



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
А.С. Савинов

09.02.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***МАССО- И ТЕПЛОПЕРЕНОС В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ***

Направление подготовки (специальность)  
22.04.02 Metallургия

Направленность (профиль/специализация) программы  
Химические технологии энергоносителей в металлургии

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалобработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	1
Семестр	1

Магнитогорск  
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия (приказ Минобрнауки России от 24.04.2018 г. № 308)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Metallургии и химических технологий

08.02.2023, протокол № 5


Зав. кафедрой  А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ


09.02.2023 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры МиХТ, канд. техн. наук  М.В.Шубина

Рецензент:

доцент кафедры Химии, канд. техн. наук  Л.Г.Коляда

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

- формирование у студентов понятийного аппарата и углублённых знаний по массо- и теплопереносу между твёрдой фазой и газообразными и жидкими реагентами в гранулированных системах химических и металлургических процессов.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Массо- и теплоперенос в гетерогенных системах входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Базовые знания по физике, химии, физической химии, термодинамике, металлургическим процессам в объеме подготовки бакалавра по техническим направлениям.

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Системы управления химико-технологическими процессами

Применение топлива в металлургическом процессе

Улавливание, переработка и использование промышленных газов

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Массо- и теплоперенос в гетерогенных системах» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области металлургии
ОПК-1.1	Решает профессиональные задачи в области металлургии и процессов металлообработки, используя фундаментальные знания
ОПК-1.2	Владеет способами и приемами решения исследовательских задач в предметной области металлургии и металлообработки
ОПК-1.3	Применяет фундаментальные междисциплинарные знания для решения задач в профессиональной деятельности

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 51,1 акад. часов;
- аудиторная – 48 акад. часов;
- внеаудиторная – 3,1 акад. часов;
- самостоятельная работа – 57,2 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Раздел 1								
1.1 Теплоперенос в гетерогенных системах. Общая характеристика теплообмена.	1	1		1	5	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка презентации	Устный опрос – беседа, семинар – дискуссия, презентация по литературным источникам	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		1		1	5			
2. Раздел 2								
2.1 Теплопроводность. Тепловое излучение. Конвективный теплообмен.	1	1		1	8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка презентации	Устный опрос – беседа, семинар – дискуссия, презентация по литературным источникам	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		1		1	8			
3. Раздел 3								
3.1 Тепловое подобие. Критериальные уравнения.	1	2		6	10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, выполнение индивидуального задания	Устный опрос – беседа, семинар – дискуссия, проверка выполнения индивидуального задания	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		2		6	10			
4. Раздел 4								

4.1 Теплообмен в слое.	1	4		8	12	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение индивидуального задания	Устный опрос – беседа, семинар – дискуссия. Проверка индивидуального задания.	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		4		8	12			
5. Раздел 5								
5.1 Массоперенос. Общие закономерности массопереноса в гетерогенных системах.	1	2		2	4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение индивидуального задания	Устный опрос – беседа, семинар – дискуссия. Проверка индивидуального задания.	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		2		2	4			
6. Раздел 6								
6.1 Сушка. Тепло- и массообмен при сушке.	1	2		10	10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Выполнение индивидуального задания	Устный опрос – беседа, семинар – дискуссия. Проверка индивидуального задания.	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		2		10	10			
7. Раздел 7								
7.1 Экстракция из твердых тел (выщелачивание).	1	2		2	4	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка презентации	Устный опрос – беседа, семинар – дискуссия, презентация по литературным источникам	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		2		2	4			
8. Раздел 8								
8.1 Адсорбция. Десорбция.	1	2		2	4,2	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы, подготовка презентации	Устный опрос – беседа, семинар – дискуссия, презентация по литературным источникам	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		2		2	4,2			
Итого за семестр		16		32	57,2		экзамен	
Итого по дисциплине		16		32	57,2		экзамен	

## **5 Образовательные технологии**

1) Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения). Учебная деятельность студента носит в таких условиях, как правило, репродуктивный характер. Формы учебных занятий:

- Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя).

- На практическом занятии семинар – беседа преподавателя и студентов, обсуждение заранее подготовленных сообщений по каждому вопросу плана занятия с единым для всех перечнем рекомендуемой обязательной и дополнительной литературы.

- Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

2) Интерактивные технологии – организация образовательного процесса, которая предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников, достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Наряду со специализированными технологиями такого рода принцип интерактивности прослеживается в большинстве современных образовательных технологий. Интерактивность подразумевает субъект-субъектные отношения в ходе образовательного процесса и, как следствие, формирование саморазвивающейся информационно-ресурсной среды. Формы учебных занятий:

- Семинар-дискуссия (на практических занятиях) – коллективное обсуждение какого-либо спорного вопроса, проблемы, выявление мнений в группе (межгрупповой диалог, дискуссия как спор-диалог).

3) Информационно-коммуникационные образовательные технологии – организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией. Формы учебных занятий:

- Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

- Практическое занятие в форме презентации – представление результатов проектной или исследовательской деятельности с использованием специализированных программных сред.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Физико-химические основы процессов теплообмена: Учебное пособие / Архипов В.А. - Томск: Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 199 с.: ISBN 978-5-4387-0539-0 - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniyum.com/catalog/product/673007> .

2. Основы теплообмена с участием твердой фазы [Электронный ресурс]:

учебное пособие / М.В.Шубина, Е.С.Махоткина. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2022. – 71 с. – Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=4575.pdf&show=dcatalogues/1/1551556/4575.pdf&view=true> .– Загл. с титул. экрана.

#### **б) Дополнительная литература:**

1. Расчет оборудования участка подогрева исходной смеси ректификационной установки [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В.Шубина, Е.С.Махоткина. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2019. – 51 с. – Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=4243.pdf&show=dcatalogues/1/1532476/4243.pdf&view=true> . – Загл. с титул. экрана.

2. Процессы и аппараты химической технологии в технике защиты окружающей среды: Учебное пособие / К.Р. Таранцева, К.В. Таранцев. - Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 412 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (п) ISBN 978-5-16-009258-4 - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/429195> .

3. Конструирование и расчет элементов химического оборудования: учебник / И.И. Поникаров, С.И. Поникаров. - Москва : Альфа-М, 2010. - 382 с.: ил.; 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-98281-174-5 - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniium.com/document?id=2776> .

4. Нелинейные нестационарные эффекты в процессах массопереноса: монография / Гершанов В.Ю., Гармашов С.И. - Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2014. - 114 с. ISBN 978-5-9275-1232-4 - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/552325> .

5. Теоретические основы теплотехники/Ляшков В. И. - Москва : КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 328 с.: 60x90 1/16 (Переплёт) ISBN 978-5-905554-85-8 - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/496993> .

#### **в) Методические указания:**

1. Кинетика сушки твердых материалов: Метод. указания по дисциплине «Массообменные процессы химической технологии». Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова, 2019. 10 с.

2. Расчет оборудования участка подогрева исходной смеси ректификационной установки [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В.Шубина, Е.С.Махоткина. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2019. – 51 с. – Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=4243.pdf&show=dcatalogues/1/1532476/4243.pdf&view=true> . – Загл. с титул. экрана.

3. Основы массообмена с участием твердой фазы [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.В.Шубина, Е.С.Махоткина. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2022. – 71 с. – Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=4575.pdf&show=dcatalogues/1/1551556/4575.pdf&view=true> .– Загл. с титул. экрана.

#### **г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

##### **Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно



FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
-------------	------------------------------	-----------

### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru">https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru</a>

### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа. Оснащение: Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: Доска, мультимедийный проектор, экран.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся. Оснащение: Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Оснащение: Шкафы для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий, Инструменты для ремонта лабораторного оборудования.

**Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

По дисциплине «Массо- и теплоперенос в гетерогенных системах» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа студентов предполагает подготовку к устным опросам – беседам, семинарам – дискуссиям и презентациям по литературным источникам и индивидуальным заданиям по различным расчётам на практических занятиях.

**Примерный перечень вопросов для устных опросов – бесед по темам, семинаров – дискуссий (экзамена)**

- *Общие закономерности теплообмена (способы переноса тепла; основное уравнение теплопередачи, уравнения теплопроводности, теплового излучения, тепловое подобие и критериальные уравнения конвективного теплообмена);*

- *Общие закономерности переноса вещества в твердой фазе (структура твердых материалов; классификация твердых материалов; диффузионное равновесие; основные механизмы массопереноса);*

- *Общие закономерности переноса вещества во внешней фазе (механизмы переноса вещества во внешней фазе; критериальные уравнения массопереноса);*

- *Массопроводность в процессах сушки, адсорбции (влияние пористой структуры на массопроводность при сушке; влияние физических свойств среды в порах материала на массопроводность при сушке; массопроводность при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов; массопроводность при адсорбции.);*

