

**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)**

УТВЕРЖДАЮ  
 Проректор  
 по учебно-методической работе



\_\_\_\_\_ А.А. Панфилов  
 « 06 » февраля 2015 г.

**Б1.Б.4**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАССОПЕРЕНОСА**

(наименование дисциплины)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ            18.04.01 «Химическая технология»

Профиль подготовки                Химическая технология переработки пластических масс  
 и композиционных материалов

Уровень высшего образования      магистратура

Форма обучения                        очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
1	4 / 144	18	18		72	экзамен (36 час)
Итого	4 / 144	18	18		72	экзамен (36 час)

Владимир 2015

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса «Теоретические основы массопереноса» состоит в формировании у студентов знаний и умений в области физической сущности, основных закономерностей и расчетных зависимостей основных массообменных процессов химической технологии, влиянии различных факторов на кинетику и основные параметры процессов со свободной границей раздела фаз и с участием твердой фазы.

Общими задачами дисциплины «Теоретические основы массопереноса» являются:

- получение знаний о видах распространения вещества внутри фаз и способах переноса вещества из одной фазы в другую;
- получение знаний об общих принципах и особенностях основных массообменных процессах химической технологии;
- приобретение практических навыков определения основных параметров и величин, характеризующих кинетику и эффективность массообменных процессов.

В результате изучения курса «Теоретические основы массопереноса» выпускник получает знания и навыки, необходимые для определения движущей силы и условий равновесия, расчета материальных и тепловых балансов основных массообменных процессов химической технологии, необходимые для проведения технологических расчетов этих процессов, выбора и расчета аппаратов для проведения этих процессов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Данный курс относится к дисциплинам базовой части блока «Дисциплины (модули)» учебного плана подготовки магистров по направлению 18.04.01 «Химическая технология». Дисциплина представляет собой взаимосвязь между общехимическими, общетехнологическими и профильными дисциплинами.

Курс основывается на основных законах физики, общей и физической химии. Его освоение невозможно без знания высшей математики. Знание данной дисциплины необходимо для глубокого усвоения курсов специальных технологических дисциплин, а также применения знаний курсов «Физика», «Общая и неорганическая химия», «Общая химическая технология», «Процессы и аппараты химической технологии» и других дисциплин, в основе которых лежат такие явления, как термохимические и фазовые превращения, процессы тепло- и массообмена, а также ряд других физических и химических явлений в гомогенных и гетерогенных системах.

Знания, полученные в данном курсе, необходимы для дальнейшего обучения по профильным дисциплинам и успешного прохождения практик, могут оказаться

полезными при выполнении научно-исследовательской работы и обработки ее результатов.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

#### **1) Знать:**

- основные закономерности фазового равновесия массообменных процессов (ОК-4, ОПК-4);
- основные закономерности молекулярной и конвективной диффузии (ОК-4, ОПК-4);
- основы теории подобия массообменных процессов (ОПК-4);
- общие закономерности и расчетные зависимости основных массообменных процессов (ОК-4, ОПК-4).

#### **2) Уметь:**

- определять движущую силу и среднюю движущую силу массообменных процессов (ОК-4, ОПК-4);
- рассчитывать тепловые и материальные балансы массообменных процессов (ОПК-4).

#### **3) Владеть:**

- методами построение фазовых диаграмм и диаграмм равновесия массообменных процессов (ОПК-4);
- методами расчета основных параметров массообменных процессов (ОПК-4).

Таким образом, изучение дисциплины способствует формированию у обучающегося следующих **компетенций**:

#### *Общекультурных:*

- способностью совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, получать знания в области современных проблем науки, техники и технологии, гуманитарных, социальных и экономических наук (ОК-4)

#### *Общепрофессиональных:*

- готовностью к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез (ОПК-4).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Общие сведения о массообмене	1	1-6	6	6				20	9/75	1-й рейтинг-контроль
2	Массопередача в системах со свободной границей раздела фаз	1	7-12	6	6				22	8/66,7	2-й рейтинг-контроль
3	Массообмен с участием твердой фазы	1	13-18	6	6				30	9/75	3-й рейтинг-контроль
<b>Итого за курс:</b>				18	18				72	26/72,2	экзамен (36 час.)

##### 4.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ КУРС

###### Раздел 1. Общие сведения о массообмене

*Лекция 1. Основные сведения о массообменных процессах.* Основные понятия и определения. Классификация массообменных процессов. Фазовое равновесие. Движущая сила массообмена.

