

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

\_\_\_\_\_  
Руководитель ОПОП ВО  
профессор Н.К. Кондрашева

\_\_\_\_\_  
Проректор по образовательной  
деятельности доцент  
Д.Г. Петраков

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРОЦЕССЫ МАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ С УЧАСТИЕМ**  
**ТВЕРДОЙ ФАЗЫ**

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Уровень высшего образования:</b> | Магистратура                               |
| <b>Направление подготовки:</b>      | 18.04.01 Химическая технология             |
| <b>Направленность (профиль):</b>    | Химическая технология органических веществ |
| <b>Квалификация выпускника</b>      | магистр                                    |
| <b>Форма обучения:</b>              | очная                                      |
| <b>Составитель:</b>                 | доцент С.Н. Салтыкова                      |

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы» разработана:**

– в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология», утверждённого приказом Минобрнауки России № 910 от 07 августа 2020 г.;

– на основании учебного плана магистратуры по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология» направленность (профиль) «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Составитель: \_\_\_\_\_ доцент каф. ХТПЭ Салтыкова С.Н.

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена** на заседании кафедры химических технологий и переработки энергоносителей от 15 февраля 2021 г., протокол № 19.

Заведующая кафедрой ХТПЭ \_\_\_\_\_ Н.К. Кондрашева

**Рабочая программа согласована:**

Начальник отдела лицензирования,  
аккредитации и контроля качества  
образования \_\_\_\_\_ Ю.А. Дубровская

Начальник отдела методического  
обеспечения учебного процесса \_\_\_\_\_ к.т.н. А.Ю. Романчиков

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины «Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы» является овладение теоретическими основами массообменных процессов с участием твердой фазы; формирование знаний, умений для профессиональной деятельности; углубление знаний по основам массообменных процессов

Задачами дисциплины являются:

- подготовка магистров к творческому применению полученных знаний при создании новых и совершенствованию действующих технологических процессов.
- овладение вопросами массопереноса с участием твердой фазы;
- формирование знаний о механизмах и законах массообменных процессов; методах анализа, расчета и моделирования процессов массообмена.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология» и изучается в 3-ем семестре.

Предшествующими курсами на которых непосредственно базируется дисциплина «Процессы массопереноса с участием твердой фазы» являются «Механика дисперсных сред», «Дополнительные главы процессов и аппаратов», «Оптимизация химико-технологических процессов».

Особенностью дисциплины является овладение методами теоретического и экспериментального исследований в профессиональной деятельности.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы» направлен на формирование следующих компетенций:

| Формируемые компетенции по ФГОС ВО   |                 | Основные показатели освоения программы дисциплины  |
|--|-----------------|--|
| Содержание компетенции   | Код компетенции |  |
| Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты | ОПК-4           | ОПК-4.1. <b>Знает:</b> назначение, принцип действия и устройство аппаратов, используемых для проведения процессов; нормативные документы для разработки технической документации;  |
|  |                 | ОПК-4.2. <b>Умеет:</b> применять методики технологических и технических расчетов по проектам; проводить технико-экономический и функционально-стоимостный анализ эффективности проекта; выбирать оптимальные технологические режимы и наиболее рациональные типы аппаратов; обосновывать принятие конкретного аппаратурного и технического решения при разработке технологических процессов; |

| Формируемые компетенции по ФГОС ВО |                 | Основные показатели освоения программы дисциплины  |
|------------------------------------|-----------------|--|
| Содержание компетенции             | Код компетенции |  |
|                                    |                 | ОПК-4.3. Владеет: методами определения оптимальных технологических режимов работы оборудования; методиками технологических расчетов с применением современного программного обеспечения. |

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 ак. часов.

