

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАССОПЕРЕНОСА

Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов
по дисциплине «Теоретические основы 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 «Теоретические основы 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 «Теоретические основы 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 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 экзамена, а также в выполнении заданий на практических занятиях.

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 каждого практического занятия 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.

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

Кроме конспекта лекций, 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 практическим занятиям, на которых студенты получают навыки их применения 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 и выполнения 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 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 экзамена.

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 являться правильными и должны быть отмечены любым удобным студенту образом.

Домашние задания представляют собой самостоятельное углубленное изучение теоретического материала и выполнение подготовительной части заданий практических занятий. Подготовка к практическим занятиям заключается в изучении материала из рекомендуемых литературных источников по вопросам, предусмотренным для обсуждения.

Рекомендации по подготовке к экзамену. Начальным этапом подготовки к экзамену является успешное изучение теоретического курса, своевременное выполнение заданий на практических занятиях. Это позволит получить высокие баллы при проведении рейтинг-контроля знаний и является условием допуска к сдаче экзамена. А 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 проводится консультация. 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. 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 при подготовке к экзамену рассматриваются и разбираются при проведении консультации.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала курса

Раздел 1. Общие сведения о массообмене

Лекция 1. Основные сведения о массообменных процессах

Основные вопросы темы: Основные понятия и определения. Классификация массообменных процессов. Фазовое равновесие. Движущая сила массообмена.

Цель и задачи изучения темы: Получить представление о видах и типах массообмена; изучить классификацию массообменных процессов; изучить закономерности фазового равновесия и движущей силы массообмена.

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: массоотдача, массопередача, молекулярная и конвективная диффузии, свободная и неподвижная поверхности контакта фаз, равновесная и рабочая концентрации, движущая сила массопередачи. К важным понятиям данной темы относятся массопроводность и классификация массообменных процессов. Сведения по этой теме являются основополагающими для курса и необходимы для понимания физической сущности, закономерностей равновесия и кинетики массообмена, происходящего в процессах химической технологии. Вопросы данной темы широко освещены в литературных источниках, изложение сведений у разных авторов практически не отличается и для самостоятельного изучения может быть рекомендован любой источник из списка рекомендованных.

Обзор по рекомендуемой литературе: Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на особенности молекулярной и конвективной диффузий, признаки классификации и определения основных массообменных процессов, определение фазового равновесия, движущей и средней движущей сил процесса, а также аналогию тепло- и массообменных процессов. Тема имеет и практическое значение - сведения о принадлежности о характере поверхности контакта определяет применение тех или иных расчетных зависимостей, а определение движущей силы позволит определить направление массопереноса и его кинетику. В связи с этим изучение данной темы будет являться основой для изучения остального курса.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует понять сущность массообменных процессов; знать об основных видах и типах распределения веществ внутри фаз и массообмена через разные поверхности контакта фаз, знать классификацию массообменных процессов, знать понятие и методику определения движущей силы массообмена,

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. В чем отличие массоотдачи от массопередачи?
2. В чем отличие молекулярной диффузии от конвективной?
3. Какие поверхности контакта между фазами существуют? В чем их особенности?
4. Какие массообменные процессы Вы знаете? Дайте определения.
5. Что называют фазовым равновесием, движущей и средней движущей силой массообмена?
6. Как определить направление переноса вещества из одной фазы в другую?

Лекция 2. Основные закономерности и расчетные зависимости

Основные вопросы темы: Закономерности молекулярной диффузии. Закономерности конвективной диффузии. Модели массопереноса. Закономерности массопереноса с участием твердого тела.

Цель и задачи изучения темы: изучить основные закономерности массообмена в системах со свободной границей раздела и с участием твердого тела; изучить модели массопереноса и определение коэффициента массоотдачи с их помощью.

Требования к уровню подготовленности студента: Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии, а также знания основ массообмена по первой лекции данного курса; общие закономерности математики, физики и химии.

Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата: Основные понятия данной темы: кинетика молекулярной диффузии и первый закон Фика, коэффициент молекулярной диффузии, кинетика конвективной диффузии и уравнение массоотдачи, коэффициент массоотдачи. К важным понятиям относятся модели массопереноса, пограничный диффузионный слой, поток массы, уравнение массопроводности, капиллярно пористые тела и диффузия газов (паров) через них. Сведения по данной теме необходимы для проведения расчетов по определению основных показателей любого массообменного процесса, являются основополагающими для курса и их изложение в различных источниках практически не отличается. 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. 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);

3. 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 следует обратить на взаимосвязь основных расчетных зависимостей между собой, способы определения коэффициента массоотдачи и основные закономерности, характеризующие массоперенос в различных средах. У разных авторов могут отличаться обозначения и промежуточные формы записи основных расчетных зависимостей, поэтому рекомендуется взять за основу сведения, представленные в лекционном курсе. Тема имеет большое практическое значение, так как по приведенным расчетным зависимостям и на основе изложенных закономерностей проводятся основные расчеты всех массообменных процессов химической технологии.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать уравнения по определению потока массы, переносимого молекулярной и конвективной диффузиями через газовые, жидкие и твердые фазы; знать основные положения моделей массопереноса и расчет коэффициента массоотдачи с их помощью.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. Сформулируйте первый закон Фика. Что он характеризует и для чего применяется?
2. В чем физический смысл коэффициента молекулярной диффузии?
3. Запишите уравнение массоотдачи. Что оно характеризует и для чего применяется?
4. В чем физический смысл коэффициента массоотдачи?
5. Какие модели массопереноса Вы знаете? Назовите их основные положения.
6. В чем особенности диффузии через непористые и капиллярно-пористые твердые тела?

Лекция 3. Математическое описание массообменных процессов

Основные вопросы темы: Основное уравнение массопередачи. Дифференциальные уравнения переноса массы. Подобие массообменных процессов.

Цель и задачи изучения темы: Изучить основные закономерности процессов сохранения, равновесия и переноса субстанций в химической технологии.

Требования к уровню подготовленности студента: Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии, а также знание материала двух первых лекций данного курса; общие закономерности математики, физики и химии.

Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата: Основные понятия данной темы – основное уравнение массопередачи и коэффициент массопередачи, критерии теории подобия массообмена. К важным понятиям относятся второй закон Фика, дифференциальные уравнения конвективной диффузии и массопроводности. Сведения по данной теме необходимы для проведения расчетов по определению основных показателей любого массообменного процесса, являются основополагающими для курса и их изложение в различных источниках практически не отличается. 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. 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);

3. 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 физический смысл основного уравнения массопередачи и коэффициента массопередачи, вывод дифференциальных уравнений массопереноса и их применимость в расчете параметров массообменных процессов, критерии подобия массообмена и их физический смысл, а также аналогию тепло- и массообменных процессов. У разных авторов могут отличаться обозначения и промежуточные формы записи основных расчетных зависимостей, вывод и формы записи дифференциальных уравнений, физический смысл и применимость критериев массообмена. Поэтому рекомендуется взять за основу сведения, представленные в лекционном курсе. Тема имеет большое практическое значение, так как по основному уравнению массопередачи и при помощи обобщенных уравнений, составленных из критериев подобия, проводятся основные расчеты всех массообменных процессов химической технологии.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать основное уравнение массопередачи и физический смысл коэффициента массопередачи; дифференциальные уравнения переноса массы; знать критерии массообмена и понимать их физический смысл.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. Запишите основное уравнение массопередачи. Что оно характеризует и для чего применяется?
2. В чем физический смысл коэффициента массопередачи?
3. Что называют коэффициентом распределения? Для чего он применяется и как определяется?
4. Запишите дифференциальные уравнения переноса массы. В чем их физический смысл?
5. Какими критериями характеризуется гидродинамическое подобие массообменных процессов? Назовите их физический смысл и запишите уравнения для расчета.
6. Какие диффузионные критерии подобия Вы знаете? Назовите их физический смысл и запишите уравнения для расчета.

