

Разработано и утверждено
Ученым советом ИЭПТ
структурного подразделения
ФИЦ КазНЦ РАН
30 января 2025 г., протокол № 1

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Термодинамика»

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность

1.1.9 МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Содержание дисциплины.
5. Учебно-тематический план занятий.
6. Формы текущего контроля, критерии оценки.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

1. ВИДЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СПОСОБ И ФОРМЫ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ, ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинарские занятия и консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

Формой итогового контроля является собеседование, реферат или зачет (на усмотрение научного руководителя).

2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

В результате освоения дисциплины выпускник должен

Знать:

- формулировки основных законов термодинамики;
- основные уравнения термодинамики и их физический смысл;
- математический аппарат законов и уравнений термодинамики;
- ограничения и условия применимости методов термодинамики;

Уметь:

- применять общие математические методы термодинамического подхода к решению широкого класса фундаментальных и прикладных физических задач;
- использовать термодинамические методы при выполнении диссертационной работы;
- применять законы термодинамики к объяснению природных явлений;

Демонстрировать:

- эрудицию и осведомленность в понимании основных проблем термодинамики;
- подготовленность к самостоятельному изучению и пониманию специальной, научной, справочной и методической литературы, связанной с проблемами

термодинамики;

- квалифицированное применение основ высшей математики, математического анализа, теории вероятностей, математической статистики, теоретической механики, квантовой теории и других разделов науки в решении задач термодинамики;
- умение использования современных информационных технологий в области термодинамики;
- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области теплофизики (в соответствии с профилем аспирантуры) и решать их с помощью современной теории, аппаратуры, оборудования, информационных технологий и использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;
- способность вырабатывать новые идеи;
- иммунитет к антинаучным трактовкам проблем в области термодинамики.

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Термодинамика» является элективной и/или факультативной дисциплиной и включена в Блок №1 основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности **1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы»**. Обучение планируется на втором и/или третьем курсе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия – 27 часов, самостоятельная работа – 92 часа, зачет - 1 час, всего 120 часов.

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары, консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

5. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Аудитор. занятия	Самост. работа	Всего часов
1.	Основные понятия, модели и принципы термодинамики: равновесный процесс. идеальный газ.	3	10	13
2.	Внутренняя энергия, теплота, работа. Первый закон термодинамики.	3	10	13
3.	Циклы обратимые и необратимые, термический КПД, энтропия. Второй закон термодинамики.	3	11	14
4.	Дифференциальные уравнения термодинамики. Энтальпия, теплоемкости. Уравнение Масвелла.	3	10	13

5.	Термодинамическое равновесие и фазовые переходы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.	3	10	13
6.	Термические и калорические свойства реальных газов. Уравнение состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние вещества. Метастабильное состояние.	3	10	13
7.	Основные термодинамические процессы. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля-Томсона. Процессы истечения газов и жидкостей.	3	11	14
8.	Техническая термодинамика: прямые и обратные циклы. Регенерация теплоты в цикле. Тепловые и холодильные машины, тепловые насосы. Эксергия.	3	10	13
9.	Основы химической термодинамики. Закон Гесса. Уравнение Кирхгофа. Тепловой закон Нернста.	3	10	13
	Итоговый контроль	1		1
	ВСЕГО	28	92	120

6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

6.1. Итоговый контроль

Формой итогового контроля является собеседование, реферат или зачет (на усмотрение научного руководителя).

Перечень вопросов для зачета:

1. Термодинамика и ее методы. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе.
2. Идеальный газ. Законы идеального газа. Смеси идеальных газов.
3. Первый закон термодинамики. Теплота. Опыт Джоуля. Эквивалентность теплоты и работы. Уравнение первого закона термодинамики.
4. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа.
5. Энтальпия. Обобщенные силы и обобщенные координаты.
6. Второй закон термодинамики. Циклы. Понятие термического КПД.
7. Источники теплоты. Обратимые и необратимые процессы.
8. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно.
9. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.
10. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность.
11. Дифференциальные уравнения термодинамики. Основные математические методы термодинамики.

12. Уравнение Максвелла. Частные производные внутренней энергии и энтальпии. Теплоемкости.
13. Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы.
14. Термодинамическое равновесие. Условия фазового равновесия.
15. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона—Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела.
16. Термодинамические свойства веществ. Термические и калорические свойства жидкостей. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
17. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха. Уравнение состояния реальных газов.
18. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке. Термодинамические свойства вещества в метастабильном состоянии.
19. Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс.
20. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля—Томпсона.
21. Адиабатическое расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля). Процесс смешения. Процессы сжатия в компрессоре.
22. Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения.
23. Сопло, диффузор. Полное и статическое давление.
24. Уравнение Бернулли. Число Маха. Показатель адиабаты.
25. Термодинамические циклы. Термический КПД.
26. Эксергия. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина.
27. Регенерация теплоты в цикле. Холодильные циклы. Обратные тепловые циклы и процессы.
28. Холодильные установки. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессионной холодильной установки. Цикл парожеткторной холодильной установки.
29. Понятие о цикле абсорбционной холодильной установки. Цикл термоэлектрической холодильной установки.
30. Принцип работы теплового насоса. Методы сжижения газов.
31. Основы химической термодинамики. Термохимия. Закон Гесса. Уравнения Кирхгофа.
32. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Константы равновесия и степень диссоциации. Тепловой закон Нернста.