*Лекция 2. Основные закономерности и расчетные зависимости.* Закономерности молекулярной диффузии. Закономерности конвективной диффузии. Модели массопереноса. Закономерности массопереноса с участием твердого тела.

*Лекция 3. Математическое описание массообменных процессов.* Основное уравнение массопередачи. Дифференциальные уравнения переноса массы. Подобие массообменных процессов.

## **Раздел 2. Массопередача в системах со свободной границей раздела фаз**

*Лекция 4. Абсорбция.* Основные понятия и определения. Равновесие и кинетика абсорбции. Материальный баланс абсорбции. Тепловой баланс абсорбции. Закономерности десорбции.

*Лекция 5. Перегонка и ректификация.* Основные понятия и определения. Равновесие в системе «жидкость – пар». Материальный и тепловой балансы.

*Лекция 6. Жидкостная экстракция.* Основные понятия и определения. Равновесие в системе «жидкость-жидкость». Материальный баланс жидкостной экстракции. Кинетика жидкостной экстракции.

## **Раздел 3. Массообмен с участием твердой фазы**

*Лекция 7. Адсорбция и ионный обмен.* Общие сведения об адсорбции и ионном обмене. Равновесие при адсорбции. Кинетика адсорбции.

*Лекция 8. Сушка.* Основные понятия и определения. Физическая сущность процесса. Кинетика сушки. Материальный баланс сушки. Тепловой баланс сушки.

*Лекция 9. Мембранные процессы.* Основные понятия и определения. Классификация мембранных процессов. Физическая сущность мембранных процессов.

### **4.2. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

*Практическое занятие 1.* Расчеты компонентного состава различных смесей;

*Практическое занятие 2.* Определение движущей силы и направления переноса вещества;

*Практическое занятие 3.* Расчет параметров процесса абсорбции;

*Практическое занятие 4.* Расчет параметров процессов перегонки и ректификации;

*Практическое занятие 5.* Расчет параметров процесса жидкостной экстракции;

*Практическое занятие 6.* Расчет параметров процесса адсорбции;

*Практическое занятие 7.* Расчет параметров процесса ионного обмена;

*Практическое занятие 8.* Расчет параметров процесса сушки;

*Практическое занятие 9.* Расчет параметров мембранных процессов.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Реализация компетентностного подхода в рамках преподавания дисциплины реализуется при помощи следующих образовательных технологий:

1. Информационно-развивающие технологии, направленные на создание необходимой для успешного изучения курса базы знаний. Заключаются в использовании мультимедийных технологий при чтении лекционного курса, что обеспечивает наглядность и

удобство усвоения информации. Кроме того, предполагается изучение части курса в виде самостоятельной работы с применением информационных технологий.

2. Практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений за счет установки междисциплинарных связей, при которых изучение дисциплины строится на основе ранее приобретенных знаний и умений, а полученные навыки необходим для дальнейшего обучения по программе подготовки. Также эти технологии применяются при проведении практических занятий, ориентированных на решение задач, связанных с практической деятельностью, предусмотренной программой подготовки.

3. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие навыков проблемного мышления. Заключается в постановке основных проблем тематики дисциплины на лекциях и практических занятиях, выборе тем для самостоятельного обучения и предполагает проведение открытых индивидуальных и коллективных дискуссий по совместному с преподавателем поиску оптимальных решений.

4. Личностно-ориентированные технологии, учитывающие индивидуальные особенности и способности каждого обучающегося для обеспечения успешного изучения дисциплины. Заключаются в индивидуальных беседах со студентами во время занятий, проверки и защиты индивидуальных заданий (задач и реферата), использовании балльно-рейтинговой системы оценки знаний обучающихся.

Большая часть занятий и образовательных технологий происходит в интерактивной форме, заключающемся в обмене информацией между преподавателем и студентами, совместному поиску путей решения практических задач и проблем, а также в возможности более детального совместного рассмотрения и актуализации вопросов, представляющих наибольший интерес для обучающихся в рамках тематики занятий.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **6.1. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РЕЙТИНГ-КОНТРОЛЮ**

#### **Рейтинг-контроль №1**

1. Основные понятия и определения массообменных процессов;
2. Классификация массообменных процессов;
3. Фазовое равновесие;
4. Движущая сила масообмена;
5. Закономерности молекулярной диффузии;

6. Закономерности конвективной диффузии;
7. Модели массопереноса;
8. Закономерности массопереноса с участием твердого тела;
9. Основное уравнение массопередачи;
10. Дифференциальные уравнения переноса массы;
11. Подобие массообменных процессов.