| Вид учебной работы   | Всего ак. часов | Ак. часы по семестрам |
|--|-----------------|-----------------------|
|  |                 | 3                     |
| <b>Аудиторные занятия, в том числе:</b>                    | <b>44</b>       | <b>44</b>             |
| Лекции   | 11              | 11                    |
| Практические занятия (ПЗ)                                  | 22              | 22                    |
| Лабораторные работы (ЛР)                                   | 11              | 11                    |
| <b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе</b> | <b>28</b>       | <b>28</b>             |
| Проработка конспекта лекций                                | 5               | 5                     |
| Выполнение заданий поисково-исследовательского характера   | 4               | 4                     |
| Подготовка к практическим занятиям                         | 8               | 8                     |
| Подготовка к лабораторным занятиям                         | 5               | 5                     |
| Подготовка к контрольной работе                            | 4               | 4                     |
| Подготовка к зачету  | 2               | 2                     |
| <b>Промежуточная аттестация – зачет (3)</b>                | <b>3</b>        | <b>3</b>              |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b>                       |                 |                       |
|  | <b>ак. час.</b> | <b>72</b>             |
|  | <b>зач. ед.</b> | <b>2</b>              |

##### 4.2. Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия, лабораторные работы и самостоятельная работа.

#### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

| Наименование разделов                               | Виды занятий    |           |                      |                     |                                 |
|---|-----------------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------------------|
|   | Всего ак. часов | Лекции    | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа студента |
| Раздел 1 «Общие сведения о массообменных процессах» | 182             | 2         | 4                    |                     | 4                               |
| Раздел 2 «Процесс массообмена между фазами»         | 68              | 2         | 4                    | 3                   | 6                               |
| Раздел 3 «Массообмен с участием твердой фазы»       | 74              | 3         | 4                    | 3                   | 6                               |
| Раздел 4 «Процессы адсорбции»                       |                 | 2         | 6                    | 3                   | 6                               |
| Раздел 5 «Процессы сушки»                           |                 | 2         | 4                    | 2                   | 6                               |
| <b>Итого:</b>                                       | <b>72</b>       | <b>11</b> | <b>22</b>            | <b>11</b>           | <b>28</b>                       |

#### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

| № п/п         | Наименование раздела дисциплины          | Содержание лекционных занятий   | Трудоемкость в ак. часах |
|---------------|--|---|--------------------------|
| 1             | Общие сведения о массообменных процессах | Способы выражения состава фаз. Весовой и молярный составы. Объемная концентрация. Парциальное давление компонентов газовых смесей. Относительный весовой состав. Равновесие между фазами. Материальный баланс процессов массообмена. Уравнение массопередачи.                                       | 2                        |
| 2             | Процесс массообмена между фазами         | Молекулярная диффузия. Конвективная диффузия. Связь коэффициентов массопередачи и коэффициентов массоотдачи.  | 2                        |
| 3             | Массообмен с участием твердой фазы       | Средняя движущая сила и методы расчета процессов массопередачи. Средняя логарифмическая движущая сила. Число единиц переноса. Определение числа единиц переноса. Определение высоты единицы переноса.   | 3                        |
| 4             | Процессы адсорбции                       | Теория адсорбции. Равновесие между фазами. Материальный баланс процесса адсорбции. Кинетика процесса. Устройство адсорбентов. Адсорберы с неподвижным зернистым адсорбентом. Адсорберы с движущимся зернистым адсорбентом. Адсорберы с кипящим слоем мелкозернистого адсорбента. Расчет адсорберов. | 2                        |
| 5             | Процессы сушки                           | Статика сушки. Материальный и тепловой балансы сушки. Кинетика сушки.   | 2                        |
| <b>Итого:</b> |  |   | <b>11</b>                |

#### 4.2.3. Практические занятия

| № п/п         | Разделы  | Тематика практических занятий   | Трудоёмкость в ак. часах |
|---------------|----------|---|--------------------------|
| 1             | Раздел 1 | Способы выражения состава фаз. Материальный баланс процесса массообмена. Определение коэффициента массопередачи.                    | 4                        |
| 2             | Раздел 2 | Молекулярная диффузия. Связь коэффициентов массопередачи и коэффициентов массоотдачи.   | 4                        |
| 3             | Раздел 3 | Определение числа единиц переноса. Определение высоты единицы переноса.   | 4                        |
| 4             | Раздел 4 | Кинетика адсорбции. Расчет адсорберов с неподвижным зернистым слоем адсорбентов.  | 6                        |
| 5             | Раздел 5 | Материальный баланс процесса сушки. Тепловой баланс процесса сушки. Кинетика сушки. Расчет сушилок. Расчет сушилок с кипящим слоем. | 4                        |
| <b>Итого:</b> |          |   | <b>22</b>                |

