

Белорусский государственный университет



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н.Здрок

2020г.

Регистрационный № УД 8866/уч.

Теплофизика гетерогенных сред

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

направление специальности:

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

2020г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 01- 2013, учебных планов № G31-214/уч., № G31и-215/уч. от 20.02.2018 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

И.А.КОЗНАЧЕЕВ – преподаватель кафедры энергофизики физического факультета БГУ.

РЕЦЕНЗЕНТ:

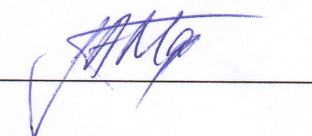
Н.В.ПАВЛЮКЕВИЧ – главный научный сотрудник ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси», член-корреспондент НАНБ, доктор физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики
(протокол № 10 от 25.06.2020);

Советом физического факультета БГУ
(протокол № 12 от 25.06.2020)

Заведующий кафедрой энергофизики



А.В.Мазаник

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Теплофизика гетерогенных сред» разработана для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направление специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность), специализации 1-31 04 01-01 07 «Энергофизика».

Во многих природных и технических гетерогенных системах понимание протекающих процессов невозможно без рассмотрения процессов переноса теплоты, массы, импульса. Протекание теплофизических процессов в гетерогенных системах обладает рядом особенностей, которые являются определяющими во многих технологических процессах, энергетических и биосистемах. Учебная дисциплина «Теплофизика гетерогенных сред» включает рассмотрение современных представлений о процессах тепло- и массообмена в гетерогенных системах, способах их математического описания и возможностях применения.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины: ознакомить студентов с особенностями процессов переноса вещества и энергии в гетерогенных средах.

Задачи учебной дисциплины:

1. ознакомить студентов с основными принципами механики гетерогенных сред, уравнениями движения и теплопереноса в модели многоскоростных континуумов;
2. дать понятие об особенностях процессов переноса в пористых средах, использовании кинетических методов при расчёте процессов тепло- и массопереноса;
3. ознакомить студентов с новыми направлениями в области тепло- и массопереноса в гетерогенных средах (фильтрационное горение, фрактальные кластеры и дробная размерность).

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: материал учебной дисциплины основан на знаниях и представлениях, заложенных при изучении учебной дисциплины «Основы теплофизики».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Теплофизика гетерогенных сред» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
АК-4. Уметь работать самостоятельно.
АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.

ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.

ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.

ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- уравнения переноса вещества и энергии в модели многоскоростного континуума;
- основные модели пористых сред;
- формы связи влаги с капиллярно-пористым материалом;
- уравнение переноса излучения в пористой среде;

уметь:

- выводить дифференциальные уравнения сохранения массы, импульса и энергии гетерогенных сред;

- выводить формулы для коэффициентов тепло- и массообмена в простых случаях;
- получить автомодельное решение задачи о затвердевании тела от холодной стенки;

владеть:

- методом расчета теплофизических свойств композитов на основе теории эффективной среды;
- методами практического использования полученных знаний при решении конкретных задач.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 9 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Теплофизика гетерогенных сред» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 72 часов, в том числе 30 аудиторных часов, из них: лекции – 24 часов, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1 Механика многоскоростных континуумов

Тема 1.1 Классификация гетерогенных сред. Понятие многоскоростного континуума.

Тема 1.2 Вывод уравнений сохранения массы, импульса и энергии в гетерогенных средах.

Тема 1.3 Взаимодействие фаз, составляющие межфазной силы.

Тема 1.4 Система уравнений тепло- и массопереноса гетерогенной смеси двух сжимаемых жидкостей при наличии фазовых превращений.

Раздел 2 Пористые среды

Тема 2.1 Модели пористых сред. Закон Дарси. Квазигомогенное приближение.

Тема 2.2 Поверхностные явления в капиллярах, капиллярное давление. Формы связи влаги с материалом. Гигроскопическое влагосодержание, осмотическое давление, полупроницаемые мембраны.

Тема 2.3 Теория А.В.Лыкова. Многофазная фильтрация, коэффициенты внутреннего теплообмена и эффективной теплопроводности теплоносителя. Уравнение конвективной диффузии.

Тема 2.4 Перенос излучения в пористых средах. Перколяция, фрактальные структуры. Фильтрационное горение.

