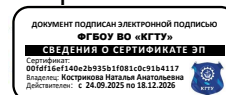




Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НР
Кострикова Н.А.



Рабочая программа дисциплины
программы подготовки научных и научно-педагогических кадров
в аспирантуре ФГБОУ ВО «КГТУ»

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВ В
РАЗЛИЧНЫХ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ**

Группа научных специальностей.

2.4 Энергетика и электротехника

Научная специальность

2.4.6 «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА»

Отрасль науки: технические науки

ИНСТИТУТ:	морских технологий, энергетики и строительства
РАЗРАБОТЧИК:	кафедра инженерной инфраструктуры объектов капитального строительства
ВЕРСИЯ	1
ДАТА ВЫПУСКА	25.02.2026

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Целью освоения дисциплины «Методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях» является формирование у обучающегося системы теоретических и практических знаний и навыков, необходимых в преподавательской деятельности аспиранта по основным образовательным программам высшего образования, посредством изучения фундаментальных физических основ расчета теплофизических свойств и фазовых равновесий на основе современных достижений в области теплотехники, теплофизики и термодинамики и вычислительной техники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- овладение знаниями в области теплофизических свойств веществ, их связи со структурой вещества и взаимодействием молекул;
- освоение методов расчета теплофизических свойств веществ и их смесей;
- освоение методов расчета фазовых равновесий, включая проблемы критической области;
- готовность производить расчет теплофизических свойств веществ и фазовых равновесий на основе имеющейся информации о веществах, используя современные достижения теории и вычислительной техники. Выбирать наиболее эффективный и надежный метод расчета.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ.

Дисциплина «Методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях» относится к образовательному компоненту программы аспирантуры по научной специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника». Является дисциплиной по выбору. Дисциплина направлена на подготовку аспирантов к научно-исследовательской деятельности, изучается на 3 курсе.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

В результате изучения дисциплины «Методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях» аспирант должен:

знать:

- основные методы прогнозного расчета теплофизических свойств веществ, включая расчеты «из первых принципов», а также показателей процессов теплообмена;
- методы компьютерного моделирования теплофизических свойств веществ;
- теоретическую базу и основные методы разработки уравнений состояния вещества как термодинамических, так и кинетических;

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВ В РАЗЛИЧНЫХ
АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ»

- основные дифференциальные уравнения, описывающие процесс тепло- массообмена и методы их решения;

- теорию подобия;

уметь:

- производить расчеты теплофизических свойств веществ на основе современных достижений в данной области, включая методы статистической физики и компьютерного моделирования;

- производить теплотехнические расчеты технологических процессов и оборудования в реальных условиях;

- разрабатывать уравнения состояния вещества на основе современных достижений фундаментальной физики, цифровых и информационных технологий;

владеть:

- методами разработки уравнений состояния, методами расчета теплофизических свойств веществ и фазовых равновесий, методами теплотехнического расчета процессов и оборудования с применением современных достижений цифровой техники и информационных технологий;

- современными методами термодинамического анализа;

- современными методами расчета теплофизических свойств и фазовых равновесий;

- современными методами теплотехнического расчета и решения задач тепло- и массообмена с применением компьютерных технологий.

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.

Тема 1. Методы расчета теплофизических свойств

Общие сведения о теплофизических свойствах. Классификация методов расчета. Методы, основанные на фундаментальных уравнениях состояния вещества. Методы, основанные на эмпирических локальных уравнениях. Методы теории подобия.

Тема 2. Характеристические константы чистых компонентов

Тройная точка, точка плавления, нормальная точка кипения, критические свойства, Дипольный момент, фактор полярности, параметры потенциалов межмолекулярного взаимодействия. Критерии термодинамического подобия..

Тема 3. Уравнения состояния чистых веществ

Уравнение идеального газа. Вириальное уравнение. Кубические УС. Уравнение Бенедикта–Вебба–Рубина. Фундаментальные многоконстантные уравнения состояния. Урав-

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВ В РАЗЛИЧНЫХ
АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ»

нения статистической теории ассоциированных флюидов. Обобщенные уравнения состояния. Уравнения состояния в критической области.

Тема 4. Термодинамические свойства

Основные термодинамические принципы. Дифференциальные уравнения термодинамики. Функции отклонения от идеального состояния. Производные свойства. Диаграммы состояния чистых веществ и смесей. Термодинамические свойства идеального газа. Комбинационные правила для смесей. Давление паров и энтальпия парообразования чистых жидкостей. Энтальпия плавления и сублимации.