1. Способы переноса тепла: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Понятия «теплоотдача» и «теплопередача».
2. Основное уравнение теплопередачи (для стационарного и нестационарного процессов). Коэффициент теплопередачи.
3. Выражение закона Фурье для теплового потока, передаваемого теплопроводностью. Коэффициент теплопроводности. Примеры теплопроводности различных веществ.
4. Дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье для стационарного процесса. Коэффициент температуропроводности.
5. Тепловое излучение. Выражение теплового баланса и следствия из него (абсолютно черное, абсолютно белое и диатермичное тела).
6. Взаимосвязь между лучеиспускательной и лучепоглощательной способностями тел – закон Кирхгофа.
7. Передача тепла конвекцией. Схема конвективного теплообмена.
8. Уравнение Ньютона для процесса теплоотдачи от стенки к среде. Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  и факторы, от которых он зависит.
9. Тепловое подобие и его критерии (Нуссельта, Фурье, Прандтля, Пекле, Грасгофа). Критериальное уравнение конвективного теплообмена и его краткая характеристика.
10. Теплообмен в слое кусковых материалов.
11. Теплообмен в неподвижном слое.
12. Нагрев плотного слоя при перекрестном движении потоков.
13. Нагрев материала в плотном слое при прямоточном и противоточном движениях потоков.
14. Охарактеризуйте виды процессов массопередачи. Что является движущей силой массопереноса?
15. Охарактеризуйте общие закономерности массопереноса в системах с участием твердой фазы. Поясните ответ на примере схемы одномерного потока вещества из твердого тела в поток жидкости (газа или пара), омывающей эту поверхность.
16. Приведите выражение первого закона Фика и поясните входящие в него параметры. Что такое коэффициент молекулярной диффузии, и от каких параметров он зависит? Приведите примеры значений коэффициента молекулярной диффузии газа в жидкие и газовые среды.
17. Приведите выражение основного закона массоотдачи, или конвективной диффузии и

- поясните входящие в него параметры. Какой вид принимает это уравнение для установившегося процесса? В каких единицах выражается коэффициент массоотдачи? Запишите уравнения массоотдачи для газовой и жидкой фаз и поясните входящие в них параметры.
18. Приведите выражения для критериев подобия (Нуссельта, Пекле, Прандтля, Био), которые применяют для описания массообменных процессов. Что характеризует или выражает каждый из них?
  19. Каковы цели удаления влаги из твердых и пастообразных материалов? Что такое сушка, и какие виды сушки бывают?
  20. Приведите основные свойства влажного воздуха (абсолютная и относительная влажность, точка росы, влагосодержание, энтальпия (теплосодержание)) и охарактеризуйте их.
  21. Охарактеризуйте три формы связи влаги с материалом. Что такое равновесная влажность  $w_p$ , и от чего она зависит? Приведите пример кривой равновесия  $w_p = f(\varphi)$ .
  22. Охарактеризуйте кинетику сушки по кривой сушки, пояснив все периоды и участки этой кривой.
  23. Какой процесс экстракции в химической технологии называют выщелачиванием, и где его применяют? В чем заключается процесс выщелачивания, и что влияет при этом на перенос вещества?
  24. Что является движущей силой процесса выщелачивания? Как влияют на скорость выщелачивания перемешивание, температура и степень измельчения твердого вещества?
  25. Какие способы растворения и выщелачивания применяют в химической технологии? Кратко поясните схемы их проведения, достоинства и недостатки.
  26. Поясните основные характеристики адсорбентов. Кратко охарактеризуйте виды применяемых в химической технологии адсорбентов (активные угли, силикагели, цеолиты, иониты).
  27. Какие методы десорбции и десорбирующие агенты применяют в химической технологии? Как проводят регенерацию активного угля и цеолитов?

#### **Примерный перечень вопросов для семинаров – дискуссий по темам**

- Общие закономерности теплообмена (способы переноса тепла; основное уравнение теплопередачи, уравнения теплопроводности, теплового излучения, тепловое подобие и критериальные уравнения конвективного теплообмена);
- Общие закономерности переноса вещества в твердой фазе (структура твердых материалов; классификация твердых материалов; диффузионное равновесие; основные механизмы массопереноса);
- Общие закономерности переноса вещества во внешней фазе, механизмы переноса вещества во внешней фазе; критериальные уравнения массопереноса;
- Основные методы исследований массопроводности в процессах сушки, адсорбции для решения профессиональных задач (влияние пористой структуры на массопроводность при сушке; влияние физических свойств среды в порах материала на массопроводность при сушке; массопроводность при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов; массопроводность при адсорбции)

#### **Примерный перечень вопросов для презентаций по темам**

- Общие закономерности теплообмена (способы переноса тепла; основное уравнение теплопередачи, уравнения теплопроводности, теплового излучения, тепловое подобие и критериальные уравнения конвективного теплообмена);
- Общие закономерности переноса вещества в твердой фазе (структура твердых материалов; классификация твердых материалов; диффузионное равновесие; основные механизмы массопереноса);
- Общие закономерности переноса вещества во внешней фазе (механизмы переноса вещества во внешней фазе; критериальные уравнения массопереноса);
- Методы исследований влияния пористой структуры на массопроводность при сушке;
- Методы исследований влияния физических свойств среды в порах материала на

массопроводность при сушке;

- Методы исследований массопроводности при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов;

- Методы исследований массопроводности при адсорбции.

- Влияние физических свойств среды в порах материала на массопроводность при сушке; массопроводность при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов.

**Примерные индивидуальные задания (ИЗ) для расчетов и семинаров – дискуссий:**

- по тепловому подобию и критериальным уравнениям теплообмена;

- по расчёту кинетики сушки;

- по расчёту кинетики сушки при перекрёстном движении фаз;

- по расчету теплообмена в неподвижном слое;

- по расчету теплообмена в плотном слое при прямоточном и противоточном движениях потока;

- по расчёту динамики адсорбции в неподвижном слое;

- по расчёту паропрооницаемости:

1. Начальное состояние воздуха, приходящего в калорифер  $t_n = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 40 \%$ . В калорифере воздух нагревается до  $t_k = 130 \text{ }^\circ\text{C}$ . На выходе из сушки  $\varphi = 95 \%$ . Потери тепла в действительном процессе сушки  $q_{\text{пот}} = 1,5 \text{ МДж}$ . Найти расход тепла на действительный процесс сушки.

2. Выше рассчитанный процесс сушки производят смесью свежего воздуха и отработанного, причем при смешении температура средняя между ними. Потери тепла в действительном процессе сушки  $q_{\text{пот}} = 1,5 \text{ МДж}$ . Найти расход тепла на действительный процесс сушки при перекрёстном движении фаз.

3. На сушку приходят остывшие дымовые газы  $t_n = 180 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $d = 10 \text{ г/кг}$  и воздух с температурой  $t_n = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 40 \%$ . Сушка происходит при температуре  $t_k = 130 \text{ }^\circ\text{C}$ . Потери тепла в действительном процессе сушки  $q_{\text{пот}} = 1,5 \text{ МДж}$ . Найти расход тепла на действительный процесс сушки.

4. Сушка по пункту 3 происходит с рециркуляцией отработанных дымовых газов. Сушка происходит при температуре  $t_k = 130 \text{ }^\circ\text{C}$ . Потери тепла в процессе сушки  $q_{\text{пот}} = 1,5 \text{ МДж}$ . Найти паропрооницаемость и расход тепла на процесс сушки.

**Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация имеет целью определить степень достижения запланированных результатов обучения по дисциплине (модулю) за определенный период обучения (семестр) и проводится в форме экзамена.

Данный раздел состоит из двух пунктов:

- а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации.
- б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания.