Раздел 3 Теплофизические процессы в композиционных материалах

Тема 3.1 Композиционный материал как гетерогенная среда. Теплофизические свойства композитов. Теория эффективной среды.

Раздел 4 Кинетическая теория массопереноса в капиллярах

Тема 4.1 Кинетическое уравнение Больцмана, модель Бхатнагара-Гросса-Крука.

Тема 4.2 Кинетическая задача Пуазейля, коэффициент кнудсеновской диффузии. Формула Вебера.

Раздел 5 Задача Стефана

Тема 5.1 Автомодельное решение задачи Стефана о затвердевании жидкости от холодной стенки.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Ауд. контроль	Формы контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Механика многократных континуумов	8					2	
1.1	Классификация гетерогенных сред. Понятие многократного континуума	2						Устный опрос
1.2	Вывод уравнений сохранения массы, импульса и энергии в гетерогенных средах	2					2	Письменное тестирование
1.3	Взаимодействие фаз, составляющие межфазной силы	2						Устный опрос
1.4	Система уравнений тепло- и массопереноса гетерогенной смеси двух сжимаемых жидкостей при наличии фазовых превращений	2						Устный опрос
2	Пористые среды	8					2	
2.1	Модели пористых сред. Закон Дарси. Квазигомогенное приближение	2						Устный опрос
2.2	Поверхностные явления в капиллярах, капиллярное давление. Формы связи влаги с материалом. Гигроскопическое влагосодержание, осмотическое давление, полупроницаемые мембраны	2					2	Письменное тестирование

2.3	Теория А.В.Лыкова. Многофазная фильтрация, коэффициенты внутреннего теплообмена и эффективной теплопроводности теплоносителя. Уравнение конвективной диффузии	2						Устный опрос
2.4	Перенос излучения в пористых средах. Перколяция, фрактальные структуры. Фильтрационное горение	2						Устный опрос
3	Теплофизические процессы в композиционных материалах	2						
3.1	Композиционный материал как гетерогенная среда. Теплофизические свойства композитов. Теория эффективной среды	2						Устный опрос
4	Кинетическая теория массопереноса в капиллярах	4						
4.1	Кинетическое уравнение Больцмана, модель Бхатнагара-Гросса-Крука	2						Устный опрос
4.2	Кинетическая задача Пуазейля, коэффициент кнудsenовской диффузии. Формула Вебера	2						Устный опрос
5	Задача Стефана	2						
5.1	Автомодельное решение задачи Стефана о затвердевании жидкости от холодной стенки.	2						Устный опрос
	Защита рефератов по дисциплине						2	Защита рефератов

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И.Нигматулин. — М.: Наука, 1978.
2. Хейфец, Л.И. Многофазные процессы в пористых средах / Л.И.Хейфец, А.В.Неймарк. — М.: Химия, 1982
3. Павлюкевич, Н.В. Введение в теорию тепло-и массопереноса в пористых средах / Н.В.Павлюкевич. — Минск: ИТМО, 2003.
4. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. — М.: Энергия, 1968.
5. Байков, В.И. Теплофизика. Термодинамика и статистическая физика: учебное пособие / В.И. Байков, Н.В. Павлюкевич. — Минск: Вышэйшая школа, 2018.
6. Теплофизика. Неравновесные процессы тепломассопереноса: учебное пособие / В.И. Байков [и др.]. — Минск: Вышэйшая школа, 2018.

Перечень дополнительной литературы

7. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г.Лойцянский. — М.: Наука, 1973.
8. Смирнов, Б.М. Физика фрактальных кластеров / Б.М.Смирнов. М.: Наука, 1991.
9. Доброго, К.В. Физика фильтрационного горения / К.В.Доброго, С.А.Жданок. — Минск: ИТМО, 2003.
10. Баренблатт, Г.И. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газов / Баренблатт Г.И., Ентов Е.М., Рыжик Е.М. — М.: Недра, 1972.
11. Павлюкевич, Н.В. Физическая кинетика и процессы переноса при фазовых превращениях / Н.В.Павлюкевич, Г.Е.Горелик и др. — Минск: Наука и техника, 1980.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой текущей аттестации по дисциплине «Теплофизика гетерогенных сред» учебным планом предусмотрен зачет. При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- письменное тестирование – 40 %;
- защита рефератов – 40 %;
- устный опрос – 20 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и зачетной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки по текущей успеваемости составляет 40 %, зачетной оценки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1.2 Вывод уравнений сохранения массы, импульса и энергии в гетерогенных средах (2 часа)

Самостоятельное дополнительное изучение математического описания процессов переноса вещества, импульса и энергии в гетерогенных средах.

Форма контроля – письменное тестирование.

Тема 2.2 Поверхностные явления в капиллярах, капиллярное давление. Формы связи влаги с материалом. Гигроскопическое влагосодержание, осмотическое давление, полупроницаемые мембраны (2 часа)

Самостоятельное дополнительное изучение явлений, связанных с наличием влаги в капиллярах и порах твёрдых тел.

Форма контроля – письменное тестирование.

Защита рефератов по дисциплине «Теплофизика гетерогенных сред» (2 часа)

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются:

- **практико-ориентированный подход**, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач, приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности в том числе через описание в лекциях способов описания процессов переноса вещества, импульса и энергии в современных энергетических технологиях.

- **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для эффективной самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине рекомендуется использовать размещенные в электронной библиотеке учебно-программные материалы, рекомендуемую основную и дополнительную литературу, а также иные, находящиеся в открытом доступе, источники информации.

Также рекомендуется применение заданий различных уровней сложности: задания базового уровня сложности предполагают использование знаний из ограниченной предметной области, задания более высокого уровня сложности требуют от студентов комплексного анализа проблемы с привлечением знаний из смежных областей.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы и письменные тестирования, а также защиту рефератов по тематике дисциплины.

Примерная тематика реферативных работ

1. Расклинивающее давление.
2. Тепло- и массообмен в тепловых трубах.
3. Функция Леверетта.
4. Капиллярная пропитка.
5. Фазовые переходы в гетерогенных средах.
6. Условия подобия теплофизических процессов в гетерогенных средах.
7. Аппараты с кипящим слоем.
8. Теплоперенос в нанокompозитах.
9. Химическое парофазное осаждение.

Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий

1. Классификация гетерогенных сред. Понятие многоскоростного континуума.
2. Вывод уравнений сохранения массы, импульса и энергии в гетерогенных средах.
3. Взаимодействие фаз, составляющие межфазной силы.
4. Модели пористых сред. Закон Дарси. Квазигомогенное приближение.
5. Поверхностные явления в капиллярах, капиллярное давление. Формы связи влаги с материалом. Гигроскопическое влагосодержание, осмотическое давление, полупроницаемые мембраны.
6. Теория А.В.Лыкова. Многофазная фильтрация, коэффициенты внутреннего теплообмена и эффективной теплопроводности теплоносителя. Уравнение конвективной диффузии.
7. Перенос излучения в пористых средах. Перколяция, фрактальные структуры. Фильтрационное горение.

8. Композиционный материал как гетерогенная среда. Теплофизические свойства композитов. Теория эффективной среды.
9. Кинетическое уравнение Больцмана, модель Бхатнагара-Гросса-Крука.
10. Автомодельное решение задачи Стефана о затвердевании жидкости от холодной стенки.

Примеры тестовых заданий

1. Как описывается перенос тепла между фазами в модели взаимопроникающих континуумов?
2. Опишите особенности фильтрационного горения газов по сравнению с классическим горением газовых смесей.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Классификация гетерогенных сред.
2. Понятие многоскоростного континуума.
3. Вывод уравнений сохранения массы, импульса и энергии в гетерогенных средах.
4. Взаимодействие фаз, составляющие межфазной силы.
5. Модели пористых сред.
6. Закон Дарси. Квазигомогенное приближение.
7. Поверхностные явления в капиллярах, капиллярное давление.
8. Формы связи влаги с материалом.
9. Многофазная фильтрация.
10. Перенос излучения в пористых средах.
11. Фильтрационное горение.
12. Теплофизические свойства композитов, теория эффективной среды.
13. Кинетическое уравнение Больцмана, модель Бхатнагара-Гросса-Крука.
14. Кинетическая задача Пуазейля, коэффициент кнудсеновской диффузии.
15. Автомодельное решение задачи Стефана о затвердевании жидкости от холодной стенки.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Актуальные проблемы энергетики	Кафедра энергофизики	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменений (протокол №10 от 25.06.2020)
Современные теплотехнические системы	Кафедра энергофизики	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменений (протокол №10 от 25.06.2020)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета
