

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ
Исполнительный директор
программы развития,
руководитель научно-
исследовательской политики
Г.Н. Суворов
«25» июня 2026 г.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА
Рабочая программа
для обучающихся по научной специальности
2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника
форма обучения (очная)

Пономарев К. О. Теоретическая и прикладная теплотехника. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, форма обучения (очная). Тюмень, 2026.

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации и срокам освоения, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951, с учетом изменений, внесенных приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 3 июня 2025 г. № 466.

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Теоретическая и прикладная теплотехника» опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

1.1. Актуальность, предназначение и место дисциплины в программе аспирантуры

Дисциплина «Теоретическая и прикладная теплотехника» относится к обязательной части образовательного компонента программы аспирантуры и является специальной дисциплиной по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника. Она обеспечивает фундаментальную и прикладную подготовку аспирантов по основным направлениям паспорта научной специальности, объединяет термодинамику, теплофизику, тепломассоперенос, теплогидравлику, теплотехническое оборудование, энергоэффективность, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы.

Дисциплина логически и содержательно связана с философией науки, иностранным языком, научным компонентом программы аспирантуры, научно-педагогической практикой, итоговой аттестацией и элективными дисциплинами программы аспирантуры: «Многофазный тепломассоперенос в флюидонасыщенных, пористых и мерзлых средах»; «Численное моделирование и цифровые двойники процессов тепломассопереноса в теплотехнических системах»; «Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий».

Для освоения дисциплины аспирант должен владеть базовыми знаниями в области общей физики, математического анализа, дифференциальных уравнений, механики жидкости и газа, термодинамики, теплопередачи, основ численного моделирования и инженерной теплотехники.

Содержание дисциплины согласовано с паспортом научной специальности 2.4.6 и охватывает теплофизические свойства веществ и флюидонасыщенных горных пород, термодинамические процессы и циклы, совместный перенос массы, импульса и энергии, тепло- и массообмен в одно- и многофазных системах, интенсификацию теплообмена, тепловую защиту, энергоэффективность, оптимизацию теплотехнических систем, обеспечение тепловых режимов, теоретические основы энергосбережения и малоотходных тепловых технологий.

Дисциплина выполняет три ключевые функции: экзаменационную – систематизирует подготовку к кандидатскому экзамену по специальности; научно-методологическую – помогает аспиранту корректно сформулировать объект, предмет, методы и научную новизну диссертационного исследования; профильную – закрепляет специализацию ТюмГУ в области тепломассопереноса, нефтегазовых и энергетических технологий, многофазных сред, тепловых режимов, численного и экспериментального исследования, энергоэффективности и ресурсосбережения.

1.2. Цель дисциплины

Целью освоения дисциплины «Теоретическая и прикладная теплотехника» является формирование у аспирантов системных и углубленных знаний, необходимых для самостоятельной постановки и решения фундаментальных и прикладных научных задач в области термодинамики, тепло- и массообмена, тепломассопереноса в одно- и многофазных средах, теплогидравлики, теплотехнического и энергетического оборудования, энергоэффективности, тепловых режимов и низкоотходных теплотехнологических процессов.

Дисциплина направлена на подготовку аспирантов к выполнению диссертационного исследования и сдаче кандидатского экзамена по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника. Содержание дисциплины ориентировано на исследование процессов переноса теплоты, массы и импульса в сплошных, многофазных, флюидонасыщенных, пористых, химически реагирующих и термически модифицируемых средах, а также на анализ, расчет, моделирование и совершенствование теплотехнических систем, оборудования и технологий.

1.3. Задачи дисциплины

- 1) Сформировать у аспирантов целостное представление о предмете, методах и современных направлениях теоретической и прикладной теплотехники.
- 2) Обеспечить углубленное освоение фундаментальных положений равновесной, неравновесной, технической и химической термодинамики.

