

Белорусский государственный университет



Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.И. Чуприс

201 9 г.

Регистрационный № УД-7501 /уч.

Экспериментальные методы исследования процессов тепло- и массообмена

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

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

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

2019 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 г. № 88 и учебных планов, регистрационный номер № G31-163/уч. и № G31и-177/уч. утвержденных 30 мая 2013 г.,

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.С. КОНЕВА – доцент кафедры энергофизики физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат технических наук

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. Г. БАШТОВОЙ – профессор кафедры ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук;

И.А. СОЛОДУХИН – доцент кафедры общей физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики
(протокол № 12 от 23.05.2019 г);

Советом физического факультета БГУ
(протокол № 12 от 27.06.2019)

Заведующий кафедрой, к.ф.-м.н. доцент



А.В. Мазаник

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – раскрыть студентам научную и практическую значимость исследования параметров тепло и массообмена. Показать взаимосвязь между явлениями переноса тепла и вещества. Рассмотреть линейные законы переноса и соответствующие дифференциальные уравнения. Описать типичные экспериментальные схемы и установки, используемые в практике теплофизических исследований и исследований процессов тепло- и массообмена.

Задачи учебной дисциплины:

1. Ознакомление студентов с основными понятиями физики процессов, протекающих в средах при нарушении равновесных состояний: теплопроводности, диффузии, внутреннего трения, изучить принципы действия различных датчиков и погрешности измерения физических параметров этими датчиками;
2. Научить студентов понимать экспериментальные схемы и установки, используемые в практике теплофизических исследований.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием. Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализации компонент учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др. Материал учебной дисциплины основан на знаниях и представлениях, изложенных в общих курсах молекулярной физики, электричества, оптики, спецкурсах термодинамики и статистической физики. Он является базовым для выполнения студентами курсовых и дипломных работ по специализации энергофизика, а также для дисциплин «Современные методы исследования материалов» и лаборатории специализации «Экспериментальное исследование процессов тепло- и массообмена».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Экспериментальные методы исследования процессов тепло- и массообмена» 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). Продолжить коды

☐ 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:

теоретические основы теории переноса в различных телах и теории тепло и массообмена;

теплофизические свойства твердых тел, жидкостей и газов;

особенности определения коэффициентов тепло- и температуропроводности

уметь:

проводить анализ процессов и явлений переноса массы, энергии и количества движения,

проводить анализ погрешностей при определении параметров переноса и погрешностям измерений

владеть:

методами практического использования полученных знаний при проведении теплофизического эксперимента и исследований процессов тепло- и массообмена.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 7 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Экспериментальные методы исследования процессов тепло- и массообмена» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 105 часов, в том числе 42 аудиторных часов, из них: лекции – 34 часов, управляемая самостоятельная работа – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Методы определения теплофизических характеристик

Тема 1.1 Экспериментальные методы определения теплоемкости твердых тел жидкостей и газов Теплоёмкость и скрытая теплота. Теория калориметрических измерений. Теплообмен в калориметрических экспериментах. Определение теплоемкости газов, твердых и жидких тел.

Тема 1.2. Экспериментальные методы определения коэффициентов теплопроводности различных сред Стационарный тепловой режим. Экспериментальные схемы и расчетные соотношения для определения коэффициентов теплопроводности твердых материалов с использованием образцов различной формы. Специфика исследования теплопроводности жидкости и газов.

Тема 1.3. Экспериментальные исследования теплофизических параметров в однородной однокомпонентной системе Калориметр переменной температуры. Массивный калориметр переменной температуры. Дифференциальный калориметр. Калориметр постоянной температуры.

Тема 1.4. Экспериментальные исследования теплофизических параметров в неоднородной многокомпонентной системе Неоднородная многокомпонентная система. Методы исследования явлений тепло- и массообмена в многокомпонентных системах. Определение теплофизических характеристик.

