Как определить число теоретических тарелок?

**Лекция 7. Массообменные аппараты и установки  
для процессов в системах «жидкость-пар»**

**Основные вопросы темы:** Простая перегонка. Ректификационные установки. Классификация и конструкция колонных аппаратов.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить схему простой перегонки; изучить особенности проведения ректификации; изучить классификацию и конструкцию колонных аппаратов.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания по общей и прикладной физике; основы гидравлики, тепло- и массообменных процессов; знать тему перегонка.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – ректификация бинарных смесей, укрепляющая и исчерпывающая части колонн, флегмовое число, число теоретических тарелок. К важным понятиям относятся тарельчатые колонны, насадочные колонны, дефлегмация. Эти сведения необходимы для расчета, выбора и проектирования ректификационных установок. Эти сведения широко и разнообразно освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>);

2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>);

3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на конструкции установок для простой перегонки и ректификации, области применения и особенности конструкции видов ректификационных колонн, виды тарелок ректификационных колонн. Разные авторы подробно излагают сведения по данной теме, однако формулировки и обозначения могут сильно отличаться, поэтому следует ориентироваться на обозначения в лекции, предложенные автором данного УМКД. Также могут отличаться расчетные зависимости и методики. Эти сведения имеют большое практическое значение не только для расчета процессов ректификации, но и процессов, в которых применяются колонные аппараты: сорбция, экстракция, мокрая очистка газов и т.д.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать устройство и принцип действия установок для простой перегонки и ректификации; знать классификацию и области применения колонных аппаратов; знать конструкцию и принцип действия насадочных и тарельчатых колонн.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Опишите устройство и принцип действия установки для простой перегонки.
2. Опишите устройство и принцип действия установки для ректификации бинарных смесей.
3. Как классифицируют колонные аппараты? Для каких процессов они применяются?
4. В чем особенности различных видов колонных аппаратов?
5. Опишите конструкцию и принцип действия насадочной колонны.
6. Опишите конструкцию и принцип действия тарельчатой колонны.

## **Раздел 9. Массообменные процессы с участием твердой фазы**

### **Лекция 8. Сушка**

**Основные вопросы темы:** Основные понятия и определения. Физическая сущность процесса сушки. Кинетика сушки. Материальный баланс сушки. Тепловой баланс сушки.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить основные параметры сушки и их физический смысл; изучить условия равновесия и кинетику сушки; изучить основы расчета параметров сушки.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания по общей и прикладной физике; основы гидравлики, тепло- и массообменных процессов.



**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – температура мокрого термометра, абсолютная и относительная влажность, критическое и равновесное влагосодержание, конвективные и контактные сушилки. К важным понятиям относятся формы связи влаги с материалом, влагосодержание, диффузия, энтальпия. Эти сведения являются основными для понимания сути процессов сушки, проводимых в большинстве процессов химической технологии. Эти сведения широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>);

2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>);

3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на физический смысл основных параметров сушки, условия равномерного и эффективного высушивания материала, построение кривой сушки и кривой скорости сушки, определение по ним параметров процесса. У разных авторов сходятся точки зрения и отличается только степень подробности изложения тех или иных вопросов. Тема имеет большое практическое значение для тех процессов химической технологии, в которых присутствует стадия сушки сырья и (или) продуктов.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать об основных параметрах процесса сушки и кинетике их изменения, понимать физический смысл процессов, происходящих при сушке.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какие параметры характеризуют степень насыщения воздуха влагой? Как это состояние достигается?
2. Дайте понятия абсолютной и относительной влажностей для материала и воздуха.
3. Какие существуют формы связи влаги с материалом? Какие из них удаляются при сушке?
4. Назовите условия равномерного и эффективного высушивания материала.
5. Из каких периодов состоит сушка? Чем они характеризуются?
6. Опишите материальный и тепловой балансы сушки.

## Лекция 9. Сушильные установки

**Основные вопросы темы:** Общая классификация сушилок. Туннельные сушилки. Барабанные сушилки. Сушилки с взвешенным слоем материала.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить классификацию сушилок; изучить конструкцию и принцип действия типовых сушилок.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания по общей и прикладной физике; основы гидравлики, тепло- и массообменных процессов.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – конвективные сушилки, барабанные сушилки, сушилки с кипящим слоем. К важным понятиям относятся контактные сушилки, туннельные сушилки. Эти сведения являются основными для выбора сушилки и проектирования сушильных установок. Эти сведения широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.html>);

2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов. – М. Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>);

3. Фролов В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - 2-е изд., истр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. - 608 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081581.html>).

**Обзор по рекомендуемой литературе:** Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на особенности видов сушилок (конвективных, контактных и т.д.) и их особенности, на конструкцию, принцип действия, преимущества и недостатки основных разновидностей сушилок (барабанных, с кипящим слоем и т.д.). У разных авторов сходятся точки зрения и отличается только степень подробности изложения тех или иных вопросов. Тема имеет большое практическое значение для тех процессов химической технологии, в которых присутствует стадия сушки сырья и (или) продуктов.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать классификацию сушилок; конструкцию и принцип действия типовых сушилок; особенности различных видов и разновидностей сушилок.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. По каким признакам классифицируют сушилки?
2. В чем принципиальные отличия конвективных и контактных сушилок?
3. Разделите сушилки по видам высушиваемого материала.

4. Опишите конструкцию и принцип действия туннельной сушилки.
5. Опишите конструкцию и принцип действия барабанной сушилки.
6. Опишите конструкцию и принцип действия сушилки с кипящим слоем.