- 3) Сформировать понимание термодинамических процессов и циклов применительно к установкам производства, преобразования, передачи и потребления энергии.
- 4) Изучить физические основы теплопроводности, конвективного теплообмена, радиационного теплообмена, массообмена и совместного переноса массы, импульса и энергии.
- 5) Рассмотреть процессы тепло- и массопереноса в одно- и многофазных системах, при фазовых превращениях, в пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах.
- 6) Изучить научные основы расчета, оптимизации и совершенствования теплообменных аппаратов, теплопередающих и теплоиспользующих установок.
- 7) Рассмотреть современные подходы к интенсификации тепло- и массообмена, тепловой защите, обеспечению тепловых режимов тепловыделяющего и теплоиспользующего оборудования.
- 8) Сформировать представление о математическом и численном моделировании теплотехнических процессов, включая построение расчетных моделей, элементы цифровых двойников, верификацию, анализ параметров и интерпретацию результатов.
- 9) Изучить теплофизические основы энергоэффективности, энергосбережения, низкоотходных и безотходных тепловых технологических процессов.
- 10) Сформировать понимание теплофизических основ обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии, низкоуглеродных и водородных энергетических технологий.
- 11) Подготовить аспирантов к аргументированному научному ответу на кандидатском экзамене и к применению содержания дисциплины в диссертационном исследовании.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины (модуля)

В результате освоения дисциплины «Теоретическая и прикладная теплотехника» у обучающегося формируются универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, обеспечивающие готовность к самостоятельной научно-исследовательской, научно-методической и научно-педагогической деятельности в области теоретической и прикладной теплотехники, а также к подготовке и защите диссертации по научной специальности 2.4.6.

Код	Наименование компетенции	Планируемый результат освоения дисциплины
УК-1	Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерирование новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Аспирант способен критически анализировать современные научные подходы, модели и результаты исследований в области термодинамики, тепло- и массопереноса, теплогидравлики и теплотехнических систем, выявлять научные проблемы и формулировать обоснованные исследовательские идеи.
УК-2	Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Аспирант способен проектировать комплексное исследование теплотехнического процесса или системы с учетом физической постановки задачи, выбора методов исследования, системного анализа объекта и научно-методологических оснований исследования.
УК-3	Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	Аспирант способен представлять и обсуждать результаты анализа теплотехнических процессов в профессиональной научной среде, участвовать в коллективном решении

		исследовательских задач по профилю специальности 2.4.6.
УК-4	Готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках	Аспирант способен готовить научные доклады, аналитические обзоры, экзаменационные ответы и элементы диссертационного исследования по теоретической и прикладной теплотехнике с использованием корректной профессиональной терминологии на русском и иностранном языках.
УК-5	Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	Аспирант способен планировать индивидуальную подготовку к кандидатскому экзамену и диссертационному исследованию, определять дефициты знаний по разделам термодинамики, тепло- и массопереноса, моделирования и теплотехнических систем и выстраивать траекторию их восполнения.
ОПК-1	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Аспирант способен самостоятельно выполнять научно-исследовательскую работу в области теоретической и прикладной теплотехники, применять расчетные, экспериментальные, численные и информационные методы анализа тепловых, теплогидравлических и тепломассопереносных процессов.
ОПК-2	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования	Аспирант способен использовать содержание дисциплины для подготовки учебных, методических и научно-образовательных материалов по термодинамике, теплопередаче, тепломассопереносу, теплотехническому оборудованию и энергоэффективности.
ПК-1	Способность обосновывать и формулировать научную задачу в области теоретической и прикладной теплотехники, включая определение актуальности, цели, задач, объекта, предмета, гипотезы, физической и математической постановки исследования, а также его соответствия паспорту научной специальности 2.4.6	Аспирант способен обосновать актуальность и научную постановку задачи по одному из направлений теоретической и прикладной теплотехники, определить объект, предмет, цель, задачи, гипотезу, физическую и математическую модель исследования и показать соответствие темы паспорту специальности 2.4.6.
ПК-2	Способность применять расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы исследования термодинамических, теплогидравлических и тепломассопереносных процессов в теплотехнических системах, одно- и	Аспирант способен выбирать и применять аналитические, расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы для исследования термодинамических, теплогидравлических и

	многофазных, пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах, включая обработку, верификацию, валидацию и интерпретацию полученных результатов	тепломассопереносных процессов, обрабатывать и интерпретировать результаты с учетом области применимости моделей и исходных допущений.
ПК-3	Способность обосновывать достоверность, научную новизну, теоретическую и практическую значимость результатов исследований в области теоретической и прикладной теплотехники, представлять и апробировать их в форме диссертации, научных публикаций, докладов, отчетов, результатов интеллектуальной деятельности и материалов научно-образовательной деятельности	Аспирант способен обосновывать достоверность, научную новизну, теоретическую и практическую значимость результатов исследования по профилю специальности 2.4.6, представлять их в форме научного доклада, аналитического обзора, экзаменационного ответа, раздела диссертации и иных научно-образовательных материалов.

