

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

Институт прикладной математики, информатики, био- и нанотехнологий  
Кафедра химических технологий

Пикалов Евгений Сергеевич

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ МАССОПЕРЕНОСА**

Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов  
по дисциплине «Процессы и аппараты массопереноса» для студентов ВлГУ,  
обучающихся по направлению 18.04.01 – Химическая технология

Владимир – 2015 г.

Данные методические указания включают рекомендации по содержанию и выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Процессы и аппараты массопереноса» для студентов направления 18.04.01. «Химическая технология» ВлГУ.

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 18.04.01. «Химическая технология», рабочей программы дисциплины «Процессы и аппараты массопереноса».

Рассмотрены и одобрены на  
заседании УМК направления  
18.04.01 «Химическая технология»  
Протокол №7 от 05.02.2015 г.  
**Рукописный фонд кафедры ХТ ВлГУ**

## **Общая схема самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов заключается в изучении теоретической части курса, в подготовке к рейтинг-контролю знаний и сдаче зачета с оценкой, а также в обработке экспериментальных данных, полученных при выполнении лабораторных занятий, составлении отчетов по лабораторным работам и подготовке к защите отчетов по ним.

**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 также рекомендуется 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 готовиться к защите отчетов по лабораторным работам.

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 зачету с оценкой также рекомендуется проводить по списку вопросов, представленному в данном УМКД.

Кроме основной и дополнительной литературы при подготовке к текущему контролю знаний и подготовке к практическим занятиям 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 занятиям, 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 умений и навыков, а также выполнения экспериментальной части лабораторных работ 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;

- в соответствии со своими возможностями заранее готовится к проведению текущего контроля знаний, которые проводятся в установленные сроки;

- в соответствии со своими возможностями заранее готовится к сдаче зачета с оценкой.

**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 следует проводить в соответствии с планом и содержанием данного курса. 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 являться правильными и должны быть отмечены любым удобным студенту образом.

Домашние задания представляют собой самостоятельное углубленное изучение теоретического материала и выполнение подготовительной части лабораторных работ. 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 проводится подготовка к защите отчетов по лабораторной работе по контрольным вопросам. Рекомендуется подготовительную часть лабораторных работ проводить совместно со студентами, с которыми они выполняются.

**Рекомендации по подготовке к зачету с оценкой.** Начальным этапом подготовки к зачету с оценкой является успешное изучение теоретического курса, своевременное выполнение лабораторных работ и защита отчетов по ним. Это позволит получить высокие баллы при проведении рейтинг-контроля знаний, является условием допуска к сдаче зачета с оценкой и учитывается при выставлении оценки. Подготовку рекомендуется проводить по списку вопросов, который приведен в данном УМКД. Каждый студент, исходя из своих возможностей, должен выбрать время необходимое ему для подготовки к зачету с оценкой до дня, в который он будет проводиться. 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 курса и подобраны таким образом, чтобы соответствовать темам лабораторных и практических занятий. 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 выполнении практических заданий, преодолеваются путем обсуждения их с преподавателем и при проведении на занятиях общегрупповых диалогов. 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. Трудности при подготовке к зачету с оценкой рассматриваются и разбираются с ведущим преподавателем в форме бесед в индивидуальном порядке или на практических занятиях.

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

### **Раздел 1. Общие сведения о массообменных аппаратах**

#### **Лекция 1. Основы расчета массообменных аппаратов**

**Основные вопросы темы:** Общие принципы расчета массообменных аппаратов. Расчет диаметра массообменных аппаратов. Расчет высоты массообменных аппаратов.