#### 4.2.4. Лабораторные работы

| № п/п         | Разделы  | Тематика лабораторных занятий   | Трудоёмкость в ак. часах |
|---------------|----------|---|--------------------------|
| 1             | Раздел 2 | Исследование процесса псевдооживления   | 3                        |
| 2             | Раздел 3 | Исследование процесса сушки материалов в динамических средах (в псевдооживленном слое)» | 3                        |
| 3             | Раздел 4 | Изучение процесса адсорбции   | 3                        |
| 4             | Раздел 5 | Изучение влияния способов нагрева на процесс сушки материалов                           | 2                        |
| <b>Итого:</b> |          |   | <b>11</b>                |

#### 4.2.5. Курсовые работы (проекты)

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся. Цели лекционных занятий:

-дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;

-стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

-совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

**Темы контрольных работ:**

1. Способы выражения состава фаз.
2. Средняя движущая сила и методы расчета процессов массопередачи.
3. Материальный баланс процесса адсорбции.

**6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**6.1. Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости**

**Раздел 1. Общие сведения о массообменных процессах**

1. Способы выражения состава фаз.
2. Весовой и молярный составы.
3. Объемная концентрация.
4. Парциальное давление компонентов газовых смесей.
5. Относительный весовой состав.
6. Равновесие между фазами.
7. Материальный баланс процессов массообмена.
8. Уравнение массопередачи

**Раздел 2. Процесс массообмена между фазами**

1. Молекулярная диффузия.
2. Конвективная диффузия.
3. Связь коэффициентов массопередачи и коэффициентов массоотдачи.

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

1. Средняя движущая сила и методы расчета процессов массопередачи.
2. Средняя логарифмическая движущая сила.
3. Число единиц переноса.
4. Определение числа единиц переноса.
5. Определение высоты единицы переноса.

**Раздел 4. Процессы адсорбции**

1. Теория адсорбции.
2. Равновесие между фазами.
3. Материальный баланс процесса адсорбции.
4. Кинетика процесса.
5. Устройство адсорбентов.
6. Адсорберы с неподвижным зернистым адсорбентом.
7. Адсорберы с движущимся зернистым адсорбентом.
8. Адсорберы с кипящим слоем мелкозернистого адсорбента.
9. Расчет адсорберов.

**Раздел 5. Процессы сушки**

1. Статика сушки.
2. Материальный и тепловой балансы сушки.
3. Кинетика сушки.

**6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (зачета)**

**6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий к зачету (по дисциплине):**

1. Основы массопередачи в системах со свободной границей раздела фаз.

2. Молекулярная диффузия.
3. Конвекция и массоотдача.
4. Дифференциальные уравнения переноса массы.
5. Подобие массообменных процессов.
6. Движущая сила массообменных процессов.
7. Массообмен между жидкостью (газом или паром) и твердым телом.
8. Массоперенос во внешней фазе.
9. Массообмен с участием твердой фазы.
10. Связь коэффициента массопередачи и массоотдачи.
11. Средняя движущая сила и методы расчета процессов массопередачи.
12. Физические свойства влажного газа.
13. Материальный и тепловой баланс конвективной сушки.
14. Массоперенос при сушке.
15. Продолжительность сушки.
16. Сушка топочными газами.
17. Специальные виды сушки.
18. Растворение и экстрагирование в системе твердое тело-жидкость.
19. Экстрагирование растворенного вещества
20. Экстрагирование твердого вещества.
21. Физико-химические основы мембранных процессов.
22. Баромембранные процессы.
23. Диффузионно-мембранные процессы.
24. Термомембранные процессы.
25. Расчет мембранных процессов и аппаратов.
26. Мембранные аппараты.
27. Методы очистки мембран.
28. Массообмен с участием твердой фазы.
29. Связь коэффициента массопередачи и массоотдачи.
30. Средняя движущая сила и методы расчета процессов массопередачи.
31. Массоперенос во внешней фазе.