2.1. Планируемые результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- предмет, методы и основные направления современной теоретической и прикладной теплотехники;
- фундаментальные законы термодинамики, основные термодинамические потенциалы, параметры состояния и уравнения состояния веществ;
- основы равновесной и неравновесной термодинамики, технической термодинамики, химической термодинамики и термодинамического анализа циклов;
- физические основы теплопроводности, конвективного теплообмена, массообмена, радиационного теплообмена и сопряженного теплопереноса;
- уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошных, многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах;
- основные критерии подобия и методы обобщения результатов теплофизических исследований;
- закономерности тепло- и массопереноса при фазовых превращениях, кипении, конденсации, испарении, плавлении, кристаллизации, пиролизе и газификации;
- основы тепло- и массопереноса в пористых, флюидонасыщенных, дисперсных и термически модифицируемых средах;
- методы расчета и анализа тепловых режимов теплообменных аппаратов, трубопроводов, скважин, резервуаров, промышленных и энергетических объектов;
- научные основы интенсификации теплообмена, тепловой защиты, энергоэффективности и энергосбережения;
- основы математического моделирования теплотехнических процессов и интерпретации расчетных и экспериментальных данных;
- теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии, тепловыделяющего оборудования, низкоуглеродных и ресурсосберегающих энергетических технологий;

Уметь:

- формулировать физическую и математическую постановку научной задачи в области теоретической и прикладной теплотехники;
- выбирать термодинамическую модель, расчетную схему и систему допущений применительно к исследуемому объекту;
- анализировать тепловые, гидродинамические и массопереносные процессы в одно- и многофазных системах;
- применять критерии подобия и безразмерные комплексы для анализа процессов тепло- и массопереноса;

- выполнять расчет и анализ типовых процессов теплопроводности, конвекции, теплообмена при фазовых превращениях и радиационного теплообмена;
- оценивать тепловые режимы теплотехнического, энергетического, теплоснабжающего и тепловыделяющего оборудования;
- анализировать процессы тепломассопереноса в пористых средах, скважинах, трубопроводах и флюидонасыщенных горных породах;
- применять термодинамический, энергетический и эксергетический подходы к анализу теплотехнических систем;
- интерпретировать результаты расчетных, экспериментальных и литературных исследований;
- формулировать структуру расчетной или цифровой модели теплотехнического процесса, определять входные параметры, выходные показатели, граничные условия, расчетные сценарии и ограничения применимости модели;
- связывать содержание дисциплины с темой собственного диссертационного исследования.

Владеть:

- профессиональной терминологией теоретической и прикладной теплотехники;
- методами термодинамического, теплофизического и теплогидравлического анализа;
- навыками постановки и решения расчетно-аналитических задач тепло- и массопереноса;
- навыками критического анализа научных публикаций по профилю специальности 2.4.6;
- методами оценки корректности физических допущений, граничных условий и расчетных моделей;
- навыками подготовки научного доклада, аналитического обзора, экзаменационного ответа и раздела диссертационного исследования;
- подходами к обоснованию научной новизны, теоретической и практической значимости исследований в области теоретической и прикладной теплотехники;
- навыками обоснования соответствия темы диссертационного исследования паспорту научной специальности 2.4.6.

3. Структура и объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **4 зачетные единицы, 144 академических часа**. Дисциплина реализуется в 5-м семестре; форма промежуточной аттестации – кандидатский экзамен.

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
		5-й семестр
Общий объем зач. ед. час	4	4
	144	144
Из них:		
Часы аудиторной работы (всего):	32	32
Лекции	16	16
Практические занятия	16	16
Лабораторные / практические занятия по подгруппам	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	76	76
Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен, экзамен)	36	Кандидатский экзамен 36

4. Система оценивания

4.1. Текущий контроль и учет его результатов при промежуточной аттестации

Текущий контроль проводится в течение периода освоения дисциплины и направлен на проверку теоретической подготовки, расчетно-аналитических навыков, способности работать с научной литературой и умения связывать содержание дисциплины с темой диссертационного исследования и паспортом научной специальности 2.4.6.

Текущий контроль включает:

- участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях;
- выполнение расчетно-аналитического задания;
- подготовку аналитического обзора литературы по теме диссертационного исследования;
- подготовку научного доклада (презентации) по одному из разделов дисциплины;
- подготовку краткого обоснования соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6.

