

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Факультет компьютерных систем и информационных технологий

Кафедра прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ:

Декан факультета компьютерных
систем и информационных технологий
Кочевский А.А.



» апреля 2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Неравновесная термодинамика»

По направлению подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование

Магистерская программа: «Компьютерная аэрогидродинамика»

Луганск – 2023 г.

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Неравновесная термодинамика» по направлению подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование. – с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Неравновесная термодинамика» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от «10» января 2018 года № 14.

СОСТАВИТЕЛЬ:

канд. техн. наук, доцент Мальцева М.О.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры прикладной математики «18» апреля 2023 г., протокол № 10

Заведующий кафедрой прикладной математики _____  В.В.Малый

Переутверждена: «__» _____ 20__ г., протокол № _____

Переутверждена: «__» _____ 20__ года, протокол № _____

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных систем и информационных технологий «19» апрель 2023 г., протокол № 8.

Председатель учебно-методической
комиссии факультета компьютерных
систем и информационных технологий _____

 Н.Н. Ветрова.

© Мальцева М.О., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины – знакомство студентов с основными положениями и законами равновесной и неравновесной термодинамики, применение этих законов при решении фундаментальных и прикладных термодинамических задач.

Задачи: формирование у студентов базовых знаний, основных постулатов равновесной и неравновесной термодинамики, формирование навыков применения неравновесного термодинамического подхода к решению задач.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Неравновесная термодинамика» входит в часть, формируемая участниками образовательных отношений учебного плана по направлению подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

Дисциплина реализуется кафедрой гидрогазодинамики.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины является:

знание законов и теории общей физики, аэрогидромеханики, основ механики сплошной среды, теплофизические свойства жидкостей и газов, основ математического анализа;

умение грамотно обрабатывать результаты опыта и сопоставлять их с теоретическими данными, эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов;

навыки освоения большого объема информации и самостоятельной работы в лаборатории и Интернете.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: аэродинамика вентиляционных систем и служит основой для освоения дисциплин: моделирование турбулентности, компьютерное моделирование кавитации, аэроакустика больших скоростей.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Студенты, завершившие изучение дисциплины «Неравновесная термодинамика», должны:

знать информацию о вкладе российских ученых в развитие равновесной и неравновесной термодинамики; основные понятия, термины, законы, уравнения равновесной и неравновесной термодинамики; современные проблемы неравновесной термодинамики;

уметь применять общие математические методы равновесной и неравновесной термодинамики к решению широкого круга фундаментальных и прикладных физических задач, использовать методы неравновесной термодинамики при выполнении практических работ;

владеть навыками профессионального мышления, при изучении основных законов классической и неравновесной термодинамики, как основы современной техники и технологий; практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

Перечисленные результаты образования являются основой для формирования следующих компетенций (в соответствии с государственными образовательными стандартами ВО и требованиями к результатам освоения основной образовательной программы (ООП):

профессиональных:

ПК-1 - способен проводить научные исследования и получать новые научные и/или прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	216 (6 зач. ед)	216 (6 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	64	48
Лекции	32	28
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	32	20
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.)	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	152	168
Форма аттестации	экзамен	экзамен

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Основные положения термины и определения равновесной термодинамики.

История развития и становление равновесной и неравновесной термодинамики. Ученые, оказавшие влияние на развитие термодинамики. Термодинамическая система.

Тема 2. Нулевое начало термодинамики.

Термодинамическое состояние и термодинамический процесс. Тепловое равновесие. Температура в термодинамике. Нулевое начало термодинамики. Модели в термодинамике. Работа в термодинамике.

Тема 3. Закон сохранения энергии.

Внутренняя энергия и способы её изменения. Сохранение массы. Уравнение движения. Методы изучения свойств вещества.

Тема 4. Первый закон термодинамики.

Применение первого закона термодинамики к различным процессам. Невозможность создания вечного двигателя первого рода. Круговые процессы (циклы). Обратимые и необратимые процессы. Классический закон равнораспределения энергии по степеням свободы и границы его применимости.

Тема 5. Второе начало термодинамики.

Понятие энтропии. Преобразование внутренней энергии при изотермическом процессе. Вероятностный смысл энтропии. Второй закон термодинамики. Применение второго закона термодинамики для анализа изопроцессов. Свободная энергия. Энтропийный баланс Земли и глобальный экологический кризис.