Тема 5. Равновесие жидкость – газ в многокомпонентных системах

Основные термодинамические соотношения равновесия газ – жидкость. Фугитивность чистой жидкости. Бинарное равновесие газ – жидкость. Равновесие газ – жидкость в многокомпонентных системах. Методы расчета фазового равновесия на основе уравнений состояния. Коэффициенты активности. Растворимость газов жидкостях. Равновесие жидкость – жидкость. Расчет фазовых равновесий многокомпонентных систем в критической области.

Тема 6. Вязкость

Понятие вязкости. Единицы измерения вязкости. Теория вязкости газов. Методы расчета вязкости в жидкой и газовой фазах. Вязкость в критической области. Методы расчета вязкости смесей.

Тема 7. Теплопроводность

Теория теплопроводности газов. Методы расчета теплопроводности газов и жидкостей. Теплопроводность в критической области. Методы расчета теплопроводности смесей.

Тема 8. Коэффициенты диффузии

Основные понятия и определения. Теория диффузии газов. Методы расчета коэффициентов диффузии в газах и жидкостях.

Тема 9. Поверхностное натяжение

Понятие поверхностного натяжения и его связь с молекулярной структурой вещества. Методы расчета поверхностного натяжения чистых жидкостей и смесей.

5. ОБЪЕМ (ТРУДОЕМКОСТЬ ОСВОЕНИЯ).

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (ЗЕТ), то есть 72 академических часа контактной работы (лекционных занятий, практических занятий) и 54

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВ В РАЗЛИЧНЫХ
АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ»**

часа самостоятельной учебной работы аспиранта, связанной с текущей и промежуточной аттестацией по дисциплине. Изучается на 3 курсе.

Распределение трудоемкости освоения дисциплины по годам ОП, темам и видам учебной работы аспиранта приведено ниже.

Форма промежуточной аттестации – зачет, 3 год обучения.

Таблица 1 - Объем (трудоемкость освоения) в очной форме обучения и структура дисциплины

Номер и наименование темы, вид учебной работы	Объем учебной работы, ч				
	Контактная работа			СР	Всего
	Лекции	ЛЗ	ПЗ		
Семестр – 5, трудоемкость – 5 ЗЕТ (180 час.)					
1. Методы расчета теплофизических свойств	1	-	0,5	6,5	8
2. Характеристические константы чистых компонентов	1	-	0,5	10,5	12
3. Уравнения состояния чистых веществ	2	-	1	9	12
4. Термодинамические свойства	2	-	1	9	12
5. Равновесие жидкость – газ в многокомпонентных системах	2	-	1	9	12
6. Вязкость	1	-	0,5	2,5	4
7. Теплопроводность	1	-	0,5	2,5	4
8. Коэффициенты диффузии	1	-	0,5	2,5	4
9. Поверхностное натяжение	1	-	0,5	2,5	4
Учебные занятия	12	-	6	54	72
Промежуточная аттестация	зачет				
Итого по дисциплине					72

ЛЗ - лабораторные занятия, ПЗ – практические занятия, СР – самостоятельная работа

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ.

Таблица 2 - Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практических занятия	Очная форма, ч.
1	Критический анализ и классификация методов расчета теплофизических свойств.	0,5
2	Анализ взаимосвязи между некоторыми характеристическими константами чистых компонентов и методика их определения.	0,5
3	Расчет термодинамических свойств по уравнениям состояния, включая расчеты в критической области.	1
4	Прогнозный расчет термодинамических свойств на основе теории термодинамического подобия.	1
5	Расчет фазового равновесия в многокомпонентных системах	1
6	Уравнения вязкости и методы прогнозного расчета коэффициента динамической вязкости.	0,5
7	Уравнения теплопроводности и методы прогнозного расчета коэффициента теплопроводности.	0,5
8	Анализ коэффициентов диффузии и методы их расчета	0,5
9	Принципы и методы расчета коэффициента поверхностного	0,5

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВ В РАЗЛИЧНЫХ
АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ»**

	натяжения.	
	ИТОГО:	6

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Таблица 3 – Объем (трудоемкость освоения) и формы СР

№ п/п	Виды (содержание) СР	Кол-во часов Очная форма	Формы контроля (аттестации)
1	Методы расчета теплофизических свойств (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	6,5	Текущий контроль, опрос
2	Характеристические константы чистых компонентов (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	10,5	Текущий контроль, опрос
3	Уравнения состояния чистых веществ (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	9	Текущий контроль, опрос
4	Термодинамические свойства (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	9	Текущий контроль, опрос
5	Равновесие жидкость – газ в многокомпонентных системах (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	9	Текущий контроль, опрос
6	Вязкость (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	2,5	Текущий контроль, опрос
7	Теплопроводность (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	2,5	Текущий контроль, опрос
8	Коэффициенты диффузии (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	2,5	Текущий контроль, опрос
9	Поверхностное натяжение (Освоение учебного материала, подготовка к ПЗ, выполнение заданий по ПЗ)	2,5	Текущий контроль, опрос
Итого		54	

Научно-исследовательские, творческие работы и рефераты не предусмотрены учебным планом.