Раздел 2. Массопередача в системах со свободной границей раздела фаз

Лекция 4. Абсорбция

Основные вопросы темы: Основные понятия и определения. Равновесие и кинетика абсорбции. Материальный баланс абсорбции. Тепловой баланс абсорбции. Закономерности десорбции.

Цель и задачи изучения темы: изучить физическую сущность, основные закономерности и расчетные зависимости абсорбции и десорбции.

Требования к уровню подготовленности студента: Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии, а также знание материала первого раздела данного курса; общие закономерности математики, физики и химии.

Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата: Основные понятия данной темы – физическая и химическая абсорбции, абсорбент, парциальное давление, закон Генри, закон Дальтона, растворимость газов в жидкостях, равновесие в системах «газ - жидкость», материальный баланс абсорбции при прямотоке и противотоке. К важным понятиям относятся газ-носитель, абсорбат, абсорбтив, абсорбер, константа фазового равновесия, коэффициент ускорения абсорбции, тепловой баланс абсорбции, способы десорбции, десорбент. Сведения по данной теме необходимы для понимания сути и основ массопереноса

в системах «газ-жидкость» на примере абсорбции, определения основных параметров, равновесия и кинетики массообмена в системах «газ-жидкость». Эти сведения широко представлены 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., испр. - 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 массообмена в системах «газ - жидкость», на растворимость газов в жидкостях, их зависимость от парциального давления и других факторов, применимость этого процесса для абсорбции и десорбции, а также на равновесие, кинетику, расчет материальных и тепловых балансов абсорбции. У разных авторов одинаковое изложение основ абсорбции и десорбции, но могут отличаться обозначения и промежуточные формы записи для расчетных зависимостей. Также может быть описание одних специфичных сведений, но отсутствовать описание других (например, способы десорбции и определение теплоты, выделяющейся при абсорбции). Тема имеет большое практическое значение, так как понимание сути абсорбции и равновесия в системе «газ - жидкость», знание основных расчетных зависимостей необходимо для проектирования и расчетов процессов и аппаратов для проведения массообмена в подобных системах.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать о растворимости газов в жидкостях и равновесии в системе «газ - жидкость», основных закономерностях абсорбции и десорбции, знать основные расчетные зависимости для расчета кинетики абсорбции, проведения расчетов по материальному и тепловому балансам.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. Что называют физической и химической абсорбциями? В чем отличие между ними?
2. Что является движущей силой абсорбции?
3. Какими законами регулируется кинетика абсорбции?
4. Запишите и объясните материальный баланс абсорбции.
5. Запишите и объясните тепловой баланс абсорбции.

6. Какими способами проводят десорбцию? В чем их отличия и когда они применяются?

Лекция 5. Перегонка и ректификация

Основные вопросы темы: Основные понятия и определения. Равновесие в системе «жидкость – пар». Материальный и тепловой балансы.

Цель и задачи изучения темы: изучить физическую сущность, основные закономерности и расчетные зависимости перегонки и ректификации.

Требования к уровню подготовленности студента: Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии, а также знание материала первого раздела данного курса; общие закономерности математики, физики и химии.

Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата: Основные понятия данной темы – перегонка, низкокипящие и высококипящие компоненты, дефлегмация, дистиллят, кубовый остаток, закон Рауля, закон Дальтона, простая перегонка, ректификация, равновесие в системах «жидкость - пар», материальные балансы перегонки и ректификации. К важным понятиям относятся дистиллят, кубовый остаток, флегма, перегонка под вакуумом и с водяным паром, экстрактивная и азеотропная ректификации, азеотропы, бинарные смеси, фазовые и равновесные диаграммы, флегмовое число. Сведения по данной теме необходимы для понимания сути и основ массопереноса в системах «жидкость - пар» на примере перегонки и ректификации, определения основных параметров, равновесия и кинетики массообмена в системах «жидкость-пар». Эти сведения широко представлены 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 стоит обратить на физическую сущность массообмена в системах «жидкость - пар», на взаиморастворимость жидкостей, принципы дефлегмации и применимость этих процессов для перегонки и ректификации, а также на равновесие, кинетику, расчет