Вид работы	Максимальное количество баллов
Участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях	15
Расчетно-аналитическое задание	25
Аналитический обзор современной научной литературы	20
Научный доклад (презентация)	20
Обоснование соответствия темы диссертации паспорту 2.4.6	20
Итого	100

Баллы	Оценка
91-100	отлично
76-90	хорошо
61-75	удовлетворительно
60 и менее	неудовлетворительно

Результаты текущего контроля используются для допуска аспиранта к кандидатскому экзамену и могут учитываться экзаменационной комиссией при общей характеристике уровня подготовки аспиранта.

4.2. Условия допуска к кандидатскому экзамену

К кандидатскому экзамену по дисциплине «Теоретическая и прикладная теплотехника» допускается аспирант, который:

- 1) освоил основные разделы дисциплины;
- 2) принял участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях;
- 3) выполнил предусмотренные рабочей программой дисциплины виды текущего контроля в объеме, достаточном для получения положительной оценки;
- 4) выполнил расчетно-аналитическое задание и / или аналитический обзор современной научной литературы;
- 5) подготовил доклад (презентацию) по одному из разделов дисциплины или по теме, связанной с направлением исследований 2.4.6;
- 6) подготовил краткое обоснование соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6;
- 7) не имеет академической задолженности по дисциплине;
- 8) выполнил требования, установленные рабочей программой дисциплины и локальными нормативными актами университета.

При наличии неудовлетворительных результатов текущего контроля аспиранту может быть предложена доработка соответствующих материалов до прохождения кандидатского экзамена.

5. Содержание дисциплины

5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактно й работы
			Лекции	Практическ ие занятия	Лабораторны е/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Предмет, методы и современная проблематика теоретической и прикладной теплотехники	4	2	2	0	0
2.	Термодинамика, статистическая физика и теплофизические свойства веществ	4	2	2	0	0
3.	Техническая термодинамика, циклы и установки преобразования энергии	4	2	2	0	0
4.	Теплопроводность, конвективный теплообмен и радиационный теплообмен	4	2	2	0	0
5.	Тепло- и массоперенос в одно- и многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах	4	2	2	0	0
6.	Тепломассоперенос в пористых и флюидонасыщенных средах, скважинах и трубопроводах	4	2	2	0	0
7.	Теплообменные аппараты, теплотехническое оборудование, интенсификация теплообмена и тепловая	4	2	2	0	0

	защита					
8.	Энергоэффективность, тепловые режимы, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы	4	2	2	0	0
9.	Консультация перед кандидатским экзаменом	2	0	0	0	2
10.	Промежуточная аттестация: кандидатский экзамен	34	0	0	0	34
	Итого (часов)	68	16	16	0	36

Самостоятельная работа обучающегося в объеме 76 академических часов планируется в разделе 6 настоящей рабочей программы.

5.2. Содержание дисциплины (модуля) по темам

Тема 1. Предмет, методы и современная проблематика теоретической и прикладной теплотехники

Теоретическая и прикладная теплотехника как научная специальность. Область исследований, объекты, методы и современная проблематика специальности **2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника**. Связь термодинамики, теплофизики, тепломассопереноса, теплогидравлики, теплотехнического оборудования, энергоэффективности, тепловых режимов и теплотехнологических процессов.

Паспорт научной специальности 2.4.6 и его применение при обосновании темы диссертационного исследования. Физическая и математическая постановка научной задачи. Понятия объекта, предмета, цели, задач, гипотезы, модели, научной новизны, достоверности, теоретической и практической значимости результатов.

Расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы исследования. Верификация, валидация, интерпретация результатов и область применимости моделей. Границы специальности: отличие задач теоретической и прикладной теплотехники от задач приборостроения, автоматизированного управления, общей энергетики, общей экологии, химической технологии и смежных научных специальностей.

Тема 2. Термодинамика, статистическая физика и теплофизические свойства веществ

Термодинамическая система, параметры состояния, равновесные и неравновесные состояния. Термодинамический процесс. Первый и второй законы термодинамики. Внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, свободная энергия, энергия Гиббса, термодинамические потенциалы.

Идеальные и реальные газы. Уравнения состояния. Смеси газов, пары, влажный воздух, парогазовые смеси. Теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, плотность, вязкость и коэффициенты переноса. Фазовые равновесия и фазовые переходы. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Критическое состояние, метастабильные состояния, фазовые переходы первого и второго рода.