### **Рейтинг-контроль №2**

1. Основные понятия и определения абсорбции;
2. Равновесие и кинетика абсорбции;
3. Материальный баланс абсорбции;
4. Тепловой баланс абсорбции;
5. Закономерности десорбции;
6. Основные понятия и определения перегонки и ректификации;
7. Равновесие в системе «жидкость – пар»;
8. Материальный и тепловой балансы перегонки и ректификации;
9. Основные понятия и определения жидкостной экстракции;
10. Равновесие в системе «жидкость-жидкость»;
11. Материальный баланс жидкостной экстракции;
12. Кинетика жидкостной экстракции.

### **Рейтинг-контроль №3**

1. Общие сведения об адсорбции и ионном обмене;
2. Равновесие при адсорбции;
3. Кинетика адсорбции;
4. Основные понятия и определения сушки;
5. Физическая сущность процесса сушки;
6. Кинетика сушки;
7. Материальный баланс сушки;
8. Тепловой баланс сушки;
9. Основные понятия и определения мембранных процессов;
10. Классификация мембранных процессов;
11. Физическая сущность мембранных процессов.

## **6.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Самостоятельная работа студентов заключается в самостоятельном изучении вопросов, входящих в состав теоретического курса дисциплины, подготовке к практическим занятиям и решению задач на них, а также в подготовке к текущему контролю знаний и промежуточным аттестациям.

Самостоятельная работа студентов обеспечивается учебной литературой, доступной в библиотеке и электронным зале ВлГУ, Интернет-ресурсами, а также учебно-методическими комплексами, доступными на кафедре «Химические технологии».

Контроль за выполнением самостоятельной работы проводится по следующим вопросам:

### **Раздел 1. Общие сведения о массообмене**

- 1.1. Фазовые переходы второго рода;
- 1.2. Диаграммы фазового равновесия пар – жидкость для бинарной смеси с различной взаимной растворимых компонентов;
- 1.3. Диаграммы фазового равновесия пар – жидкость для тройных смесей;
- 1.4. Диаграммы фазового равновесия жидкость – твердое тело и газ - твердое;
- 1.5. Преобразование дифференциальных уравнений методами теории подобия для получения критериев.

### **Раздел 2. Массопередача в системах со свободной границей раздела фаз**

- 2.1. Абсорбция многокомпонентных смесей;
- 2.2. Молекулярная дистилляция;
- 2.3. Степень изменения концентрации при экстрагировании;
- 2.4. Противоточная экстракция с флегмой;
- 2.5. Экстрагирование двумя растворителями;
- 2.6. Регенерация экстрагентов;
- 2.7. Тепловой баланс жидкостной экстракции.

### **Раздел 3. Массообмен с участием твердой фазы**

- 3.1. Основные закономерности процесса растворения;
- 3.2. Основные закономерности процесса кристаллизации;
- 3.3. Основные закономерности процесса экстрагирования (выщелачивания);
- 3.4. Материальный баланс адсорбции;
- 3.5. Особенности кинетики ионного обмена;



- 3.6. Регенерация адсорбентов и ионитов;
- 3.7. Классификация мембран;
- 3.8. Регенерация мембран;
- 3.9. Факторы, влияющие на мембранные процессы.

### **6.3. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Основные понятия и определения массообменных процессов;
2. Классификация массообменных процессов;
3. Фазовое равновесие;
4. Движущая сила массообмена;
5. Закономерности молекулярной диффузии;
6. Закономерности конвективной диффузии;
7. Модели массопереноса;
8. Закономерности массопереноса с участием твердого тела;
9. Основное уравнение массопередачи;
10. Дифференциальные уравнения переноса массы;
11. Подобие массообменных процессов;
12. Основные понятия и определения абсорбции;
13. Равновесие и кинетика абсорбции;
14. Материальный баланс абсорбции;
15. Тепловой баланс абсорбции;
16. Закономерности десорбции;
17. Основные понятия и определения перегонки и ректификации;
18. Равновесие в системе «жидкость – пар»;
19. Материальный и тепловой балансы перегонки и ректификации;
20. Основные понятия и определения жидкостной экстракции;
21. Равновесие в системе «жидкость-жидкость»;
22. Материальный баланс жидкостной экстракции;
23. Кинетика жидкостной экстракции.
24. Общие сведения об адсорбции и ионном обмене;
25. Равновесие при адсорбции;
26. Кинетика адсорбции;
27. Основные понятия и определения сушки;
28. Физическая сущность процесса сушки;
29. Кинетика сушки;

30. Материальный баланс сушки;
31. Тепловой баланс сушки;
32. Основные понятия и определения мембранных процессов;
33. Классификация мембранных процессов;
34. Физическая сущность мембранных процессов.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **а) основная литература:**

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. 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. 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>).