### 6.2.2. Примерные тестовые задания к зачету

#### Вариант № 1

| № п/п | Вопрос  | Варианты ответа   |
|-------|---|---|
| 1     | 2   | 3   |
| 1.    | Теплообменный процесс, в результате которого конденсация составляющих пара происходит раздельно, называется ...       | 1. абсорбция<br>2. адсорбция<br>3. ректификация<br>4. экстракция  |
| 2.    | Адсорбцией называется ...   | 1. поглощение газа жидкостью<br>2. поглощение газа твердым сорбентом<br>3. процесс без катализатора<br>4. процесс с твердым катализатором |
| 3.    | Твердые тела или жидкости, избирательно поглощающие из окружающей среды газы, пары, растворенные вещества, называются | 1. адгезией<br>2. адсорбентами<br>3. сорбентами<br>4. токсикантами  |
| 4.    | Критерий Нуссельта характеризует ...  | 1. отношение полей скоростей и температур в потоке<br>2. изменение потока теплоты во времени  |



| № п/п | Вопрос  | Варианты ответа  |
|-------|---|--|
| 1     | 2   | 3  |
|       |   | 3. массопередачу<br>4. интенсивность переноса теплоты на границе «поток-стенка»  |
| 5.    | Процесс переноса вещества от границы раздела фаз в основную массу потока называется ...                               | 1. турбулентной диффузией<br>2. конвективной диффузией<br>3. массоотдачей<br>4. массопередачей   |
| 6.    | Характеризует скорость переноса вещества внутри фазы конвекцией и молекулярной диффузией одновременно коэффициент ... | 1. массоотдачи<br>2. диффузии<br>3. массопередачи<br>4. распределения  |
| 7.    | Для проведения процесса абсорбции требуется ...   | 1. снижать давление<br>2. повышать температуру<br>3. повышать температуру и снижать давление<br>4. снижать температуру   |
| 8.    | Недостатком распылительного экстрактора является ...  | 1. низкая производительность<br>2. высокий расход энергии<br>3. сложность конструкции<br>4. низкая интенсивность массопередачи                                       |
| 9.    | Для проведения гетерогенных реакций в жидкой фазе используют ...  | 1. трубчатые реакторы с мешалками<br>2. реакторы<br>3. реакторы с псевдоожиженным слоем катализатора<br>4. трубчатые печи  |
| 10.   | Движущей силой процесса выпаривания является разность температур ...  | 1. греющего пара и раствора<br>2. кипения раствора по высоте кипяточных труб<br>3. греющего пара и вторичного пара<br>4. в сепараторе и барометрическом конденсаторе |
| 11.   | Для достижения низких температур в промышленности применяется ...   | 1. нагревание газа<br>2. дросселирование газа<br>3. испарение сжиженных газов<br>4. охлаждение газа  |
| 12.   | Адсорбцией называется ...   | 1. поглощение газа жидкостью<br>2. поглощение газа твердым сорбентом<br>3. процесс без катализатора<br>4. процесс с твердым катализатором                            |
| 13.   | Твердые тела или жидкости, избирательно поглощающие из окружающей среды газы, пары, растворенные вещества, называются | 1. адгезией<br>2. адсорбентами<br>3. сорбентами<br>4. токсикантами   |
| 14.   | Химическое равновесие характеризуется ...   | 1. минимальным значением энтропии<br>2. отсутствием химического взаимодействия<br>3. равенством скоростей прямой и обратной реакции                                  |