8.УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТА.

Основная учебная литература

1. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика : учеб. пособие / В. А. Кудинов ; авт. Карташов, Э. М. - 5-е изд., стер. - Москва : Высш. шк., 2007. - 261 с.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВ В РАЗЛИЧНЫХ
АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ»

2. Техническая термодинамика [Текст] : учеб. пособие / В. В. Селин, Фокин В.М. - Волгоград : [ВолгГАСУ], 2008. - 131 с.

3. Машинный расчет парожидкостного равновесия многокомпонентных смесей / ред. Платонов В.М. - Москва : Химия, 1971. - 215с.

Дополнительная учебная литература

1. Григорьев Б.А. Теплофизические свойства углеводородов нефти, газовых конденсатов, природного и сопутствующих газов: в 2 т. / Б.А. Григорьев, А.А. Герасимов, И.С. Александров.

Т.1. – М.: Издательский дом МЭИ, 2018. – 735 с.

Т.2. – М.: Издательский дом МЭИ, 2019. – 484 с.

2. Мищенко, С. В. Расчет теплофизических свойств веществ / С. В. Мищенко ; соавт.: Черепенников И.А., Кузьмин С.Н. - Воронеж : ВГУ, 1991. - 208с.

3. Шпильрайн, Э. Э. Основы теории теплофизических свойств веществ : учеб. пособие / Э. Э. Шпильрайн ; соавт. Кессельман П.М. - Москва : Энергия, 1977. - 248с.

**9.ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ДИСЦИПЛИНЫ.**

Информационные технологии

В ходе освоения дисциплины аспиранты используют возможности интерактивной коммуникации со всеми участниками и заинтересованными сторонами образовательного процесса, ресурсы и информационные технологии посредством электронной информационной образовательной среды университета. Аспирантам и научно-педагогическим работникам обеспечен доступ к ЭБС, наукометрическим базам данных и к полнотекстовым ресурсам, наукометрическим базам данных и к полнотекстовым ресурсам, справочно-правовой системе «ГАРАНТ», профессиональной справочной системе «Техэксперт».

Веб-сайты с электронными ресурсами по специальности:

1. Программное обеспечение (лицензионное), базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: Консультант Плюс. Официальный сайт компании [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> свободный.
2. Электронная библиотека научных публикаций «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>, свободный.
3. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>, свободный.
4. Электронно-библиотечная система издательства «Юрайт» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://https://biblio-online.ru/>, свободный.
5. <https://webbook.nist.gov/chemistry/> - база по теплофизическим свойствам веществ Национального института стандартов и технологии (Боулдер, США).

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.

Для проведения занятий по дисциплине «Методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам: учебные аудитории, оборудованные комплектом мебели; комплект проекционного мультимедийного оборудования; компьютеры с доступом к сети Интернет; читальный зал с информационными ресурсами на бумажных и электронных носителях, библиотекой, архивом диссертаций и авторефератов. офисная оргтехника; электронные таблицы Excel MS Office; справочно-правовая система «ГАРАНТ», профессиональная справочная система «Техэксперт» Для аудиторных занятий по дисциплине используется материально-техническая база кафедры, учебного корпуса № 1 (г. Калининград, ул. Проф. Баранова, 43, УК № 1), ауд. 410Б - учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Учебная аудитория укомплектована специализированной (учебной) мебелью - учебной доской, столом преподавателя, партами, стульями, мультимедийным оборудованием и 15 компьютерами с выходом в интернет. На компьютерах установлено ПО: 1. Операционная система Windows 10 (получаемая по программе Microsoft "Open Value Subscription" license V6465252 дата окончания 2027-02-28). 2. Офисное приложение MS Office Standard 2016 (получаемое по программе Microsoft "Open Value Subscription" license V6465252 дата окончания 2027-02-28) 3. Kaspersky Endpoint Security (17E0-220124-070726-463-1425 до 2025-02-17) 4. Google Chrome (GNU) 5. Учебный комплект программного обеспечения КОМПАС-3D v21 (Сублицензионный договор № АСЗ 22 01174 от «22» августа 2022 г.) 6. MathCAD 15 M020 (Лицензия 3A1843569 от 26.04.2013) 7. Python (GNU/Linux, macOS и Windows) 8. Lira10_12_x64 (демонстрационная версия) 9. Renga (Академическая лицензия до 2024-11-08) 10. CAE Fidesys 6.1 (Акт к договору № ЛД-112 Б от «13» мая 2024 г.) 11. nanoCAD (Академическая лицензия) 12. Pilot-BIM (№ АСЗ-24-00346 от 19.04.2024) 13. Structure CAD Office (SCAD Office) (Демонстрационная версия) 14. Пакет программ для Проектирования и расчетов элементов строительных конструкций "ПРУСК", "Металл", "СпИн", "Одиссей", "Poseidon" (Лицензионный договор №131111-2 от 11.11.2013) 15. Программный комплекс для расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания "ПК STARKES 201W (Лицензионный договор №131111-2 от 11.11.2013) 16. ELCUT Студенческий 6.6 17. VALTEC C.O. 3.8 Программа для проектирования систем отопления (демонстрационная версия).