Теплофизические свойства веществ, материалов, флюидов, смесей, дисперсных сред, флюидонасыщенных горных пород, пористых и мерзлых сред. Эффективные теплофизические свойства многокомпонентных и гетерогенных систем. Основные положения статистической физики и молекулярно-кинетическая интерпретация температуры, давления, внутренней энергии, теплоемкости и энтропии.

Тема 3. Техническая термодинамика, циклы и установки преобразования энергии

Обратимые и необратимые процессы. Изохорные, изобарные, изотермические, адиабатные и политропные процессы. Процессы сжатия, расширения, истечения, дросселирования и смешения.

Эффект Джоуля – Томсона. Параметры торможения. Сопла и диффузоры. Число Маха. Термодинамические особенности течений сжимаемых сред.

Термодинамические циклы тепловых машин и энергетических установок: Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Холодильные циклы и циклы тепловых насосов. Регенерация, рекуперация и утилизация теплоты. Комбинированные энергетические циклы.

Энергетический, эксергетический и энтропийный анализ. Эксергия и анергия. Источники необратимости. Потери работоспособности. Эксергетический КПД. Термодинамический анализ установок производства, преобразования, передачи и потребления энергии. Основы химической термодинамики, термохимия и химическое равновесие. Термодинамические основы энергоэффективности, ресурсосбережения и низкоуглеродных энергетических технологий.

Тема 4. Теплопроводность, конвективный теплообмен и радиационный теплообмен

Физические механизмы теплопроводности. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия. Граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода. Стационарная и нестационарная теплопроводность. Плоская, цилиндрическая и сферическая стенки. Многослойные системы. Тепловое сопротивление. Контактное тепловое сопротивление. Критерии Био и Фурье.

Теплопроводность в неоднородных, анизотропных, дисперсных, пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах. Эффективная теплопроводность. Влияние влажности, пористости, насыщенности, льдистости и фазового состава на процессы теплопереноса.

Конвективный теплообмен. Закон Ньютона – Рихмана. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Пограничный слой. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Ламинарное и турбулентное течение. Вынужденная, свободная и смешанная конвекция. Теплообмен при течении в трубах и каналах, при внешнем обтекании тел, пластин, цилиндров, пучков труб и тел сложной формы.

Теория подобия и размерностей. Критерии Рейнольдса, Прандтля, Нуссельта, Грасгофа, Рэлея, Пекле, Стентона, Био, Фурье. Критериальные уравнения теплообмена и область их применимости.

Радиационный теплообмен. Основные законы теплового излучения: Планка, Вина, Стефана – Больцмана, Кирхгофа и Ламберта. Радиационный теплообмен между поверхностями. Угловые коэффициенты излучения. Экранирование излучения. Теплообмен излучением в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах.

Тема 5. Тепло- и массоперенос в одно- и многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах

Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошных, многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах. Диффузия, конвективный массоперенос, тепловая диффузия, бародиффузия, сопряженный перенос теплоты и массы. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Безразмерные критерии и аналогии тепло- и массообмена. Критерии Шмидта, Шервуда, Льюиса.

Тепломассоперенос в бинарных и многокомпонентных смесях. Межфазный тепло- и массообмен. Локальное термодинамическое равновесие и локальное неравновесие. Обобщенные силы и потоки в неравновесных процессах переноса.

Тепло- и массообмен при фазовых превращениях: кипение, конденсация, испарение, сублимация, плавление, кристаллизация. Пузырьковое, пленочное и переходное кипение. Кризисы теплообмена. Критический тепловой поток. Пленочная и капельная конденсация. Задачи Стефана. Теплообмен с фазопереходными материалами.

Тепломассоперенос в химически реагирующих и термически модифицируемых средах. Термическое разложение, пиролиз, газификация, сушка, термическая переработка органического сырья, топлива, биомассы, отходов и углеродсодержащих материалов. Тепловые эффекты химических реакций. Энергетическая и эксергетическая оценка термохимических и низкоотходных теплотехнологических процессов.

Тема 6. Тепломассоперенос в пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах, скважинах и трубопроводах

Пористые, флюидонасыщенные, водонасыщенные и мерзлые среды как объекты теоретической и прикладной теплотехники. Пористость, проницаемость, насыщенность, капиллярное давление, относительная фазовая проницаемость, эффективные теплофизические и фильтрационные свойства.