| № п/п | Вопрос   | Варианты ответа  |
|-------|--|--|
| 1     | 2  | 3  |
|       |  | 4.максимальным значением энтропии  |
| 15.   | Процесс многократного испарения и конденсации, когда смесь разделяется на 2 и более компонентов называется ... | 1.ректификацией<br>2.обратным осмосом<br>3. кристаллизацией<br>4. экстракцией  |
| 16.   | Движущей силой процесса теплопередачи является разность температур ...   | 1. на входе в теплообменник<br>2. на выходе из теплообменника<br>3. горячего и холодного теплоносителей<br>4. теплоносителя и стенки |
| 17.   | Мерой интенсивности изменения температуры в различных точках температурного поля является ...                  | 1. температурный градиент<br>2. удельная теплоемкость<br>3. плотность теплового потока<br>4. температурный напор                     |
| 18.   | Процесс переноса вещества от границы раздела фаз в основную массу потока называется ...                        | 1. турбулентной диффузией<br>2. конвективной диффузией<br>3. массоотдачей<br>4. массопередачей                                       |
| 19.   | Процессы ректификации, абсорбции, экстракции относятся к   | 1. тепловым<br>2. обогатительным<br>3. массообменным<br>4. химическим  |
| 20.   | Для смешения и разделения потоков применяют  | 1. гидромеханические процессы<br>2. тепловые процессы<br>3. химические процессы<br>4. инерционные процессы                           |

#### Вариант № 2

| № п/п | Вопрос  | Варианты ответа  |
|-------|---|--|
| 1     | 2   | 3  |
| 1.    | Важной характеристикой адсорбентов является   | 1. загрузка материала<br>2. скорость подачи раствора<br>3. высота<br>4. поглотительная способность   |
| 2.    | Расчет процесса адсорбции в неподвижном слое сводится                               | 1. к определению температуры процесса<br>2. к определению толщины слоя<br>3. к определению времени процесса<br>4. к определению скорости подачи раствора |
| 3.    | Остаточный исходный раствор в экстрагенте называется                                | 1. дистиллятом<br>2. рафинатом<br>3. концентратом<br>4. флегмой  |
| 4.    | Процесс перегонки смесей основан на том, что жидкости, составляющие смесь, обладают | 1. различной летучестью<br>2. различной плотностью<br>3. различной температурой<br>4. одинаковой плотностью  |
| 5.    | Селективность процесса – это ...  | 1. выход конечного продукта<br>2. отношение массы компонента к   |

| № п/п | Вопрос  | Варианты ответа   |
|-------|---|---|
| 1     | 2   | 3   |
|       |   | <p>объему смеси</p> <p>3. соотношение массы компонента и общей массы смеси</p> <p>4. степень превращения исходного сырья</p>  |
| 6.    | Применение катализатора в процессе химической реакции ...   | <p>1. способствует снижению энергии активации</p> <p>2. изменяет тепловой эффект реакции</p> <p>3. смещает равновесие реакции в сторону разложения продуктов реакции</p> <p>4. смещает равновесие реакции в сторону образования продуктов реакции</p> |
| 7.    | Для подвода тепла вниз ректификационной колонны применяют ...   | <p>1. конденсаторы</p> <p>2. кипятильники</p> <p>3. теплообменники с плавающей головкой</p> <p>4. теплообменники с U-образными трубами</p>  |
| 8.    | Критерий Нуссельта характеризует ...  | <p>1. отношение полей скоростей и температур в потоке</p> <p>2. изменение потока теплоты во времени</p> <p>3. массопередачу</p> <p>4. интенсивность переноса теплоты на границе «поток-стенка»</p>  |
| 9.    | Преимуществом абсорбера с ситчатыми тарелками перед насадочным является ...                                 | <p>1. простота устройства</p> <p>2. осуществимость отвода тепла</p> <p>3. низкое гидравлическое сопротивление</p> <p>4. возможность работы с загрязненными средами</p>  |
| 10.   | $l = (Y_1 - Y_2) / (X_1 - X_2)$ кг/кг это   | <p>1. критерий Прандтля</p> <p>2. количество компонента, перешедшего из фазы G</p> <p>3. критерием подобия</p> <p>4. соотношение между количествами носителя в обеих фазах</p>  |
| 11.   | При работе многокорпусной выпарной установки первый корпус работает   | <p>1. под избыточным давлением</p> <p>2. под атмосферным давлением</p> <p>3. под разрежением</p> <p>4. под давлением в 2 ат</p>   |
| 12.   | Объем жидкости, проходящей через единицу площади поперечного сечения колонны за единицу времени, называется | <p>1. плотностью орошения</p> <p>2. степенью извлечения</p> <p>3. скоростью потока</p> <p>4. удельным объемом</p>   |
| 13.   | $M = G \cdot (Y_1 - Y_2)$ кг/с  | <p>1. количество компонента, перешедшего из фазы L</p> <p>2. количество полученного осадка</p> <p>3. количество компонента, растворенного</p>   |