**Цель и задачи изучения темы:** Получить представление об общих принципах расчета и выбора различных типов аппаратов для проведения массообменных процессов химической технологии; изучить общую методику расчета технологических и конструктивных параметров массообменных аппаратов.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курсов процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы: движущая сила и средняя движущая сила, рабочий объем аппарата и его размеры, проток и противоток, скорость потока, число единиц переноса, высота единиц переноса, теоретическая ступень изменения концентрации. К важным понятиям данной темы относятся периодическое и непрерывное действие аппаратов, непрерывный и ступенчатый контакты фаз. Сведения по этой теме являются основополагающими для курса и необходимы для понимания общих принципов расчета и выбора аппаратов для проведения типовых массообменных процессов химической технологии. Вопросы данной темы широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Рудобашта С. П., Карташов Э. М. Диффузия в химико-технологических процессах. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2013. - 478 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953207140.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. Гремячкин В.М. Уравнения переноса массы в теории массообмена: метод. рекомендации к изучению курса "Теория тепломассообмена" / В.М. Гремячкин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 15 с (доступ по интернет-ссылке [http://www.studentlibrary.ru/book/bauman\\_0360.html](http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0360.html));

4. Романков П.Г. и др. 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 последовательность расчетов массообменных процессов, расчета и выбора аппаратов для их проведения, типовые и обобщенные расчетные методики. Также следует уделить внимания таким основным понятиям как число и высота единиц переноса и теоретическая ступень изменения концентрации, на классификацию аппаратов по периодичности работы и типу контакта фаз (непрерывный или ступенчатый). Разные авторы по-своему подходят к изложению вопросов данной темы и сходятся лишь в определении основных понятий и основных задач, даже последовательность расчета у них может отличаться и повторятся лишь в назначении основных пунктов. Также могут сильно отличаться обозначения в формулах и несколько отличаться расчетные зависимости. Рекомендуется изучить и проанализировать все рекомендованные источники и при необходимости согласовать с преподавателем точку зрения, которую студент выберет как основную. Тема имеет и практическое значение, так как является описанием алгоритма и рассказывает основы расчетов, проводимых при проектировании, моделировании и анализе работы массообменных аппаратов. В связи с этим изучение данной темы будет являться основой для изучения остального курса и будет полезным при научно-исследовательской и будущей профессиональной деятельности выпускника.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует понять основные цели и задачи расчета и выбора массообменных аппаратов; знать и уметь оперировать такими понятиями как непрерывный и ступенчатый контакт фаз, число и высота единиц переноса, теоретическая ступень изменения концентрации; знать взаимосвязь материальных и тепловых расчетов массообменных процессов с расчетом и выбором аппаратов для их проведения.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. В чем заключаются основные задачи при расчете массообменных аппаратов?

2. Опишите последовательность действий при расчете и выборе массообменного аппарата?
3. В чем отличие и особенности аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактами фаз?
4. Что называют средней движущей силой процесса? Как она зависит от схемы движения потоков в аппарате?
5. Что называют числом и высотой единиц переноса? Как они определяются?
6. Что называют теоретической ступенью изменения концентрации? Как определяется их количество?

## **Лекция 2. Колонные аппараты**

**Основные вопросы темы:** Классификация колонных аппаратов. Распыливающие и пленочные колонны. Насадочные колонны. Тарельчатые колонны.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить классификацию и конструкцию колонных аппаратов; изучить режимы работы, преимущества и недостатки разных типов колонн.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курсов процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы: колонный аппарат, распыливающие колонны, пленочные колонны, насадочные колонны, тарельчатые колонны, режим эмульгирования, пенный режим, захлебывание тарелки. К важным понятиям данной темы относятся поверхность контакта фаз, скруббер, барботажный пылеуловитель, абсорбция, ректификация, экстракция, режим подвисяния, режим уноса, барботажный режим, струйный режим. Сведения по этой теме являются основополагающими для курса и необходимы для понимания общих принципов работы и выбора колонных аппаратов для проведения типовых массообменных процессов химической технологии. Вопросы данной темы широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Рудобашта С. П., Карташов Э. М. Диффузия в химико-технологических процессах. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2013. - 478 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953207140.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. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учеб. пособие - Казань: КНИТУ, 2012. - 96 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>);