Для самостоятельной работы аспирантов используется помещение ауд. 222Б (г. Калининград, ул. Профессора Баранова 43, УК № 1), Помещение оснащено столами и стульями, имеется 5 компьютеров с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации, комплект лицензионного программного обеспечения. Типовое ПО на всех ПК

1. Операционная система Windows XP (получаемая по программе Microsoft "Open Value Subscription" license V6465252 дата окончания 2027-02-28)
2. Офисное приложение MS Office Standard 2003 (получаемое по программе Microsoft "Open Value Subscription" license V6465252 дата окончания 2027-02-28)
3. Kaspersky Endpoint Security (17E0-220124-070726-463-1425 до 2025-02-17)
4. Google Chrome (GNU)

5. Structure CAD Office (SCAD Office) (Демонстрационная версия)

6. CAE Fidesys 6.1 (Акт к договору № ЛД-112 Б от «13» мая 2024 г.)

11. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ.

Оценочные средства по дисциплине представляются в виде фонда оценочных средств (ФОС). Требования к структуре и содержанию ФОС по дисциплине определяются Положением по ФОС.

12. ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические занятия и самостоятельная работа аспирантов, консультирование по отдельным темам дисциплины.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет аспирантам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При подготовке лекционного материала преподаватель обязан руководствоваться рабочей программой по дисциплине. При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в вузе.

Практические занятия проводятся с целью приобретения навыков, необходимых в профессиональной деятельности аспиранта в области сохранения жизни и здоровья человека за моделирования систем и средств защиты информации.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности аспирантов, как в отсутствии преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь аспирантам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Преподавателю необходимо контролировать степень усвоения аспирантами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

13. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.

При изучении дисциплины аспирант должен добросовестно посещать лекции и практические занятия.

Учебным планом предусмотрена самостоятельная работа аспирантов. Эта работа предполагает:

- изучение лекционного материала;
- подготовка к практическим занятиям;

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПЕРЕНОСНЫХ СВОЙСТВ В РАЗЛИЧНЫХ
АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯХ»

–самостоятельное изучение отдельных вопросов дисциплины по рекомендованной литературе и углубленную проработку некоторых тем, изложенных в лекциях;

–подготовка к промежуточному и текущему контролю.

Аспирант обязан в полном объеме использовать время самостоятельной работы, предусмотренное настоящей рабочей программой, для изучения соответствующих разделов дисциплины, и своевременно обращаться к преподавателю в случае возникновения затруднений при выполнении самостоятельной работы.

Содержание внеаудиторной самостоятельной работы и распределение объема на нее определяется по темам дисциплины согласно тематическому плану рабочей программы.

14. СВЕДЕНИЯ О РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ И ЕЕ СОГЛАСОВАНИИ.

Рабочая программа дисциплины «**Методология научных исследований в теоретической и прикладной теплотехнике**» представляет собой образовательный компонент программы по подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности **2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника»**.

Автор программы – Игорь Станиславович Александров, д.т.н., доцент, профессор кафедры инженерной инфраструктуры объектов капитального строительства.

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры инженерной инфраструктуры объектов капитального строительства протокол № 7 от 25.02.2026 г.

Заведующий кафедрой инженерной инфраструктуры объектов капитального строительства

_____ к.т.н., доцент Р.А. Шестаков

Согласовано:

Начальник УПК ВНК _____ к.т.н., доцент Н.Ю. Ключко