



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

25.04.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ТЕПЛОПЕРЕНОС В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

Направление подготовки (специальность)
18.04.01 Химическая технология

Направленность (профиль/специализация) программы
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения
очно-заочная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалобработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	2

Магнитогорск
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 910)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Металлургии и химических технологий
16.04.2025, протокол № 8

Зав. кафедрой



А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ
25.04.2025 г. протокол № 7

Председатель



А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:
профессор кафедры кафедры МиХТ, д.ф.-м.н.



А.Н. Смирнов

Рецензент:

доцент Химии, канд. хим.наук



Тарасюк Е.В.

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 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 2027 - 2028 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 2028 - 2029 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 разделу физики, изучающему теплоотдачу и теплопередачу между теплоносителями в гранулированных системах реакторов химической технологии.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина 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:

Анализ и синтез химико-технологических систем

Современные физико-химические методы исследования и анализа

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

Производственная - преддипломная практика

Выполнение, 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) «Теплоперенос в гетерогенных системах» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-3	Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ОПК-3.1	Разрабатывает технологические нормативы на расход сырья, материалов, топлива, контролирует параметры технологического процесса, выбирает оборудование

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 8,1 акад. часов;
- аудиторная – 8 акад. часов;
- внеаудиторная – 0,1 акад. часов;
- самостоятельная работа – 60 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Курс	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.								
1.1 Расчёт многосекционного охладителя с переточно-ожиженным слоем.	2			5	23	Подготовка к практическому занятию, выполнение домашнего индивидуального задания, работа с библиографическими материалами	Практическое занятие, устный опрос, сдача домашнего индивидуального задания.	ОПК-3.1
1.2 Расчёт сушилки для гранулированного материала.				2	20	Подготовка к практическому занятию, работа с библиографическими материалами	Практическое занятие, устный опрос.	ОПК-3.1
1.3 Расчёт печи обжига глины на шамот.				1	17	Подготовка к практическому занятию, работа с библиографическими материалами	Практическое занятие, устный опрос.	ОПК-3.1
Итого по разделу				8	60			
Итого за семестр				8	60		зачёт	
Итого по дисциплине				8	60		зачет	

5 Образовательные технологии

Образовательные технологии – это целостная модель образовательного процесса, системно определяющая структуру и содержание деятельности обеих сторон этого процесса (преподавателя и студента), имеющая целью достижение планируемых результатов с поправкой на индивидуальные особенности его участников. Технологичность учебного процесса состоит в том, чтобы сделать учебный процесс полностью управляемым.

Основными признаками образовательной технологии в ее современном понимании являются:

- детальное описание образовательных целей;
- поэтапное описание (проектирование) способов достижения заданных результатов-целей;
- использование обратной связи с целью корректировки образовательного процесса;
- гарантированность достигаемых результатов;
- воспроизводимость образовательного процесса вне зависимости от мастерства преподавателя;
- оптимальность затрачиваемых ресурсов и усилий.

Реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков.

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 с использованием традиционных технологий:

Практическая работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

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

а) Основная литература:

1. Формалев, В. Ф. Теплоперенос в анизотропных твердых телах. Численные методы, тепловые волны, обратные задачи : монография / В. Ф. Формалев. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2015. — 280 с. — ISBN 978-5-9221-1624-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/72011>
2. Морачевский, А. Г. Физическая химия. Гетерогенные системы : учебное пособие / А. Г. Морачевский, Е. Г. Фирсова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 192 с. — ISBN 978-5-8114-1859-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/213284>

б) Дополнительная литература:

1. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование [Текст] : учебное пособие. Т. 2 : Мех. и гидром. процессы / [Д. А. Баранов и др.] ; под ред. А. М. Кутепова. - М. : Логос, 2002. - 599 с. - 160 р. (21 экз.)
2. Тепловые расчеты нагревательных печей [Текст] : учебное пособие. Ч. 1 / Б. К. Сеничкин, Г. Н. Матвеева, Ю. И. Тартаковский, Е. Б. Агапитов; МГТУ. - Магнитогорск, 2002. - 64 с. : ил. - издание МГТУ (10 экз.)
3. Садеков, М. Х. Теплотехника и массообмен / М. Х. Садеков, Ю. В. Варечкин. — Нижний Новгород : ВГУВТ, 2014. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/60798>

в) Методические указания:

Теплофизика, теплотехника, теплообмен. Тепломассоперенос. Топливо и огнеупоры. Тепловая работа печей. Лабораторный практикум : учебное пособие / В. А. Арутюнов, В. А. Капитанов, И. А. Левицкий, С. Н. Шибалов. — Москва : МИСИС, 2007. — 136 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/1814>

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Yandex	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc .
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://host.megaprolib.net/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебная аудитория для проведения практических занятий оснащена:
 - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;
 - специализированной мебелью.
3. Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащена:
 - компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
 - специализированной мебелью.
4. Помещение для самостоятельной работы оснащено:
 - компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
 - специализированной мебелью.
5. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащено:
 - специализированной мебелью: стеллажами для хранения учебного оборудования;
 - инструментами для ремонта учебного оборудования;
 - шкафами для хранения учебно-методической документации и материалов.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

По дисциплине «Теплоперенос в гетерогенных системах» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение задач на практических занятиях.