| № п/п | Вопрос   | Варианты ответа   |
|-------|--|---|
| 1     | 2  | 3   |
|       |  | в фазе G<br>4. количество компонента, перешедшего из фазы G   |
| 14.   | $M = L \cdot (X_1 - X_2)$ кг/с   | 1. количество компонента, перешедшего из фазы G<br>2. количество полученного осадка<br>3. количество компонента, растворенного в фазе G<br>4. количество компонента, перешедшего в фазу L |
| 15.   | Состав двойной смеси можно выразить  | 1. через закон сплошности<br>2. через закон Ньютона<br>3. через объемы смеси<br>4. через отношение массы распределяемого компонента к массе носителя                                      |
| 16.   | Зависимость между неравновесными составами фаз в любом сечении аппарата выражается | 1. уравнение двойной линии<br>2. законом всасывания<br>3. законом текучести<br>4. уравнением рабочей линии  |
| 17.   | Скорость перехода вещества пропорциональна   | 1. закону сплошности<br>2. закону всасывания<br>3. кинематической вязкости<br>4. степени отклонения от состояния равновесия   |
| 18.   | Для повышения концентрации растворов применяют                                     | 1. вентиляторы<br>2. процесс кристаллизации<br>3. процесс выпаривания<br>4. процесс перемешивания   |
| 19.   | Пространство, в котором вторичный пар отделяется от раствора, называется           | 1. конденсатором<br>2. отстойником<br>3. газогенератором<br>4. сепаратором  |
| 20.   | Избирательное поглощение газов или паров жидким поглотителем называется            | 1. десорбцией<br>2. экстракцией<br>3. регенерацией<br>4. абсорбцией   |

### Вариант № 3

| № п/п | Вопрос   | Варианты ответа  |
|-------|--|--|
| 1     | 2  | 3  |
| 1.    | Процесс перехода вещества из одной жидкой фазы в другую называется : | 1. экстракцией<br>2. ректификацией<br>3. регенерацией<br>4. абсорбцией |

| № п/п | Вопрос   | Варианты ответа  |
|-------|--|--|
| 1     | 2  | 3  |
| 2.    | Процесс, включающий переход вещества из жидкой фазы в паровую и из паровой в жидкую называется                                   | 1. ректификацией<br>2. регенерацией<br>3. экстракцией<br>4. десорбцией   |
| 3.    | Переход вещества из газовой, паровой или жидкой фаз в пористый материал называется   | 1. адсорбцией<br>2. экстракцией<br>3. регенерацией<br>4. обменом   |
| 4.    | Массообменные процессы являются  | 1. обратимыми<br>2. необратимыми<br>3. сплошными<br>4. прерывистыми  |
| 5.    | Перед расчетом сечений для прохода теплоносителей  | 1. определяются с расходом подаваемой жидкости<br>2. выбирают скорости их движения и диаметры труб<br>3. выбирают тип материала труб<br>4. определяют шероховатость труб |
| 6.    | Отношение числа молей компонента данной фазы к общему числу молей в этой фазе называется   | 1. массовой долей<br>2. объемной долей<br>3. молярной долей<br>4. плотностью   |
| 7.    | Процесс перегонки смесей основан на том, что жидкости, составляющие смесь, обладают  | 1. различной летучестью<br>2. различной плотностью<br>3. различной температурой<br>4. одинаковой плотностью  |
| 8.    | Расчет процесса адсорбции в неподвижном слое сводится  | 1. к определению температуры процесса<br>2. к определению толщины слоя<br>3. к определению времени процесса<br>4. к определению скорости подачи раствора                 |
| 9.    | Раствор извлеченного компонента в экстрагенте называется   | 1. остатком<br>2. экстрактом<br>3. флегмой<br>4. дистиллятом   |
| 10.   | Остаточный исходный раствор в экстрагенте называется   | 1. дистиллятом<br>2. рафинатом<br>3. концентратом<br>4. флегмой  |
| 11.   | Отношение равновесного содержания целевого компонента в экстракте к равновесному содержанию этого компонента в рафинате называют | 1. коэффициентом распределения<br>2. коэффициентом равновесия<br>3. степенью извлечения<br>4. степенью устойчивости  |
| 12.   | Об экстракционной способности растворителя судят по величине   | 1. степени устойчивости<br>2. степени извлечения   |

| № п/п | Вопрос  | Варианты ответа  |
|-------|---|--|
| 1     | 2   | 3  |
|       |   | 3. коэффициента распределения<br>4. коэффициента равновесия  |
| 13.   | Максимально возможную при данных условиях адсорбционную способность адсорбента называют | 1. скоростью растворения<br>2. коэффициентом равновесия<br>3. равновесной активностью<br>4. интервалом подачи раствора   |
| 14.   | Важной характеристикой адсорбентов является   | 1. загрузка материала<br>2. скорость подачи раствора<br>3. диаметр<br>4. поглотительная способность  |
| 15.   | Вещество, извлекающее целевой компонент из исходного раствора, называется               | 1. концентратом<br>2. экстрагентом<br>3. дистиллатом<br>4. рафинатом   |
| 16.   | Отношение парциального давления компонента к полному давлению равно                     | 1. массовой доле компонента в смеси<br>2. удельному объему компонента в смеси<br>3. летучести смеси<br>4. объемной доле компонента в смеси   |
| 17.   | Обогрев выпарного аппарата чаще всего осуществляют                                      | 1. через регенератор<br>2. через рекуператор<br>3. через рубашку<br>4. с помощью жидкости  |
| 18.   | Сумма объемных концентраций всех компонентов смеси равна                                | 1. плотности смеси<br>2. весу смеси<br>3. объему смеси<br>4. мольной доли смеси  |
| 19.   | Полное давление газовой смеси равно   | 1. сумме парциальных давлений компонентов<br>2. разности парциальных давлений компонентов<br>3. произведению парциальных давлений компонентов<br>4. массе компонентов смеси  |
| 20.   | При непрерывных процессах   | 1. количество передаваемого тепла выражается в ккал<br>2. количество передаваемого тепла выражается в ккал/град<br>3. количество передаваемого тепла выражается в Вт<br>4. количество передаваемого тепла выражается через массовую долю |

### 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

#### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации (зачет)

| Оценка  | Описание   |
|---------|--|
| Зачтено | Посещение более 50 % лекционных, практических и лабораторных занятий; студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает |

|                   |  |
|-------------------|--|
|                   | его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; все предусмотренные программой обучения задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое; в течение семестра выполнил творческую работу.   |
| <b>Не зачтено</b> | Посещение менее 50 % лекционных, практических и лабораторных занятий; студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы; большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному. |

**Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:**

| <b>Количество правильных ответов, %</b> | <b>Оценка</b> |
|---|---------------|
| 0-49                                    | Не зачтено    |
| 50-65                                   | Зачтено       |
| 66-85                                   | Зачтено       |
| 86-100                                  | Зачтено       |

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

1. Коршиков В.Д. Моделирование процессов тепло- и массопереноса [Электронный ресурс]/ Коршиков В.Д., Бянкин И.Г.— Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014.— 84 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=55643>.

2. Разинов А.И. Процессы массопереноса с участием твердой фазы [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Разинов А.И., Суханов П.П.— Электрон. текстовые данные.— Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012.— 96 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=62144>.— «БИБЛИОКОМПЛЕКТАТОР», по паролю

3. Логинов, В.С. Примеры и задачи по тепломассообмену [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Логинов, А.В. Крайнов, В.Е. Юхнов, Д.В. Феоктистов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93718>. — Загл. с экрана.