материальных и тепловых балансов перегонки и ректификации. У разных авторов одинаковое изложение основ перегонки и ректификации, но могут отличаться обозначения и промежуточные формы записи для расчетных зависимостей. Также может быть описание одних специфических сведений, но отсутствовать описание других (например, азеотропная ректификация и расчеты по тепловым балансам). Тема имеет большое практическое значение, так как понимание сути рассматриваемых процессов и равновесия в системе «жидкость-пар» (наиболее часто применяемой в процессах химической технологии), знание основных расчетных зависимостей необходимо для проектирования и расчетов процессов и аппаратов для проведения массообмена в подобных системах.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать о взаиморастворимости жидкостей и равновесии в системе «жидкость - пар», основных закономерностях перегонки и ректификации, дефлегмации, знать основные расчетные зависимости для расчета кинетики рассматриваемых процессов, проведения расчетов по материальному и тепловому балансам.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. На чем основано разделение жидких смесей перегонкой и ректификацией? В чем отличие между ними?
2. Что называют дефлегмацией? С какой целью она проводится?
3. Как формулируются законы Рауля и Дальтона? В чем их физический смысл и для чего они применяются?
4. Как строят и для чего используют равновесные и фазовые диаграммы?
5. Запишите и объясните материальный баланс перегонки и ректификации.
6. Запишите и объясните тепловой баланс перегонки и ректификации.

Лекция 6. Жидкостная экстракция

Основные вопросы темы: Основные понятия и определения. Равновесие в системе «жидкость - жидкость». Материальный баланс жидкостной экстракции. Кинетика жидкостной экстракции.

Цель и задачи изучения темы: изучить физическую сущность, основные закономерности и расчетные зависимости жидкостной экстракции.

Требования к уровню подготовленности студента: Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии, а также знание материала первого раздела данного курса; общие закономерности математики, физики и химии.

Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата: Основные понятия данной темы – экстрагент, смешиваемость жидкостей, равновесие в системе «жидкость - жидкость», тройные диаграммы. К важным понятиям относятся экстракт, рафинат, ре-экстракция, диспергирование и коалесценция капель. Сведения по данной теме необходимы для понимания сути и основ массопереноса в системах «жидкость - жидкость» на примере жидкостной экстракции, определения основных параметров, равновесия и кинетики массообмена в системах «жидкость - жидкость». Эти сведения достаточно широко представлены 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. 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>).

Обзор по рекомендуемой литературе: Особое внимание при изучении литературы по тематике данной лекции стоит обратить на физическую сущность массообмена в системах «жидкость - жидкость», на смешиваемость жидкостей и применимость этого процесса для жидкостной экстракции, а также на равновесие, кинетику, расчет материальных и тепловых балансов жидкостной экстракции. У разных авторов одинаковое изложение основ жидкостной экстракции, но могут отличаться обозначения и промежуточные формы записи для расчетных зависимостей. Также может быть описание одних специфичных сведений, но отсутствовать описание других (например, описание работы с тройными диаграммами, кинетики и теплового баланса экстракции). Тема имеет большое практическое значение, так как понимание сути рассматриваемых процессов и равновесия в системе «жидкость - жидкость», знание основных расчетных зависимостей необходимо для проектирования и расчетов процессов и аппаратов для проведения массообмена в подобных системах.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать о смешиваемости жидкостей и равновесии в системе «жидкость - жидкость», основных закономерностях жидкостной экстракции, знать принципы работы с тройными диаграммами и основные расчетные зависимости для расчета кинетики рассматриваемых процессов, проведения расчетов по материальному балансу.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. На чем основано разделение жидких смесей экстракцией?
2. Чем определяется равновесие в системах «жидкость - жидкость»?
3. Как определяют состав жидких смесей по тройным диаграммам?
4. Запишите и объясните материальный баланс жидкостной экстракции.
5. Какими расчетными зависимостями определяется кинетика диффузии при малом размере капли?
6. Какими расчетными зависимостями определяется кинетика диффузии при достаточно крупном размере капли?