Раздел 2. Нестационарные тепловые режимы

Тема 2.1. Нестационарные задачи теплопроводности с различными граничными условиями Нестационарная теплопроводность в теплофизических задачах. Решение стационарных и нестационарных задач теплопроводности. Нестационарная задача теплопроводности с граничными условиями 1 и 2 рода. Экспериментальные схемы и расчетные соотношения.

Тема 2.2. Нестационарные процессы при охлаждении Решение стационарных и нестационарных задач теплопроводности при охлаждении. Охлаждение плоской однородной стенки (граничные условия 1 и 3 рода). Экспериментальные схемы и расчетные соотношения при реализации охлаждения стенки.

Тема 2.3. Решение нестационарных уравнений при определении теплопроводности при охлаждении. Методы решения нестационарных

уравнений теплопроводности. Метод разделения переменных. Метод интегральных преобразований Лапласа. Численное решение трехмерных задач теплопроводности.

Тема 2.4. Методы определения теплофизических характеристик в нестационарном тепловом режиме при импульсных явлениях
Теоретические основы методы мгновенного источника тепла. Тепловой импульс. Линейный, точечный, плоский источник тепловой энергии. Экспериментальная схема для определения коэффициентов температуропроводности и удельной теплоемкости. Методические погрешности экспериментального метода.

Тема 2.5. Методы комплексного определения теплофизических характеристик в нестационарном тепловом режиме
Определение коэффициента температуропроводности методом источника постоянной мощности. Комплексное определение ТФХ в регулярном режиме. Импульсный метод определения ТФХ. Основные принципы расчета погрешностей определения теплофизических характеристик

Раздел 3. Определение параметров теплообмена

Тема 3.1 Экспериментальное определение параметров конвективного теплообмена

Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена: уравнение энергии, уравнение движения и уравнение неразрывности. Условия однозначности. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Критерии и числа подобия в теории конвективного теплообмена. Методы определения коэффициентов теплообмена.

Тема 3.2. Исследования параметров конвективно-радиационного теплообмена

Методика определения параметров конвективно-радиационного теплообмена. Экспериментальный метод изучения явлений конвективно-радиационного теплообмена. Средства измерения параметров конвективно-радиационного теплообмена.

Тема 3.3. Экспериментальные методы определения исследования параметров кондуктивно-радиационного теплообмена

Методика определения параметров кондуктивно-радиационного теплообмена. Экспериментальный метод изучения явлений кондуктивно-радиационного теплообмена. Средства измерения параметров кондуктивно-радиационного теплообмена.

Раздел 4. Особенности диагностики потоков и смесей

Тема 4.1 Диагностика газовых и жидкостных потоков

Течение жидкости в каналах. Экспериментальные методы измерения скорости потоков. Средства измерения потоков в канале. Тепловые измерители потока. Определение погрешности измерителей скорости.

Тема 4.2. Методы определения концентрации смесей.

Оптические, электрохимические, термохимические, хроматографические методы определения концентрации газообразных смесей. Методы спектроскопии, масс-спектрометрии, радиохимические и рентгеновские методы определения концентрации твердых веществ. Рефрактометрический метод определения концентрации жидких смесей

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Методы определения теплофизических характеристик					*			
1.1	Экспериментальные методы определения теплоемкости твердых тел жидкостей и газов	2						Письменное тестирование	
1.2	Экспериментальные методы определения коэффициентов теплопроводности различных сред	2						Письменное тестирование	
1.3	Экспериментальные исследования теплофизических параметров в однородной однокомпонентной системе	2						Устный опрос	
1.4	Экспериментальные исследования теплофизических параметров в неоднородной многокомпонентной системе	2					2	Устный опрос Письменное тестирование (по темам 1.1-1.4)	
2	Нестационарные тепловые режимы теплопроводности	2							
2.1	Нестационарные задачи теплопроводности с различными граничными условиями	2						Письменное тестирование	