4. Романков П.Г. и др. 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 особенности конструкции, условий и параметров работы различных типов колонных аппаратов, а также на режимы работы и обеспечение эффективности массопереноса в колонных аппаратах. Точки зрения разных авторов сходятся в описании наиболее распространенных колонных аппаратов и их классификации, однако описание менее распространенных видов колонн и режимов их работы может довольно сильно отличаться, поэтому рекомендуется взять за основу информацию, изложенную в лекции. Тема имеет и практическое значение, так как ее изучение необходимо при разработке и проектировании конструкций колонных аппаратов и может оказаться полезным при научно-исследовательской и будущей профессиональной деятельности выпускника.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать классификацию и конструкцию колонных аппаратов; знать режимы, условия и параметры эффективной работы колонных аппаратов.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Что из себя представляют колонные аппараты? Как они классифицируются?
2. В каких процессах химической технологии применяют колонные аппараты?
3. Опишите конструкцию и принцип действия полых и пленочных колонн.
4. Опишите конструкцию и принцип действия насадочных и тарельчатых колонн.
5. Какие режимы работы характерны для насадочных колонн? Дайте им краткую характеристику.
6. Какие режимы работы характерны для тарельчатых колонн? Дайте им краткую характеристику.

### **Лекция 3. Насадки и тарелки**

**Основные вопросы темы:** Классификация и характеристика насадок и их элементов. Классификация тарелок. Ситчатые тарелки. Колпачковые тарелки.

**Цель и задачи изучения темы:** Изучить классификацию, преимущества, недостатки и особенности различных насадок и тарелок колонных аппаратов.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курсов процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы: насадка, кольца Рашига, регулярная укладка, засыпка навалом, тарелки, ситчатые и колпачковые тарелки. К важным понятиям данной темы относятся поверхность контакта фаз, лиофильность, гидравлическое сопротивление, кольца Палля, седла Берля, плавающая насадка, переточные устройства, тарелки провального типа, перфорация. Сведения по этой теме важны для понимания конструкции и принципа действия колонных аппаратов. Вопросы данной темы достаточно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Рудобашта С. П., Карташов Э. М. Диффузия в химико-технологических процессах. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2013. - 478 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953207140.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. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учеб. пособие - Казань: КНИТУ, 2012. - 96 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>);

4. Романков П.Г. и др. 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 разнообразие видов насадок и тарелок, их конструктивные и другие особенности, преимущества и недостатки, а также области применения.

Разные авторы применяют различные классификации насадок и тарелок, но сходятся в описании их устройства и характеристик. Отличаться может только информативность изложения и еще то, что одни авторы приводят в своих работах у других авторов может отсутствовать. Поэтому для получения достаточного объема знаний рекомендуется изучить все рекомендованные источники. Тема имеет и практическое значение, так как ее изучение необходимо для успешного проектирования и расчета колонных аппаратов и может оказаться полезным при научно-исследовательской и будущей профессиональной деятельности выпускника.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать основные виды насадок и тарелок колонных аппаратов, способы их установки; знать особенности, преимущества и недостатки разных видов насадок и тарелок.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какие виды насадок Вы знаете? В чем отличия между ними?
2. Какие способы укладки элементов насадок Вы знаете? В каких случаях они применяются?
3. По каким признакам классифицируют тарелки колонных аппаратов? Какие виды различают по каждому признаку?
4. Что из себя представляют ситчатые тарелки?
5. Что из себя представляют колпачковые тарелки?
6. Сравните между собой ситчатые и колпачковые тарелки. В чем их преимущества и недостатки?

**Раздел 2. Массообменные аппараты в системах  
со свободной границей раздела фаз**

**Лекция 4. Абсорбционные установки и аппараты**

**Основные вопросы темы:** Промышленные абсорбенты. Схемы проведения абсорбции. Абсорбция с регенерацией и рециркуляцией.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить основные промышленные абсорбенты; изучить конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения абсорбции; изучить методику расчета и выбора абсорбционных аппаратов и установок.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы: абсорберы, прямоточная и противоточная абсорбции, рециркуляция абсорбента. К важным понятиям относятся селективность, регенерация, хемосорбция, секционные аппараты, абсорбтив, одно- и многоступенчатые абсорберы, десорбер, насосы и компрессоры. Сведения по данной теме необходимы для расчета и выбора аппаратов и установок для проведения массообменных процессов в системах «газ - жидкость». Эти сведения достаточно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Романков П.Г. и др. 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 следует обратить на особенности расчета и выбора основных размеров рабочего пространства абсорберов, расчет гидравлического сопротивления абсорберов и коэффициента массопередачи в них, а также конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения абсорбции, и десорбции. Также следует обратить внимание на принципы выбора конструктивных элементов аппаратов: например, сепараторов, распределительных и перераспределительных устройств, верхних и нижних частей колонн и др. Разные авторы сходным образом описывают типовые конструкции и основные расчетные зависимости. Однако могут отличаться детальность изображения и описания установок и аппаратов, формульные зависимости и обозначения в них, методики расчетов, а также приводимые диаграммы и таблицы зависимостей параметров. В связи с этим рекомендуется сконцентрировать внимание на основных моментах вопросов данной темы. Тема имеет практическое значение, так как по приведенным расчетным зависимостям и на основе изложенных закономерностей проводятся основные расчеты абсорбции, проектируются установки и аппараты для ее проведения. Знание этой темы может оказаться полезным при прохождении практик, выполнении научно-исследовательской и выпускной квалификационной работ, в будущей профессиональной деятельности студента.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать основные промышленные абсорбенты и их характеристику; схемы проведения абсорбции; принцип действия аппаратов и установок для проведения абсорбции; знать основы расчета и выбора абсорбционных аппаратов и установок.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Как определяется диаметр и общая высота насадочного абсорбера?
2. Какие схемы используются при проведении абсорбции?
3. Опишите конструкцию и принцип действия насадочного абсорбера.
4. Для чего проводится секционирование насадочных абсорберов?

5. Опишите принцип действия абсорбционной установки с регенерацией и рециркуляцией абсорбента.

6. Какими способами проводится десорбция абсорбентов?

### **Лекция 5. Перегонные установки и аппараты**

**План лекции:** Простая перегонка. Молекулярная перегонка. Перегонка с водяным паром. Ректификация бинарных смесей. Экстрактивная ректификация. Азеотропная ректификация.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения различных видов простой перегонки и ректификации; изучить методику расчета и выбора перегонных аппаратов и установок.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы: простая перегонка, фракционная перегонка, молекулярная перегонка, перегонка с водяным паром, ректификационная колонна, экстрактивная ректификация, азеотропная ректификация. К важным понятиям относятся низкокипящий компонент, летучесть компонентов, дистиллят, кубовый остаток, перегонный куб, дефлегмация, бинарная смесь, укрепляющая и исчерпывающая часть ректификационных колонн. Сведения по данной теме необходимы для расчета и выбора аппаратов и установок для проведения массообменных процессов в системах «пар - жидкость» и проведения перегонки смесей с различными свойствами компонентов. Эти сведения достаточно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Рудобашта С. П., Карташов Э. М. Диффузия в химико-технологических процессах. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2013. - 478 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785953207140.html>);

2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.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 следует обратить на особенности проведения, а также особенности

конструкции установок и аппаратов для проведения различных видов перегонки. Также следует обратить внимание на расчет основных размеров ректификационных колонн и числа тарелок в тарельчатых колоннах. Разные авторы сходным образом описывают типовые конструкции и основные расчетные зависимости. Однако могут отличаться детальность изображения и описания установок и аппаратов, формульные зависимости и обозначения в них, методики расчетов, а также приводимые диаграммы и таблицы зависимостей параметров. Также в литературных источниках по мнению автора данного УМК недостаточно подробно освещаются вопросы, связанные с особыми видами перегонки (молекулярной перегонкой, азеотропной ректификацией и др.). В связи с этим рекомендуется взять за основу материал, изложенный в лекции, и дополнить его сведениями из рекомендованных источников. Тема имеет большое практическое значение, так как по приведенным расчетным зависимостям и на основе изложенных закономерностей проводятся расчеты основных процессов синтеза органических соединений, наиболее распространенных в химической технологии. Знания этой темы будут использованы при проведении лабораторных занятий по этой и другим дисциплинам, могут оказаться полезны при прохождении практик, выполнении научно-исследовательской и выпускной квалификационной работ, в будущей профессиональной деятельности студента.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать основы методики расчета и выбора аппаратов для проведения перегонки; знать конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения перегонки.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Опишите принцип действия установки для проведения фракционной перегонки.
2. Опишите конструкцию и принцип действия аппарата для молекулярной перегонки.
3. Опишите конструкцию и принцип действия установки для ректификации бинарных смесей.
4. Как проводится ректификация многокомпонентных смесей?
5. Опишите конструкцию и принцип действия установки для экстрактивной ректификации. В каких случаях она применяется?
6. Опишите конструкцию и принцип действия установки для азеотропной ректификации. В каких случаях она применяется?

## **Лекция 6. Экстракционные установки и аппараты**

**Основные вопросы темы:** Промышленные экстрагенты. Классификация экстракторов. Смесительно-отстойные экстракторы. Колонные экстракторы.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить основные промышленные экстрагенты; изучить конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения экстракции и реэкстракции; изучить методику расчета и выбора экстракционных аппаратов и установок.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы: экстрагенты, ступенчатые и дифференциально-контактные экстракторы, смесительно-отстойный экстрактор, распылительные экстракторы, пульсационный и вибрационный экстракторы. К важным понятиям относятся растворитель, экстракт, рафинат, физическая экстракция, гравитационные и механические экстракторы, диспергирование и коалесценция. Сведения по данной теме необходимы для расчета и выбора аппаратов и установок для проведения массообменных процессов в системах «жидкость - жидкость». Эти сведения достаточно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Гришин Н.С. Экстракция в поле переменных сил. Гидродинамика, массопередача, аппараты: монография: в 2 ч. Ч. 1 - Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. - 468 с. (доступ по интернет-ссылке: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788213330.html>).

2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.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 следует обратить на особенность расчета и выбора основных размеров рабочего пространства экстракторов, расчет гидравлического сопротивления экстракторов, размеры и скорость капель, а также конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения экстракции. Также следует обратить внимание на организацию реэкстракции, а также принципы выбора конструктивных элементов аппаратов: например, пульсаторов, тарелок, верхних и нижних частей колонн и др. Разные авторы сходным образом описывают типовые конструкции и основные расчетные зависимости. Однако могут отличаться детальность изображения и описания установок и аппаратов, формульные зависимости и обозначения в них, методики расчетов, а также приводимые диаграммы и таблицы зависимостей параметров. В связи с этим рекомендуется сконцентрировать внимание на основных моментах

вопросов данной темы. Тема имеет и практическое значение, так как по приведенным расчетным зависимостям и на основе изложенных закономерностей проводятся основные расчеты экстракционных аппаратов. Знание этой темы может оказаться полезным при прохождении практик, выполнении научно-исследовательской и выпускной квалификационной работ, в будущей профессиональной деятельности студента.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать основные промышленные экстрагенты и их характеристику; основы методики расчета и выбора аппаратов и установок для проведения экстракции; знать конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения экстракции.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. На какие группы делятся промышленные экстрагенты? В каких случаях применяются экстрагенты каждой из групп?
2. Как классифицируют экстракторы?
3. Опишите конструкцию и принцип действия смесительно-отстойного экстрактора.
4. На какие группы делятся колонные экстракторы?
5. Опишите конструкцию и принцип действия распылительных экстракторов.
6. Опишите конструкцию и принцип действия вибрационных и пульсационных экстракторов.

### **Раздел 3. Массообменные аппараты в системах с участием твердой фазы**

#### **Лекция 7. Адсорбционные установки и аппараты**

**Основные вопросы темы:** Промышленные адсорбенты. Адсорберы с неподвижным слоем. Адсорберы с псевдооживленным слоем. Адсорберы с плотно движущимся слоем.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить основные промышленные адсорбенты; изучить конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения адсорбции; изучить методику расчета и выбора адсорбционных аппаратов и установок.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – адсорберы, неподвижный, псевдооживленный и плотно движущийся слой сорбента, рекуперация, прямоточные и противоточные установки. К важным понятиям относятся адсорбтив, адсорбат, хемосорбция, силикагели, алюмогели, цеолиты, сорбционная емкость, порозность, иониты, ионообменные фильтры и колонны. Сведения по данной теме необходимы для расчета и выбора аппаратов и установок для проведения массообменных