Тема 6. Тепловые машины.

Тепловой двигатель. Холодильная установка. Тепловой насос. Применение термодинамики в задачах техники. Тепловые двигатели и охрана окружающей среды. Третье начало термодинамики.

Тема 7. Основные положения термины и определения неравновесной термодинамики.

Явления переноса в неравновесных системах. Статистическая интерпретация второго закона термодинамики. Энтропия открытой системы.

Тема 8. Самоорганизация открытых систем.

Понятие самоорганизации. Создание порядка из хаоса, самоорганизация процессов. Основы синергетики. Ячейки Бенара.

Тема 9. Второе начало термодинамики в открытых системах.

Изменение энтропии открытой системы. Энтропия и информация. Энтропия, кибернетика и генетика. Скорость производства энтропии и диссипации энергии в открытой системе. Термодинамическое сопряжение процессов. Неравновесные системы с изотропными и постоянными во времени температурой и давлением. Термодинамическое сопряжение процессов.

Тема 10. Движущие силы и скорости необратимых процессов.

Потоки термодинамических параметров и термодинамические силы. Соотношение между значениями движущих сил и скоростей процессов. «Термодинамическая» форма записи кинетических уравнений. Термодинамика систем вблизи равновесия (линейная термодинамика).

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Основные положения термины и определения равновесной термодинамики.	2	2
2	Нулевое начало термодинамики.	2	2
3	Закон сохранения энергии.	2	2
4	Первый закон термодинамики.	2	2
5	Второе начало термодинамики.	4	2
6	Тепловые машины.	4	4
7	Основные положения термины и определения неравновесной термодинамики.	4	4

8	Самоорганизация открытых систем.	4	4
9	Второе начало термодинамики в открытых системах.	4	4
10	Движущие силы и скорости необратимых процессов.	4	2
Итого:		32	28

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	История развития и становление равновесной и неравновесной термодинамики.	2	-
2	Тепловое равновесие. Температура Нулевое начало термодинамики.	2	2
3	Закон сохранения энергии. Сохранение массы. Уравнение движения.	2	2
4	Внутренняя энергия. Способы изменения внутренней энергии.	2	2
5	Работа в термодинамике.	2	2
6	Первый закон термодинамики и его применение.	4	2
7	Второй закон термодинамики. Применение второго закона термодинамики.	4	2
8	Энтропия.	2	2
9	Применение термодинамики в задачах техники: тепловой двигатель, холодильные установки, тепловой насос.	4	2
10	Неравновесная термодинамика.	4	2
11	Третий закон термодинамики.	2	1
12	Самоорганизация открытых систем.	2	1
Итого:		32	20

4.5. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено выполнение лабораторных работ.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Первое начало термодинамики.	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	10	10
2	Энтропия и второе начало тер-	Поиск, анализ,	10	10

	модинамики.	структурирование и изучение информации по темам. Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений. Подготовка к экзамену.		
3	Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в непрерывной среде.		10	10
4	Баланс массы для открытой термодинамической системы.		10	10
5	Второе начало термодинамики.		10	10
6	Механическое равновесие.		10	10
7	Стационарные состояния с минимальным производством энтропии.		10	10
8	Третье начало термодинамики.		10	10
9	Принцип Кюри.		10	10
10	Зависимые потоки и термодинамические силы.		10	10
11	Соотношение Онсагера.		10	10
12	Третий закон термодинамики.		10	13
13	Переменные состояния и флуктуации.		10	15
14	Броуновское движение.		10	15
15	Тепловой двигатель. Холодильная установка. Тепловой насос.		12	15
Итого:			152	168

4.7. Курсовые проекты.

Учебным планом не предусмотрено выполнение курсового проекта.

5. Образовательные технологии

С целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся используются инновационные образовательные технологии при реализации различных видов аудиторной работы в сочетании с внеаудиторной. Используемые образовательные технологии и методы направлены на повышение качества подготовки путем развития у обучающихся способностей к самообразованию и нацелены на активизацию и реализацию личностного потенциала.

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

- традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

- технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам активно усва-

ивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

– технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

– технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

– технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

– технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования;

– технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.;

– информационные технологии: использование электронных образовательных ресурсов (электронный конспект, книги, периодические издания, методические указания, к практическим занятиям размещенные во внутренней сети) при подготовке к лекциям и практическим занятиям.