2.2	Нестационарные процессы при охлаждении	2							Письменное тестирование
2.3	Решение нестационарных уравнений при определении теплопроводности при охлаждении	2							Устный опрос
2.4	Методы определения теплофизических характеристик в нестационарном тепловом режиме при импульсных явлениях	2							Устный опрос
2.5	Методы комплексного определения теплофизических характеристик в нестационарном тепловом режиме	2						2	Устный опрос Защита рефератов по темам: 2.1 -2.5
3	Определение параметров теплообмена								
3.1	Экспериментальное определение параметров конвективного теплообмена	2							Письменное тестирование
3.2	Исследования параметров конвективно-радиационного теплообмена	2							Устный опрос
3.3	Экспериментальные методы определения параметров кондуктивно-радиационного теплообмена	2						2	Устный опрос Письменное тестирование: 3.1 -3.3
4	Особенности диагностики потоков и смесей								Письменное тестирование
4.1	Диагностика газовых и жидкостных потоков	4							Устный опрос
4.2	Методы определения концентрации смесей.	4						2	Устный опрос Защита рефератов по темам: 4.1 -4.2

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Савельев. И.В. Курс общей физики. Т. 1 / И.В.Савельев. – М.: Наука, 1980. – 352 с.
2. Походун, А.И. Экспериментальные методы исследования. Измерение теплофизических величин / А.И. Походун, А.В. Шарков – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2006. – 87 с.
3. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, С.А. Сукомел – М.:Энергоатомиздат, 1975. – 488 с.
4. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – 5-е изд. – М.: Атомиздат, 1979 – 415 с.
5. Ярышев, Н.А. Теоретические основы измерения нестационарных температур / Н.А. Ярышев. – М.: Наука, 1980. – 352 с.
6. Бошняк, Л.Л. Измерения при теплотехнических исследованиях / Л.Л. Бошняк – Л.: Машиностроение, 1974. – 192 с.
7. Новицкий, А.М. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Новицкий – Л.: Энергия, 1983. – 426 с.
8. Евдокимов, И.Н. Методы и средства исследований, ч. 1. Температура / И.Н. Евдокимов. - М.: РГУНиГ, 2004.- 106 с.
9. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. М.: Энергия, 1973.-336 с.
10. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Наука, 1968. - 596 с
11. Байков, В. И. Теплофизика. Термодинамика и статистическая физика: учеб. пособие для студ. учреждений высш. образования по спец. «Физика (по напр.)», «Ядерная физика и технологии», «Физика наноматериалов и нанотехнологий» / В.И. Байков, Н.В. Павлюкевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 447 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.:Энергия, 1973. – 344 с.
13. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие / С.С. Кутателадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
14. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т / К.В. Подмастерьев [и др.]; под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – Т. 5 – 679 с.
15. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC / М.: Мир, 1992.- 496 с.
16. Красюк, Б.А. Световодные датчики / Б.А.Красюк.- М.: Машиностроение 1990,-399 с.
17. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей / Рид Р" Праусниц Дж., Шервуд Т. - Л.: Химия, 1982. - 456 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине рекомендуется использовать тестовые задания по разделам учебной дисциплины, контрольные работы, защиту реферативных работ. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой учебной дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Тестирование проводится в письменной форме. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка каждого из тестов проводится по десятибалльной шкале. Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией.

Контрольная работа проводится в письменной форме. На ее выполнение отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка проводится по десятибалльной шкале.

Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за письменное тестирование, контрольные работы и оценки за защиту реферата.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по учебной дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости — 0,3; для экзаменационной оценки — 0,7.

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 № 382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003 г.)

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1.4. Экспериментальные исследования теплофизических параметров в неоднородной многокомпонентной системе.

Самостоятельное изучение методики проведения измерения теплофизических параметров в неоднородной многокомпонентной системе.

Форма контроля – письменное тестирование.

Тема 2.5. Методы комплексного определения теплофизических характеристик в нестационарном тепловом режиме

Подготовить и защитить реферативную работу по заданной теме.

Форма контроля – защита реферативных работ (доклад с электронной презентацией).

Тема 3.3 Экспериментальные методы определения исследования параметров кондуктивно-радиационного теплообмена

Самостоятельное изучение методов определения теплоемкости тел в нестационарном тепловом режиме.

Форма контроля – письменное тестирование.

Тема 4.2. Методы определения концентрации смесей.

Подготовить и защитить реферативную работу по заданной теме.

Форма контроля – защита реферативных работ (доклад с электронной презентацией).

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проективный, практико-ориентированный)

При организации образовательного процесса используется **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.

При организации образовательного процесса **используются методы и приемы развития критического мышления**, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основой методики организации самостоятельной работы студентов является предоставление информации с использованием информационных ресурсов: размещенных на образовательном портале, комплекса учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебных изданий для теоретического изучения дисциплины), списка рекомендуемой литературы, информационных ресурсов, составление вопросов для проведения экзамена и графика консультаций преподавателя.

Контроль за усвоением студентами учебного материала на лекциях проводится путем письменных и устных экспресс-опросов по конкретным темам курса. Также для текущего контроля качества усвоения знаний по окончании конкретного раздела дисциплины рекомендуется использовать письменные тестирования, а также презентации, подготовленные к защита реферативных работ.

Темы реферативных работ

1. Устройство и принцип действия дилатометрического термометра
2. Устройство и принцип действия биметаллического термометра.
3. Устройство и принцип действия газового термометра.
4. Устройство и принцип действия вискозиметрического термометра.
5. Устройство и принцип действия конденсационного термометра.
6. Устройство и принцип действия калориметрического термометра.
7. Устройство и принцип действия термоиндикаторных термометров.
8. Устройство и принцип действия радиочастотного термометра.
9. Устройство и принцип действия ЯКР - термометра.
10. Экспериментальные методы определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.

Примеры тестовых заданий

1. а) Что называется теплоемкостью тела? б) Дайте определение удельной теплоемкости тела? в) В чем заключается суть калориметрического метода определения теплоемкости? г) Опишите механизм теплообмена калориметра с окружающей средой д) Какой закон описывает полный теплообмен калориметра с окружающей средой?
2. а) Перечислите известные вам типы калориметров, б) Что такое поправка на теплообмен и как она рассчитывается? в) При соблюдении каких условий упрощенный расчет поправки на теплообмен не искажает результат? г) Что такое константа охлаждения калориметра? Опишите устройство и принцип работы дифференциального калориметра.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Методы определения коэффициентов теплоемкости жидкости
2. Методы определения коэффициентов теплопроводности газов
3. Теплообмен в калориметрических экспериментах.
4. Определения коэффициентов теплопроводности твердых материалов с использованием образцов различной формы
5. Нестационарная задача теплопроводности с граничными условиями 1 рода.
6. Нестационарная задача теплопроводности с граничными условиями 2 рода.
7. Охлаждение плоской однородной стенки (граничные условия 1 и 3 рода).
8. Метод разделения переменных для решения нестационарных уравнений теплопроводности.
9. Численное решение трехмерных задач теплопроводности при моделировании экспериментов.
10. Метод определения теплофизических характеристик импульсным методом.
11. Определение коэффициента температуропроводности методом источника постоянной мощности.
12. Источники погрешностей при определении теплофизических характеристик.
13. Условия формирования гидродинамического пограничного слоя.
14. Тепловой пограничный слой.
15. Критерии и числа подобия в теории конвективного теплообмена
16. Критерии и числа подобия в теории радиационного теплообмена
17. Особенности конвективно-кондуктивного теплообмена.
18. Особенности конвективно-радиационного теплообмена.
19. Особенности кондуктивно-радиационного теплообмена
20. Средства измерения скорости потоков в канале.
21. Оптические методы определения концентрации газообразных смесей
22. Хроматографические методы определения концентрации смесей
23. Исследование неоднородной многокомпонентной системы.
24. Теплофизические характеристики однокомпонентной системы.

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)
Современные методы исследования материалов	Кафедра энергофизики	нет	Вносить изменения не требуется (протокол №12 от 23.05.2019)
Л/с «Экспериментальное исследование процессов тепло- и массообмена»	Кафедра энергофизики	нет	Вносить изменения не требуется (протокол №12 от 23.05.2019)

**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 _____ 201__ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