Примерные аудиторные практические задачи:

Пример 1.

Определить среднюю температуру стальной стенки теплообменника, в котором греющим паром подогревается вода. Насыщенный водяной пар конденсируется при абсолютном давлении $p_{г.п} = 4$ ат. Средняя температура воды $t_{в} = 30^{\circ}\text{C}$. Толщина стенки стальных труб $\delta_{ст} = 4$ мм. (Температура конденсации насыщенного водяного пара при $p_{г.п} = 4$ ат равна $t_{г.п} = 142,9^{\circ}\text{C}$).

Пример 2.

В межтрубное пространство одноходового кожухотрубчатого теплообменника с $n = 465$ трубками диаметром $d \times \delta = 25 \times 2$ мм подается насыщенный водяной пар под абсолютным давлением $p_{г.п} = 7$ ат. Расход греющего пара $G_{г.п} = 540$ кг/ч. Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к поверхности труб $\alpha_{п} = 9500$ Вт/(м²·К). В трубном пространстве нагревается воздух атмосферного давления от $t_{н} = 20^{\circ}\text{C}$ до $t_{к} = 150^{\circ}\text{C}$. Определить объемный расход нагреваемого воздуха, отнесенный к нормальным условиям, поверхность теплопередачи и необходимую длину труб теплообменника. Тепловые потери составляют 5 % от полезно используемой теплоты.

Пример 3.

Определить значение коэффициента теплоотдачи от насыщенного пара бензола к наружной поверхности пучка вертикальных труб высотой $H = 4$ м. Температура наружной поверхности стенок $t_{ст} = 75^{\circ}\text{C}$.

Пример 4.

В вакуум-выпарном аппарате со стальными трубами высотой $H = 4$ м и диаметром 38×2 мм кипит 20 % – ный раствор нитрата аммония. Температура кипения раствора равна $t_{кип} = 80^{\circ}\text{C}$. Давление в корпусе выпарного аппарата $p = 0,36$ ат. Греющий пар имеет давление $p_{г.п} = 1,0$ ат. Определить коэффициент теплопередачи греющей камеры выпарного аппарата.

Вопросы для зачета

1. Назовите элементарные виды переноса теплоты.
2. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности?
3. Сделайте вывод дифференциального уравнения теплопроводности.
4. Что называют теплоотдачей? В каких единицах измеряется коэффициент теплоотдачи?
5. Объясните механизм конвективного теплообмена.
6. Охарактеризуйте распределение температур в ламинарном и турбулентном потоках.
7. Назовите критерии теплового подобия.
8. Раскройте физический смысл критериев теплового подобия.
9. Какой критерий теплового подобия является определяемым?
10. Напишите обобщенное критериальное уравнение для теплоотдачи.
11. От каких факторов зависит величина коэффициента теплоотдачи?
12. Какими методами можно интенсифицировать процесс теплоотдачи в движущемся потоке?
13. Напишите основное уравнение теплопередачи.
14. Какую размерность имеет плотность теплового потока?

15. Укажите особенности теплообмена в гетерогенных системах.
16. Какие виды теплоотдачи протекают при изменении агрегатного состояния?
17. В чем особенность процессов теплоотдачи при изменении агрегатного состояния?
18. Приведите общую формулу критериальных соотношений для расчета интенсивности коэффициентов теплоотдачи при конденсации.
19. Какие условия необходимы для процесса конденсации?
20. Как влияет содержание газа в парогазовой смеси на теплоотдачу?
21. Укажите особенности теплоотдачи при конденсации насыщенных паров.
22. Как расположение труб влияет на значение коэффициента теплоотдачи?
23. Как влияет скорость пара на величину коэффициента теплоотдачи?
24. Какие численные значения имеют коэффициенты теплоотдачи при конденсации?
25. В каких процессах химической технологии встречается теплоотдача при кипении.
26. Назовите условия для возникновения кипения.
27. Охарактеризуйте различные виды кипения.
28. Проанализируйте тенденцию изменения коэффициента теплоотдачи в процессах пузырькового кипения, перехода к пленочному кипению, пленочного кипения.
29. Опишите механизм процессов пузырькового режима кипения жидкостей и кризиса кипения.
30. Какие факторы определяют скорость переноса теплоты при кипении?
31. Как изменится коэффициент теплоотдачи при критическом значении температуры?