### **б) дополнительная литература:**

1. 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));
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. 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>).

### **в) периодические издания:**

1. РЖ 78. Тепломассообмен, ВИНТИ РАН, г. Москва;

2. Инженерно-физический журнал, Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси, г. Минск;
3. Теоретические основы химической технологии, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва;
4. Химическая технология, ООО «Наука и технологии», г. Москва;
5. РЖ 19. Химия. 19И. Общие вопросы химической технологии, ООО «НТИ-Компакт», г. Москва;
6. Химия и химическая технология, Ташкентский химико-технологический институт, г. Ташкент;
7. Известия вузов. Химия и химическая технология, Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново.


**в) интернет-ресурсы:**

1. <http://www.itmo.by>
2. <http://www.fptl.ru/biblioteka/paht.html>
3. <http://alumni.pharminnotech.com/biblioteka/paht>

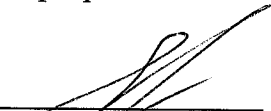
**8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

1. наборы слайдов для прочтения лекций;
2. специализированные мультимедийные аудитории (303а-1, 305б-1, 320-1);

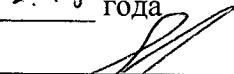
Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 18.04.01 «Химическая технология».

Рабочую программу составил  
доцент кафедры ХТ, к.т.н.  Е.С. Пикалов

Рецензент  
(представитель работодателя)  
ген. директор ООО «Альфасистемы»  Д.А. Потапов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ХТ  
Протокол № 6 от 5.02.15 года  
Заведующий кафедрой ХТ, д.т.н., профессор  Ю.Т. Панов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 18.04.01 «Химическая технология».

Протокол № 7 от 5.02.15 года  
Председатель комиссии  Ю.Т. Панов

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на 2016/17 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 5.09.16 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 2017/18 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 11.09.17 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 2018/19 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 3.09.18 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

на 2019/20 уч. год  
пр. № 10 от 1.07.19



**Рецензия**  
**на рабочую программу**  
по дисциплине «Теоретические основы массопереноса»  
доцента кафедры ХТ ВлГУ Пикалова Евгения Сергеевича

В представленной рабочей программе поставлены цели и задачи, достигаемые в результате освоения дисциплины и позволяющие студентам получить знания и навыки, необходимые для определения движущей силы и условий равновесия, расчета материальных и тепловых балансов основных массообменных процессов химической технологии, необходимые для проведения технологических расчетов этих процессов, выбора и расчета аппаратов для проведения этих процессов.

Предусмотренные цели и задачи направлены на формирование у обучающихся компетенций, соответствующих ФГОС ВО по направлению 18.04.01 «Химическая технология» и необходимых для присвоения им квалификации магистр по указанному направлению.

Для достижения поставленных автором целей и формирования выбранных им компетенций предусматривается проведение лекционных и практических аудиторных занятий, а также самостоятельная работа студентов, необходимая для закрепления и углубленного изучения тематического плана курса.

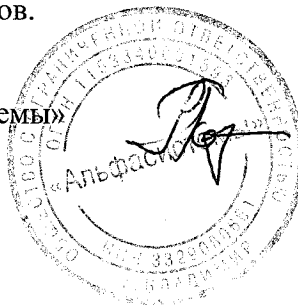
Представленные темы занятий и темы для самостоятельного обучения являются актуальными для данной дисциплины и соответствуют современному состоянию знаний и умений в области фазового равновесия, кинетики, закономерностей и расчетных зависимостей основных параметров для наиболее распространенных массообменных процессов химической технологии.

Приведенные в программе образовательные технологии и оценочные средства для текущего и итогового контроля позволяют в полной мере оценивать получаемые обучающимися знания и умения.

Учебно-методическое, информационное и материально-техническое обеспечение являются достаточными для успешного преподавания курса.

На основании изложенного считаю, что рабочая программа автора Пикалова Е.С. соответствует требованиям ФГОС ВО и позволяет обучающимся приобрести знания и умения, необходимые в дальнейшей профессиональной деятельности. Таким образом данная рабочая программа может быть использована при подготовке магистров по направлению 18.04.01 «Химическая технология» и профилю «Химическая технология переработки пластических масс и композиционных материалов».

Рецензент, ген. директор ООО «Альфасистемы»



Д.А. Потапов