Раздел 3. Массообмен с участием твердой фазы

Лекция 7. Адсорбция и ионный обмен

Основные вопросы темы: Общие сведения об адсорбции и ионном обмене. Равновесие при адсорбции. Кинетика адсорбции.

Цель и задачи изучения темы: изучить физическую сущность, основные закономерности и расчетные зависимости жидкостной экстракции.

Требования к уровню подготовленности студента: Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии, а также знание материала первого раздела и лекции, посвященной абсорбции, данного курса; общие закономерности математики, физики и химии.

Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата: Основные понятия данной темы – физическая и химическая адсорбции, адсорбент, ионный обмен, ионит, уравнения Ленгмюра и Фрейндлиха, изотермы адсорбции, равновесие в системах «жидкость - твердое тело» и «газ (пар) - твердое тело», модель «адсорбционной волны», активность адсорбента, адсорбционная емкость, время защитного действия слоя адсорбента. К важным понятиям относятся газ-носитель, адсорбат, адсорбтив, противоионы, фиксированные группы, катионит, анионит, амфолит, «проскок». Сведения по данной теме необходимы для понимания сути и основ массопереноса в системах «жидкость - твердое тело» и «газ (пар) - твердое тело» на примере адсорбции, определения основных параметров, равновесия и кинетики массообмена в системах «жидкость - твердое тело» и «газ (пар) - твердое тело». Эти сведения достаточно широко представлены 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. 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>);

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 массообмена в системах «жидкость - твердое тело» и «газ (пар) - твердое тело», взаимосвязь адсорбции и абсорбции, физическую сущность ионного обмена и классификацию ионитов, изотермы адсорбции, а также на равновесие, кинетику, расчет материальных и тепловых балансов жидкостной экстракции. У разных авторов одинаковое изложение основ адсорбции и ионного обмена, но могут отличаться обозначения и промежуточные формы записи для расчетных зависимостей. Также может быть описание одних специфичных сведений, но отсутствовать описание других (например, описание изотерм адсорбции, кинетики адсорбции и особенностей кинетики ионного обмена). Тема имеет большое практическое значение, так как понимание сути рассматриваемых процессов и равновесия в системах «жидкость - твердое тело» и «газ - (пар) твердое тело», знание основных расчетных зависимостей необходимо для проектирования и расчетов процессов и аппаратов для проведения массообмена в подобных системах.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать о сущности адсорбции и ионного обмена, равновесии в системах «жидкость - твердое тело» и «газ (пар) - твердое тело», основных закономерностях адсорбции, знать основные расчетные зависимости для расчета кинетики рассматриваемых процессов.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. Что называют физической и химической адсорбциями? В чем отличие между ними?
2. Что называют ионным обменом? Приведите классификацию ионитов.
3. Как строят и для чего используют изотермы адсорбции?
4. Опишите кинетику адсорбции на примере модели «адсорбционной волны»?
5. Что такое активность адсорбента? Какими величинами она характеризуется?
6. Что такое время защитного действия слоя и адсорбционная емкость адсорбента?

Лекция 8. Сушка

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

Цель и задачи изучения темы: изучить физическую сущность, основные закономерности и расчетные зависимости сушки твердых материалов.

Требования к уровню подготовленности студента: Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии, а также знание материала первого раздела данного курса; общие закономерности математики, физики и химии.

Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата: Основные понятия данной темы – температура мокрого термометра, абсолютная и относительная влажности, формы связи влаги с материалом, кривая сушки, кривая нагрева, критическое и равновесное влагосодержание, материальный и тепловой балансы сушки. К важным понятиям относятся точка росы, диффузии влаги и пара, кривая скорости сушки, диаграмма энтальпия – влагосодержание (I-x диаграмма). Сведения по данной теме необходимы для понимания сути и основ массопереноса в сложных системах «твердое тело - жидкость - пар (газ)» на примере сушки, определения основных параметров, равновесия и кинетики массообмена в системах «твердое тело - жидкость - пар (газ)». Эти сведения широко представлены 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. 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>);

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 физическую сущность массообмена в системах «твердое тело - жидкость - пар (газ)», тепло- и массообменный характер сушки, и движущие силы процесса, диффузию влаги внутри твердых тел и применимость этого процесса для сушки, а также на равновесие, кинетику, расчет материальных и тепловых балансов сушки. У разных авторов одинаковое изложение основ сушки, но могут отличаться обозначения и промежуточные формы записи для расчетных зависимостей. Тема имеет большое практическое

значение, так как понимание сути рассматриваемых процессов и равновесия в системе «твердое тело - жидкость - пар (газ)» (происходит при сушке – одном из самых распространенных процессов химической технологии), знание основных расчетных зависимостей необходимо для проектирования и расчетов процессов и аппаратов для проведения массообмена в подобных системах.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать о движущих силах сушки, диффузии влаги внутри твердых тел и равновесии в системе «твердое тело - жидкость - пар (газ)», основных закономерностях сушки, знать принципы работы с диаграммой энтальпия - влагосодержание и основные расчетные зависимости для расчета кинетики рассматриваемых процессов, проведения расчетов по материальному и тепловому балансам.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. Какие понятия характеризуют влажность материала и воздуха?
3. Какие существуют формы связи влаги с материалом? Какие из них удаляются при сушке?
4. Из каких периодов состоит сушка? Чем они характеризуются?
5. Напишите и объясните материальный баланс сушки.
6. Напишите и объясните тепловой баланс сушки.

Лекция 9. Мембранные процессы

Основные вопросы темы: Основные понятия и определения. Классификация мембранных процессов. Физическая сущность мембранных процессов.

Цель и задачи изучения темы: изучить физическую сущность, основные закономерности и классификацию мембранных процессов

Требования к уровню подготовленности студента: Основные знания курса процессы и аппараты химической технологии, а также знание материала первого раздела данного курса; общие закономерности физики и химии.

Характеристика основного понятийно–терминологического аппарата: Основные понятия данной темы – мембрана, селективность, классификация мембранных процессов, концентрационная поляризация, кнудсеновская и свободная диффузии. К важным понятиям относятся пермеат, ретентат, проницаемость, лиофильность и лиофобность. Сведения по данной теме необходимы для понимания сути и основ массопереноса через полупроницаемые перегородки, которые широко применяются в процессах химической технологии. Эти сведения широко представлены 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. 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>);

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 физическую сущность массообмена через полупроницаемые перегородки, классификацию мембран и мембранных процессов, движущие силы мембранных процессов и особенности диффузии веществ через мембраны, а также на кинетику мембранных процессов. У разных авторов одинаковое изложение основ мембранных процессов, но могут быть более или менее полными классификация мембран и мембранных процессов. Также авторы зачастую применяют совершенно разные, иногда сложные для восприятия, теории сущности и кинетики мембранного процесса. В связи с этим рекомендуется основываться на сведениях, представленных в лекционном курсе. Тема имеет практическое значение, так как понимание сути и кинетики рассматриваемых процессов массопереноса через полупроницаемые перегородки, которые активно развиваются и все более широко применяются в химико-технологических процессах, необходимо для проектирования процессов и аппаратов для проведения массообмена в подобных системах.

Краткие выводы по итогам изучения темы: Студенту следует знать о сущности и классификации мембранных процессов, знать кинетику и движущие силы мембранных процессов, знать движущие силы мембранных процессов.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента:

1. В чем заключается разделение систем при помощи полупроницаемых перегородок?
2. Дайте характеристику диффузионно-мембранных и баромембранных процессов.
3. Дайте характеристику электро- и термомембранных процессов.
4. Что называют концентрационной поляризацией?
5. Опишите капиллярно-фильтрационную модель селективной проницаемости.
6. Опишите процесс диффузии газов и паров через мембраны.