сорбционных процессов в системах «газ – твердое тело», «пар – твердое тело» и «жидкость – твердое тело». Эти сведения широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учебное пособие - Казань: издательство КНИТУ, 2012. - 96 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>);

2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.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 особенность расчета и выбора основных размеров рабочего пространства адсорберов, расчет гидравлического сопротивления адсорберов и коэффициентов массопередачи, а также конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения адсорбции. Также следует обратить внимание на определение высоты слоя сорбента, явление уноса в аппаратах, сорбционную емкость и селективность, а также принципы выбора конструктивных элементов аппаратов: например, верхние и нижние части колонн, секционирование аппаратов и др. Важно понять отличия и особенности адсорбции и адсорбционных аппаратов, а также ионного обмена и ионообменных аппаратов. Разные авторы сходным образом описывают типовые конструкции и основные расчетные зависимости. Однако могут отличаться детальность изображения и описания установок и аппаратов, формульные зависимости и обозначения в них, методики расчетов, а также приводимые диаграммы и таблицы зависимостей параметров. В связи с этим рекомендуется взять за основу материал, изложенный в лекции и дополнить его сведениями из литературных источников. Тема имеет практическое значение, так как сорбционные процессы довольно широко распространены в химической технологии. Поэтому знание этой темы может оказаться полезным при прохождении практик, выполнении научно-исследовательской и выпускной квалификационной работ, в будущей профессиональной деятельности студента.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать основы методики расчета и выбора аппаратов для проведения адсорбции, ионного обмена, сушки, обратного осмоса и мембранного разделения газов; знать конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения массообменных процессов в системах «газ – твердое тело»,

«пар – твердое тело» и «жидкость – твердое тело», а также для сложных систем, например, «газ – жидкость – твердое тело».

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Какие адсорбенты и в каких случаях применяют при проведении сорбционных процессов?
2. Как классифицируют аппараты для проведения адсорбции?
3. Опишите конструкцию и принцип адсорбера с неподвижным слоем адсорбента.
4. Опишите конструкцию и принцип адсорбера с псевдооживленным слоем адсорбента.
5. Опишите конструкцию и принцип адсорбера с плотно движущимся слоем адсорбента.
6. В чем отличия и особенности адсорбции и ионного обмена, а также аппаратов, применяемых для этих процессов?

**Лекция 8. Сушильные установки и аппараты**

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

**Цель и задачи изучения темы:** изучить методику расчета и выбора сушильных аппаратов и установок; изучить конструкцию и принцип действия сушильных аппаратов и установок.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – конвективные сушилки, барабанные сушилки и сушилки с кипящим слоем, прямоточные и противоточные сушилки. К важным понятиям относятся контактные сушилки, сушилки с неподвижным или плотно движущимся слоем материала, туннельные сушилки, сушилки с перемешиванием слоя материала, псевдооживленный слой. Сведения по данной теме необходимы для расчета и выбора аппаратов и установок для проведения массообменных процессов в системах «газ – пар – твердое тело», применяемых в основном для снижения влажности материалов и продуктов. Эти сведения широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учебное пособие - Казань: издательство КНИТУ, 2012. - 96 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>);

2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.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 классификацию сушилок, их особенности, преимущества, недостатки и области применения. Также следует обратить внимание на особенности расчета и выбора основных размеров рабочего пространства сушилок, расчет гидравлического сопротивления сушилок и коэффициентов массопередачи в них, а также конструкцию и принцип действия сушильных аппаратов и установок. Разные авторы сходным образом описывают типовые конструкции и основные расчетные зависимости. Однако могут отличаться детальность изображения и описания установок и аппаратов, формульные зависимости и обозначения в них, методики расчетов, а также приводимые диаграммы и таблицы зависимостей параметров. В связи с этим рекомендуется сконцентрировать внимание на основных моментах вопросов данной темы. Тема имеет большое практическое значение, так как по приведенным расчетным зависимостям и на основе изложенных закономерностей проводятся основные расчеты процессов сушки, которые происходят при переработке пластических масс и производстве конструкционных материалов, что непосредственно соответствует профилю подготовки. Знания этой темы будут использованы при проведении практических и лабораторных занятий по этой и другим дисциплинам, могут оказаться полезны при прохождении практик, выполнении научно-исследовательской и выпускной квалификационной работ, в будущей профессиональной деятельности студента.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать основы методики расчета и выбора сушильных аппаратов и установок; знать конструкцию и принцип действия сушильных аппаратов и установок.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Как классифицируют сушилки?
2. Для сушки каких материалов предназначены различные типы сушилок?
3. Какие виды сушилок являются наиболее распространенными в своих группах аппаратов?
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.

## Лекция 9. Мембранные установки и аппараты

**Основные вопросы темы:** Аппараты с плоскокамерными элементами. Аппараты с трубчатыми мембранными элементами. Аппараты с рулонными элементами. Аппараты с мембранами в виде полых волокон.

**Цель и задачи изучения темы:** изучить методику расчета и выбора мембранных аппаратов; изучить конструкцию и принцип действия мембранных аппаратов и установок.

**Требования к уровню подготовленности студента:** Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии; общие закономерности математики, физики и химии.

**Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата:** Основные понятия данной темы – мембранные модули, плоскокамерные элементы, трубчатые мембранные элементы, рулонные элементы, мембраны в виде полых волокон. К важным понятиям относятся пермеат, ретант, классификация мембран, плотность упаковки мембран, удельная рабочая поверхность, гидравлическое сопротивление, виды расположения мембран в виде полых волокон. Сведения по данной теме необходимы для расчета и выбора аппаратов и установок для проведения массообменных процессов через полупроницаемые перегородки (мембраны), которые очень широко применяются в процессах химической технологии и активно развиваются в последнее время. Эти сведения достаточно широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Разинов А.И., Суханов П.П. Процессы массопереноса с участием твердой фазы: учебное пособие - Казань: издательство КНИТУ, 2012. - 96 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/knitu-0004.html>);

2. Романков П.Г. и др. Массообменные процессы химической технологии: Учеб. пособие. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. - 440 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081949.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 применения разных мембран и мембранных элементов для различных процессов, особенности расчета и выбора мембранных аппаратов и установок, а также конструкцию и принцип действия мембранных аппаратов. Стоит обратить внимание на характеристики разных мембран и мембранных элементов, способы регенерации мембран. У разных авторов достаточно сильно отличаются сведения по конструкции мембранных аппаратов и применяемых в них мембранах, хотя они и не противоречат друг

другу. Также в литературных источниках нет четкой и общепринятой методики расчета мембранных аппаратов. В связи с этим рекомендуется сконцентрировать внимание на основных моментах вопросов данной темы. Тема имеет большое практическое значение, так как по приведенным расчетным зависимостям и на основе изложенных закономерностей проводятся основные расчеты, разработка и проектирование всех мембранных процессов. Знания этой темы будут использованы при проведении практических и лабораторных занятий по этой и другим дисциплинам, могут оказаться полезны при прохождении практик, выполнении научно-исследовательской и выпускной квалификационной работ, в будущей профессиональной деятельности студента.

**Краткие выводы по итогам изучения темы:** Студенту следует знать основные виды мембран и мембранных элементов, их характеристику и области применения; знать методики расчета и выбора мембранных аппаратов и установок; знать конструкцию и принцип действия мембранных аппаратов и установок.

**Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:**

1. Как классифицируют мембраны? Назовите преимущества и недостатки видов мембран.
2. Как классифицируют мембранные аппараты? Для каких процессов применяется каждый из них?
3. Опишите конструкцию и принцип действия аппарата с плоскокамерными элементами.
4. Опишите конструкцию и принцип действия аппаратов с трубчатыми мембранными элементами.
5. Опишите конструкцию и принцип действия аппарата с рулонными элементами.
6. Опишите конструкцию и принцип действия аппаратов с мембранами в виде полых волокон.