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика	Представление оценочного средства в ФОС
1	Реферат	Продукт самостоятельной работы аспиранта, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.	Темы рефератов
2	Собеседование	Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам дисциплины: -перечень вопросов к семинару, -для устного опроса -задания для самостоятельной работы
3	Зачет	Продукт самостоятельной работы аспиранта, представляющий собой устный ответ по вопросам, охватывающим все разделы (модули) дисциплины. Позволяет оценить уровень приобретенных знаний.	Перечень вопросов к зачету

6.2. Критерии оценки итогового контроля

«зачтено»	-продемонстрировано полное усвоение материала; -неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса и продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала; -усвоены основные категории по рассматриваемому и дополнительным вопросам; -имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопросов;
-----------	---

	-при неполном знании теоретического материала выявлена недостаточная сформированность компетенций, умений и навыков, не может применить теорию в новой ситуации.
«не зачтено»	-не раскрыто основное содержание учебного материала; -обнаружено незнание или непонимание большей, или наиболее важной части учебного материала; -допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов; -не сформированы компетенции, умения и навыки.

При отсутствии оценки «зачтено» обучающийся не допускается к промежуточной аттестации.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

7.1. Литература

Основные источники литературы:

1. Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.
2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. Изд. 4-е. М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика [Электронный ресурс]: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
4. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
5. Ерохин В. Г., Маханько М. Г. Основы термодинамики и теплотехники : учебник. 4-е изд.- М. : URSS : Ленанд, 2019. - 223 с.
6. Белов Г. В. Термодинамика : учебник для академического бакалавриата. 3-е изд., испр. и доп. - М. : Юрайт, 2017. - 247 с.
7. Сычев В.В. Дифференциальные уравнения термодинамики. Изд. 2-е.. М.: Высш. шк., 1991.
8. Петров А. И. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебник для СПО. – 2-е издан., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 428 с.
9. Теплоэнергетика и теплотехника (справочная серия). В 4 книгах. Книга вторая. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
10. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика: учеб. пособие для вузов. – 5-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2007. – 261 с.
11. Базаров И.П. Термодинамика. – СПб. : издательство «Лань», 5-е изд., 2010. – 384 с.
12. Теплообменные аппараты ТЭС: Справочник в 2 кн. Кн. 1. / Под ред. Ю.Г. Назмеева и В.Н. Шлянникова. М.: Изд-во МЭИ, 2010.

13. Теплообменные аппараты ТЭС: Справочник в 2 кн. Кн. 2. / Под ред. Ю.Г. Назмеева и В.Н. Шлянникова. М.: Изд-во МЭИ, 2010.
14. Белов Г. В. Термодинамика : учебник и практикум для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2024. — 572 с.
15. Сивухин Д.В. Общий курс физики в 5 т. / Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Физматлит, 2005.
16. Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа. 1991.
17. Кирсанов Ю.А. Циклические тепловые процессы и теория теплопроводности в регенеративных воздухоподогревателях. М.: Физматлит, 2007.
18. Попкова О.С., Шинкевич Т.О. Термодинамика: Учебно-методический комплекс. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2009. — 148 с.
19. Глаголев К.В., Морозов А.Н.. Физическая термодинамика : учеб. пособие для студ. вузов. - 2-е изд., испр. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 272 с.
20. Кушнырев В.И., Лебедев В.И., В. А. Павленко В.А. Техническая термодинамика и теплопередача. Учеб. для вузов. - М.: Стройиздат, 1986. — 464 с.

7.2. Электронные ресурсы

1. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» - <http://www.iprbookshop.ru>
2. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» - <http://www.e.lanbook.com>
3. Электронная библиотечная система «Юрайт» - <https://www.urait.ru/>
4. Электронная библиотечная система «Библиокомплектатор» - <http://www.bibliocomplectator.ru/>
5. Зарубежная база данных реферируемых научных журналов Agris - <http://agris.fao.org/>
6. Web of Science - <http://apps.webofknowledge.com/>
7. Российская государственная библиотека - <http://www.rsl.ru>
8. Электронные информационные ресурсы ЦНСХБ - <http://www.cnsxb.ru/>
9. Электронная библиотека диссертаций РГБ - <http://diss.rsl.ru/>
10. Электронная платформа издательства SPRINGER - <http://www.springerlink.com>
11. Платформа научной электронной библиотеки e-Library.ru - <http://www.elibrary.ru>
12. Электронная платформа издательства Elsevier - <http://www.sciencedirect.com>
13. Электронная платформа издательства Elsevier - <http://www.scopus.com>
(Реферативно-поисковая база данных Scopus)

8. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр РАН располагает материально-технической базой, соответствующей санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и

практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы. Аудиторные занятия, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче зачета и кандидатского экзамена проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки, лабораторные комнаты), оборудованных мебелью (столы, стулья), компьютерами с доступом к сети Интернет, демонстрационным оборудованием.

Разработчики: ведущий научный сотрудник лаборатории теплофизики и волновых технологий, доцент, доктор технических наук Кирсанов Ю.А.; старший научный сотрудник лаборатории теплофизики и волновых технологий, кандидат технических наук Гатауллин Р.Н.

Ведущий научный сотрудник лаборатории
теплофизики и волновых технологий, доктор
технических наук

Ю.А. Кирсанов

Старший научный сотрудник лаборатории
теплофизики и волновых технологий, кандидат
технических наук

Р.Н. Гатауллин