Примерное индивидуальное домашнее задание (ИДЗ)

Рассчитать многосекционный охладитель с переточно-ожигенным слоем при следующих исходных данных: производительность аппарата 38 кг/с; начальная температура материала $t_1 = 773$ К, конечная температура материала $t_2 = 423$ К, давление воздуха под решёткой 2,86 кПа, диаметр частиц глины $d = 12 \cdot 10^{-3}$ м, кажущаяся плотность материала $\rho_m = 2200$ кг/м³, коэффициент формы частиц глины $\phi = 1,15$, порозность неподвижного слоя $\epsilon_{кр} = 0,44$, угол естественного откоса не продуваемого слоя $\beta = 30^\circ$. Параметры охлаждающего воздуха: температура на входе в слой $T_0 = 303$ К, плотность $\rho_0 = 1,119$ кг/м³. Конструктивные параметры охладителя: угол наклона решётки $\gamma = 30^\circ$, длина секции $\delta = 0,36$ м, высота порога $h_{п} = 0,15$ м.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

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

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ОПК-3 Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку		
ОПК-3.1	Разрабатывает технологические нормативы на расход сырья, материалов, топлива, контролирует параметры технологического процесса, выбирает оборудование	<i>Вопросы к зачету</i> 1. Назовите элементарные виды переноса теплоты. 2. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности? 3. Сделайте вывод дифференциального уравнения теплопроводности. 4. Что называют теплоотдачей? В каких единицах измеряется коэффициент теплоотдачи? 5. Объясните механизм конвективного теплообмена. 6. Охарактеризуйте распределение температур в ламинарном и турбулентном потоках. 7. Назовите критерии теплового подобия. 8. Раскройте физический смысл критериев теплового подобия. 9. Какой критерий теплового подобия является определяемым? 10. Напишите обобщенное критериальное уравнение для теплоотдачи. 11. От каких факторов зависит величина коэффициента теплоотдачи? 12. Какими методами можно интенсифицировать процесс теплоотдачи в движущемся потоке? 13. Напишите основное уравнение теплопередачи. 14. Какую размерность имеет плотность теплового потока? 15. Укажите особенности теплообмена в гетерогенных системах. * 1. Какие виды теплоотдачи протекают при изменении агрегатного состояния?

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<i>В чем особенность процессов теплоотдачи при изменении агрегатного состояния?</i> <i>2. Приведите общую формулу критериальных соотношений для расчета интенсивности коэффициентов теплоотдачи при конденсации.</i> <i>3. Какие условия необходимы для процесса конденсации?</i> <i>4. Как влияет содержание газа в парогазовой смеси на теплоотдачу?</i> <i>5. Укажите особенности теплоотдачи при конденсации насыщенных паров.</i> <i>6. Как расположение труб влияет на значение коэффициента теплоотдачи?</i> <i>7. Как влияет скорость пара на величину коэффициента теплоотдачи?</i> <i>8. Какие численные значения имеют коэффициенты теплоотдачи при конденсации?</i> <i>9. В каких процессах химической технологии встречается теплоотдача при кипении.</i> <i>10. Назовите условия для возникновения кипения.</i> <i>11. Охарактеризуйте различные виды кипения.</i> <i>12. Проанализируйте тенденцию изменения коэффициента теплоотдачи в процессах</i> <i>пузырькового кипения, перехода к пленочному кипению, пленочного кипения.</i> <i>13. Опишите механизм процессов пузырькового режима кипения жидкостей и кризиса кипения.</i> <i>14. Какие факторы определяют скорость переноса теплоты при кипении?</i> <i>15. Как изменится коэффициент теплоотдачи при критическом значении температуры?</i> <i>Производственная задача:</i> <i>1. Определить коэффициент теплопередачи и высоту слоя насадки при охлаждении воздуха от 80 до 20 °С в насадочном скруббере диаметром $D = 1,4$ м, заполненном керамическими кольцами 50х50х5 мм, по поверхности которых стекает вода при средней температуре $t_{ж} = 15$ °С. Расход воздуха $G_2 = 20$ т/ч, расход воды $G_{ж} = 8$ т/ч.</i>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<i>2. Определить коэффициент теплоотдачи между воздухом и твердыми частицами в псевдоожигенном слое. Диаметр частиц $d_{\text{ч}} = 4$ мм, плотность $\rho_{\text{ч}} = 1200$ кг/м³. Средняя температура воздуха 150°С.</i>

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «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:

- индивидуального задания;
- зачёта.

Показатели и критерии оценивания индивидуального задания:

- на оценку **«зачтено»** – студент должен показать высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений; обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями.

- оценку **«не зачтено»** студент получает, если не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Показатели и критерии оценивания зачета:

- на оценку **«зачтено»** – студент должен показать высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений; обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями.

- оценку **«не зачтено»** студент получает, если не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.