4. Васильев, В.Н. Технология сушки. Основы тепло- и массопереноса [Электронный ресурс]: учебник / В.Н. Васильев, В.Е. Куцакова, С.В. Фролов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: ГИОРД, 2013. — 224 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/58745>. — Загл. с экрана.

5. Дерюгин, В.В. Тепломассообмен [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.В. Дерюгин, В.Ф. Васильев, В.М. Уляшева. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 240 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/107285>. — Загл. с экрана.

#### 7.1.2. Дополнительная литература

1. Гумеров, А.М. Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.М. Гумеров. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 176 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/41014>.

2. Симоненко, З.Г. Разработка информационно-измерительной системы неразрушающего контроля параметров массопереноса в жидкой бинарной среде с границей раздела [Электронный ресурс]: учебное пособие / З.Г. Симоненко, В.Л. Ткалич. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2006. — 120 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/43617>. — Загл. с экрана

3. Багдасаров, Х.С. Тепло- и массоперенос при выращивании монокристаллов направленной кристаллизацией [Электронный ресурс] / Х.С. Багдасаров, Л.А. Горяинов. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2007. — 221 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48245>. — Загл. с экрана.

4. Козлов, В.Г. Тепломассообмен [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / В.Г. Козлов. — Электрон. дан. — Москва: ТУСУР, 2012. — 15 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/10863>. — Загл. с экрана.

### **7.1.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента**

1. Григорьев Б.А., Тепломассообмен [Электронный ресурс] : учебник / Григорьев Б.А., Цветков Ф.Ф.. — Электрон. дан. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2011. — 562 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72294>. — Загл. с экрана.

## **7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Европейская цифровая библиотека European: <http://www.europeana.eu/portal/>
2. Мировая цифровая библиотека: <http://www.wdl.org/ru/>
3. Свободная энциклопедия «Википедия»: <http://ru.wikipedia.org/>
4. Словари и энциклопедии на «Академике»: <http://dic.academic.ru/>
5. Электронная библиотека учебников: <http://student.net/>
6. Электронная библиотека IQlib: <http://www.iqlib.ru/>
7. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://www.rsl.ru/>
8. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:**

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Лаборатории оснащены химическим оборудованием, реактивами и лабораторными установками, необходимыми для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория тепловой работы печей и аппаратов переработки природных энергоносителей».

#### **Аудитории для проведения лекционных занятий.**

Оснащенность: стол- 19 шт., стул-38 шт., доска белая маркерная Magnetoplan С 2000x1000 мм.

Компьютерная техника: интерактивный сенсорный LCD – экран iiyama ProLite PL8603U.

#### **Аудитории для проведения практических занятий.**

Оснащенность: стол- 8 шт., стул-16 шт., доска белая маркерная Magnetoplan С 2000x1000 мм.

Компьютерная техника: Моноблок Dell OptiPlex 7470 All-in-One CTO 23.8” FHD DDR4 16 ГБ – 16 шт.

#### **Аудитории для проведения лабораторных занятий.**

Оснащенность: стол- 8 шт., стул-16 шт., доска белая маркерная Magnetoplan С 2000x1000 мм.

Лаборатории оснащены химическим оборудованием, реактивами и лабораторными установками, необходимыми для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория тепловой работы печей и аппаратов переработки природных энергоносителей».

### **8.2. Помещения для самостоятельной работы:**

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт.,



стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 2 шт., стул – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

### **8.4. Лицензионное программное обеспечение:**

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 « На поставку компьютерной техники»)

2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007)

3. Microsoft Office 2007 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 46082032 от 30.10.2009, договор бессрочный Microsoft Open License 46822807 от 22.12.2009, договор бессрочный Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 45207312 от 03.03.2009)

4. MySQL Workbench v. 6.3.9 (лицензия свободная GNU GPL).

5. PHP 7.1.7 ( лицензия на свободное программное обеспечение, под которой выпущен язык программирования PHP, одобрена OSI)

6. Apache 2.4.27 (свободный кроссплатформенный Web-сервер, лицензия на свободное программное обеспечение Apache Software Foundation).

7. Python (свободное распространяемое ПО)