**а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:**

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
<b>ОПК-1 – Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области металлургии</b>		
ОПК-1.1	Решает профессиональные задачи в области металлургии и процессов металлообработки, используя фундаментальные знания	<p><b>Теоретические вопросы (экзаменационные):</b></p> <p>28. Способы переноса тепла: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Понятия «теплоотдача» и «теплопередача».</p> <p>29. Основное уравнение теплопередачи (для стационарного и нестационарного процессов). Коэффициент теплопередачи.</p> <p>30. Выражение закона Фурье для теплового потока, передаваемого теплопроводностью. Коэффициент теплопроводности. Примеры теплопроводности различных веществ.</p> <p>31. Уравнение Ньютона для процесса теплоотдачи от стенки к среде. Коэффициент теплоотдачи <math>\alpha</math> и факторы, от которых он зависит.</p> <p>32. Тепловое подобие и его критерии (Нуссельта, Фурье, Прандтля, Пекле, Грасгофа). Критериальное уравнение конвективного теплообмена и его краткая характеристика.</p> <p>33. Теплообмен в слое кусковых материалов.</p> <p>34. Теплообмен в неподвижном слое.</p> <p>35. Нагрев плотного слоя при перекрестном движении потоков.</p> <p>36. Нагрев материала в плотном слое при прямоточном и противоточном</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>движениях потоков.</p> <p>37. Охарактеризуйте общие закономерности массопереноса в системах с участием твердой фазы. Поясните ответ на примере схемы одномерного потока вещества из твердого тела в поток жидкости (газа или пара), омывающей эту поверхность.</p> <p>38. Каковы цели удаления влаги из твердых и пастообразных материалов? Что такое сушка, и какие виды сушки бывают?</p> <p>39. Приведите основные свойства влажного воздуха (абсолютная и относительная влажность, точка росы, влагосодержание, энтальпия (теплосодержание)) и охарактеризуйте их.</p> <p>40. Охарактеризуйте три формы связи влаги с материалом. Что такое равновесная влажность <math>w_p</math>, и от чего она зависит? Приведите пример кривой равновесия <math>w_p=f(\varphi)</math>.</p> <p>41. Охарактеризуйте кинетику сушки по кривой сушки, пояснив все периоды и участки этой кривой.</p> <p>42. Какой процесс экстракции в химической технологии называют выщелачиванием, и где его применяют? В чем заключается процесс выщелачивания, и что влияет при этом на перенос вещества?</p> <p>43. Что является движущей силой процесса выщелачивания? Как влияют на скорость выщелачивания перемешивание, температура и степень измельчения твердого вещества?</p> <p>44. Какие способы растворения и выщелачивания применяют в химической технологии? Кратко поясните схемы их проведения, достоинства и недостатки.</p> <p>45. Поясните основные характеристики адсорбентов. Кратко охарактеризуйте виды применяемых в химической технологии адсорбентов (активные угли, силикагели, цеолиты, иониты).</p> <p>46. Какие методы десорбции и десорбирующие агенты применяют в химической технологии? Как проводят регенерацию активного угля и цеолитов?</p>
ОПК-1.2	Владеет способами и приемами решения исследовательских задач в предметной области металлургии и	<p><b>Примерный перечень вопросов для семинаров – дискуссий по темам:</b></p> <p>- Общие закономерности переноса вещества в твердой фазе (структура твердых материалов; классификация твердых материалов; диффузионное равновесие;</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
	металлообработки	<p>основные механизмы массопереноса);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Общие закономерности переноса вещества во внешней фазе, механизмы переноса вещества во внешней фазе; критериальные уравнения массопереноса;</li> <li>- Основные методы исследований массопроводности в процессах сушки, адсорбции для решения профессиональных задач (влияние пористой структуры на массопроводность при сушке; влияние физических свойств среды в порах материала на массопроводность при сушке; массопроводность при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов; массопроводность при адсорбции)</li> </ul>
ОПК-1.3	Применяет фундаментальные междисциплинарные знания для решения задач в профессиональной деятельности	<p><b>Примерные практические задания:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Начальное состояние воздуха, приходящего в калорифер <math>t_n = 15 \text{ }^\circ\text{C}</math> и <math>\phi = 40\%</math>. В калорифере воздух нагревается до <math>t_k = 130 \text{ }^\circ\text{C}</math>. На выходе из сушилки <math>\phi = 95\%</math>. Потери тепла в действительном процессе сушки <math>q_{\text{пот}} = 1,5 \text{ МДж}</math>. Найти расход тепла на действительный процесс сушки.</li> <li>2. Выше рассчитанный процесс сушки производят смесью свежего воздуха и отработанного, причем при смешении температура средняя между ними. Потери тепла в действительном процессе сушки <math>q_{\text{пот}} = 1,5 \text{ МДж}</math>. Найти расход тепла на действительный процесс сушки при перекрестном движении фаз.</li> <li>3. На сушку приходят остывшие дымовые газы <math>t_n = 180 \text{ }^\circ\text{C}</math> и <math>d = 10 \text{ г/кг}</math> и воздух с температурой <math>t_n = 15 \text{ }^\circ\text{C}</math> и <math>\phi = 40 \%</math>. Сушка происходит при температуре <math>t_k = 130 \text{ }^\circ\text{C}</math>. Потери тепла в действительном процессе сушки <math>q_{\text{пот}} = 1,5 \text{ МДж}</math>. Найти расход тепла на действительный процесс сушки.</li> <li>4. Сушка по пункту 3 происходит с рециркуляцией отработанных дымовых газов. Сушка происходит при температуре <math>t_k = 130 \text{ }^\circ\text{C}</math>. Потери тепла в процессе сушки <math>q_{\text{пот}} = 1,5 \text{ МДж}</math>. Найти паропроницаемость и расход тепла на процесс сушки.</li> </ol>

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Массо- и теплоперенос в гетерогенных системах» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

**Показатели и критерии оценивания экзамена:**

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.