– работа в команде: совместная работа студентов в группе при решении некоторых задач на практических занятиях, при написании рефератов по выбранным студентами темам.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

6. Формы контроля освоения дисциплины

Текущая аттестация студентов производится, в дискретные временные интервалы, лектором и преподавателем, ведущим практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- вопросы к письменному контролю;
- задачи к практическим занятиям;
- вопросы к практическим занятиям;
- рефераты;
- экзаменационные вопросы;

- тесты;
- самоконтроль.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задачи, контрольные вопросы, темы рефератов и темы для самоконтроля, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Форма аттестации по результатам освоения дисциплины проходит в форме письменного экзамена (включает в себя ответ на теоретические вопросы и решение задачи). Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25% на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по шкале, приведенной в таблице.

Шкала оценивания	Характеристика знания предмета и ответов
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.

7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Алиев И.Н., Термодинамика и электродинамика сплошных сред : учебное пособие / И.Н. Алиев - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 406 с. (Серия "Физика в техническом университете") - ISBN 978-5-7038-4877-7 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703848777.html>. - Режим доступа : по подписке.

2. Фокин Б.С. Основы неравновесной термодинамики: учебное пособие: учеб. пособие / Фокин Б.С. - Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2013. - 214 с. <https://elibr.spbstu.ru/dl/2/3475.pdf/view>

2. Сарина М.П., Механика, молекулярная физика и термодинамика. Молекулярная физика и термодинамика : учеб. пособие / Сарина М.П. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 96 с. - ISBN 978-5-7782-2939-6 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778229396.html>. - Режим доступа : по подписке.

3. Амирханов Д.Г., Техническая термодинамика : учебное пособие / Амирханов Д.Г., Амирханов Р.Д., Курбангалеев М.С., Махамадиев А.А., Хайруллин И.Х. - Казань : Издательство КНИТУ, 2017. - 320 с. - ISBN 978-5-7882-2297-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788222974.html>. - Режим доступа : по подписке.

б) дополнительная литература:

1. Кочеев А.А., Физика 2. Модули: Молекулярная физика, термодинамика, электричество и магнетизм : Учеб. пособие / Кочеев А.А. - Новосибирск : РИЦ НГУ, 2018. - 136 с. - ISBN 978-5-4437-0799-0 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785443707990.html>. - Режим доступа : по подписке.

2. Де Гроот С. Неравновесная термодинамика / С. Де Гроот, П. Мазур. - М.: Мир, 1964. - 456 с.

3. Зубарев Д. Н. Неравновесная статистическая термодинамика [Текст] / Д. Н. Зубарев. - М. : Наука, 1971. - 416 с. : ил. - 1 р. 80 к.

4. Петелин А.Л., Термодинамика и кинетика металлургических процессов / Петелин А.Л., Михалина Е.С. - М. : МИСиС, 2005. - 92 с. - ISBN -- - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru /book/MIS029.html>. - Режим доступа : по подписке.

5. Кириллин В.А., Техническая термодинамика : учебник для вузов / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин - М. : Издательский дом МЭИ, 2017. - 502 с. - ISBN 978-5-383-00939-0 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009390.html>. - Режим доступа : по подписке.

6. Мирам А.О., Техническая термодинамика. Тепломассообмен / А.О. Мирам, В.А. Павленко - М. : Издательство АСВ, 2017. - 352 с. - ISBN 978-5-93093-841-8 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. -

URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930938418.html>. - Режим доступа : по подписке.

7. Глаголев К.В., Физическая термодинамика : Учеб. пособие / Глаголев К.В., Морозов А.Н. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. - 272 с. (Физика в техническом университете) - ISBN 5-7038-2208-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5703822084.html>. - Режим доступа : по подписке.

в) методические указания:

1. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Неравновесная термодинамика» для магистров по направлению подготовки «Механика и математическое моделирование». 2015 года. – 16 с. Составитель: к.т.н., доцент кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля» Мальцева М.О.

г) Интернет-ресурсы:

1. Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

2. Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

3. Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

4. Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

5. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

6. Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

7. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

9. Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

10. Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

11. Научная библиотека имени А.Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Освоение дисциплины «Неравновесная термодинамика» предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Лекционные занятия: комплект электронных презентаций; аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук), соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Практические занятия: аудитория, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются мультимедийные средства; наборы слайдов или кинофильмов.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащено компьютером с доступом в Интернет.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP