

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 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 – 2016 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 №8 от 22.04.2016 г.
Рукописный фонд кафедры ХТ ВлГУ

Общая схема самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов заключается в изучении теоретической части курса, выполнении заданий на практических занятиях, 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.

В связи с тем, что изучение данного курса не предусматривает лекционных занятий теоретическая часть курса изучается студентами самостоятельно в полном объеме. Рекомендуется изучать темы для самостоятельного изучения в соответствии с темами практических и лабораторных занятий. Изучать теоретическую часть курса рекомендуется 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.

Подготовку к каждому практическому занятию рекомендуется проводить 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.

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 в соответствии с темами практических и лабораторных занятий, разбив необходимые для рассмотрения вопросы на части таким образом, чтобы изучать равное их количество каждый день с момента последнего аудиторного занятия и до времени проведения следующего. 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, выполнения экспериментальной части лабораторных работ и заданий на практических занятиях необходимо посещать аудиторские занятия в соответствии с расписанием и дополнять полученные на них знания самостоятельным углубленным изучением. А результаты самостоятельного изучения применять при дальнейшем изучении теории, для эффективного выполнения лабораторных работ и заданий на практических занятиях;

- 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 изучение теоретического материала, выполнение подготовительной части лабораторных работ и заданий практических занятий. 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. Подготовка к практическим занятиям заключается в изучении материала из рекомендуемых литературных источников по вопросам, предусмотренным для обсуждения.

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, а также выполнение заданий на практических занятиях. 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 практическом занятии при проведении устного диалога с группой студентов для закрепления знаний, полученных самостоятельно, и для разъяснения сложных для восприятия вопросов. Для снижения трудности 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, 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

Основные вопросы темы: Основы расчета массообменных аппаратов. Особенности расчета аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактами фаз. Определение числа единиц переноса. Определение высоты единиц переноса. Определение числа теоретических тарелок. Классификация колонных 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, прямоток 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, колонные аппараты и их классификация, типы насадок и тарелок колонных аппаратов. 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. Барилевич В.А. Смирнов Ю.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: Учеб. пособие - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 432 с (доступ по интернет-ссылке <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=356818>);

2. Кудинов А.А. Тепломассообмен: Учеб. пособие - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 375 с (доступ по интернет-ссылке <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=463148>);

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);

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, типовые конструкции колонных аппаратов, насадок и тарелок для них. 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?
7. Приведите классификацию колонных аппаратов. Дайте характеристику каждому типу колонного аппарата.
8. Приведите классификацию насадок, применяемых в колонных аппаратах. Дайте характеристику типам укладки и разным конфигурациям элементов насадки.
9. Приведите классификацию тарелок, применяемых в колонных аппаратах. Дайте характеристику типам тарелок.

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

Основные вопросы темы: Схемы абсорбционных установок. Классификация и конструкция абсорберов. Схемы установок для перегонки. Схемы установок для ректификации. Конструкция перегонных аппаратов. Классификация и конструкция ректификационных колонн. Схемы экстракционных установок. Классификация и конструкция экстракционных колонн.

Цель и задачи изучения темы: изучить методику расчета и выбора массообменных аппаратов в системах со свободной границей раздела фаз; изучить конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения абсорбции, перегонки и экстракции.

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, ректификационные и экстракционные колонны, экстракторы, прямоточные и противоточные установки, режимы работы колонных аппаратов при проведении различных процессов. К важным понятиям относятся десорбер, укрепляющая и исчерпывающая часть ректификационных колонн, диспергирование и коалесценция, насосы и компрессоры. Сведения по данной теме необходимы для расчета и выбора аппаратов и установок для проведения массообменных процессов в системах «газ - жидкость», «пар - жидкость» и «жидкость - жидкость». Эти сведения широко освещены в литературных источниках. Для самостоятельного изучения рекомендуются:

1. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика: Учеб. пособие – М.: Абрис, 2012. - 199 с (доступ по интернет-ссылке <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200452.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 аппаратов, расчет гидравлического сопротивления аппаратов и коэффициентов массопередачи для проводимых в них процессов, а также конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения абсорбции, перегонки и экстракции. Также следует обратить внимание на определение числа тарелок в тарельчатых ректификационных колоннах, организацию десорбции и рекстракции, а также 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, которые будут необходимы при проведении практических и лабораторных занятий. Тема имеет большое практическое значение, так как по приведенным расчетным зависимостям и на основе изложенных закономерностей проводятся основные расчеты всех массообменных процессов со свободной границей раздела фаз, наиболее распространенных в химической технологии. 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 и в будущей профессиональной деятельности студента.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать основы методики расчета и выбора аппаратов для проведения абсорбции, ректификации и экстракции; знать конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения массообменных процессов в системах «газ - жидкость», «пар - жидкость» и «жидкость - жидкость».

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. Как определяется диаметр и общая высота колонного аппарата?
2. Какие схемы используются при проведении абсорбции?
3. Опишите конструкцию и принцип действия насадочного абсорбера.
4. Какие схемы используются при проведении простой перегонки?
5. Какие схемы используются при проведении ректификации?
6. Опишите конструкцию и принцип действия тарельчатой ректификационной колонны.
7. Какие схемы используются при проведении экстракции?
8. Опишите конструкцию и принцип действия распыливающей экстракционной колонны.
9. Какие реагенты используются при проведении массообменных процессов в системах со свободной границей раздела фаз?

Раздел 3. Массообменные аппараты в системах с участием твердой фазы

Основные вопросы темы: Схемы адсорбционных установок. Конструкция адсорберов. Схемы ионообменных установок. Конструкция ионообменных фильтров. Классификация сушилок. Туннельные сушилки. Барабанные сушилки. Сушилки со взвешенным слоем. Классификация мембран. Классификация и конструкция мембранных аппаратов.

Цель и задачи изучения темы: изучить методику расчета и выбора массообменных аппаратов в системах с участием твердой фазы; изучить конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения адсорбции, ионного обмена, сушки и мембранных процессов.

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, ионообменные колонны, барабанные сушилки и сушилки

с кипящим слоем, мембранные модули. К важным понятиям относятся неподвижный, псевдоожиженный и плотнодвижущийся слои сорбента, рекуперация, прямоточные и противоточные установки, установки для обратного осмоса и мембранного разделения газов, классификация мембран. Сведения по данной теме необходимы для расчета и выбора 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». 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 аппаратов, расчет гидравлического сопротивления аппаратов и коэффициентов массопередачи для проводимых в них процессов, а также конструкцию и принцип действия аппаратов и установок для проведения адсорбции, ионного обмена, конвективной сушки, обратного осмоса и мембранного разделения газов. 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. 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. Особенно сильно различаются сведения по конструкции мембранных аппаратов и применяемых в них мембранах. В связи с этим рекомендуется сконцентрировать внимание на основных моментах вопросов данной темы, которые будут необходимы при проведении практических и лабораторных занятий. Тема имеет большое практическое значение, так как по приведенным расчетным зависимостям и на основе изложенных закономерностей проводятся основные расчеты всех массообменных процессов с участием твердой фазы,

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 и 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. Как определяются основные размеры адсорбера?
2. Какие аппараты применяются для адсорбции и ионного обмена?
3. Опишите конструкцию и принцип адсорбера с неподвижным слоем адсорбента.
4. Опишите конструкцию и принцип действия катионообменной колонны.
5. Какие реагенты используются при проведении массообменных процессов в системах с участием твердой фазы?
6. Опишите конструкцию и принцип действия барабанной сушилки.
7. Опишите конструкцию и принцип действия сушилки с кипящим слоем.
8. Как классифицируют мембраны? Назовите преимущества и недостатки видов мембран.
9. Опишите конструкцию и принцип типового мембранного модуля.