Однофазная и многофазная фильтрация. Закон Дарси и область его применимости. Радиальная фильтрация. Неизотермическая фильтрация. Тепло- и массоперенос в флюидонасыщенных горных породах, кернах, грунтах и техногенно измененных пористых материалах. Влияние структуры порового пространства, температуры, давления и фазового состава на процессы переноса.

Тепловые процессы в пластах, скважинах, призабойных зонах, трубопроводах, резервуарах и природно-технических системах. Газожидкостные и газоконденсатные течения. Фазовые превращения, гидратообразование и разложение газовых гидратов. Тепловые методы воздействия на пласт и увеличения нефтеотдачи.

Тепломассоперенос в мерзлых и водонасыщенных средах. Промерзание, оттаивание, миграция влаги, фазовые превращения воды и льда, изменение теплофизических свойств мерзлых и талых сред. Тепловое воздействие скважин, трубопроводов, резервуаров, промышленных и энергетических объектов на мерзлые и водонасыщенные среды при наличии выраженной теплотехнической постановки задачи.

Тема 7. Теплообменные аппараты, теплотехническое оборудование, интенсификация теплообмена и тепловая защита

Классификация теплообменных аппаратов. Рекуперативные, регенеративные и смешительные теплообменники. Кожухотрубные, пластинчатые, оребренные, спиральные, компактные, микроканальные и специальные теплообменные аппараты.

Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средняя логарифмическая разность температур. Метод эффективности и числа единиц переноса. Расчет поверхности теплообмена, конечных температур теплоносителей и гидравлических потерь. Теплогидравлическая эффективность теплообменных аппаратов. Связь теплоотдачи, расхода, перепада давления и энергетических затрат на прокачку теплоносителя.

Теплопередающие, теплоиспользующие, тепловыделяющие и энергетические установки. Тепловые потери. Методы интенсификации тепло- и массообмена: оребрение, турбулизация, закрутка потока, микроканальные структуры, пористые вставки, фазовые переходы, тепловые трубы, термосифоны и перспективные теплообменные поверхности.

Тепловая защита, термостабилизация и управление тепловыми режимами оборудования. Тепловые экраны, теплоизоляция, тепловые интерфейсы, контактные сопротивления, жидкостное, воздушное, испарительное, фазопереходное, теплотрубное и гибридное охлаждение. Надежность, безопасность и ограничения тепловых режимов теплотехнического оборудования.

Тема 8. Энергоэффективность, тепловые режимы, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы

Теплофизические основы энергоэффективности, энергосбережения и ресурсосбережения. Энергетический баланс. Потери теплоты. Вторичные энергетические ресурсы. Рекуперация и регенерация теплоты. Утилизация низкопотенциальной теплоты. Тепловые насосы. Показатели энергетической и эксергетической эффективности теплотехнических систем.

Системы обеспечения теплового режима промышленных, энергетических, нефтегазовых, коммунальных, автономных, теплopotребляющих и тепловыделяющих объектов. Температурное поле, тепловой поток, тепловая нагрузка, тепловое сопротивление, тепловая инерция, температурная неоднородность. Тепловая безопасность, надежность и ресурс теплотехнических объектов.

Тепловые режимы автономных мобильных систем, систем накопления энергии, аккумуляторных батарей, силовой электроники, электрических приводов, бортовых энергетических установок и компактного тепловыделяющего оборудования. Воздушное, жидкостное, испарительное, фазопереходное, теплотрубное и гибридное охлаждение.

Математическое и численное моделирование теплотехнических процессов. Физико-математическая постановка задач тепломассопереноса. Расчетные модели и цифровые модели

теплотехнических процессов. Элементы цифровых двойников теплотехнических систем как физически обоснованных информационно-расчетных моделей для анализа, прогноза и оптимизации тепловых режимов. Входные параметры, выходные показатели, расчетные сценарии, источники данных, верификация, валидация и ограничения применимости моделей.

Низкоотходные и безотходные тепловые технологические процессы. Термическая переработка органического сырья, пиролиз, газификация, сушка, термообработка, теплотехнологические процессы переработки углеродсодержащего сырья и отходов. Теплофизические аспекты водородных и низкоуглеродных энергетических технологий, топливных элементов, электролизеров, систем хранения и подготовки водорода. Тепловая безопасность, ресурсосбережение и снижение энергетических и экологических потерь как прикладной результат совершенствования теплотехнических процессов.

5.3. Тематика практических и семинарских занятий

- 1) Формулировка научной задачи по паспорту специальности 2.4.6: объект, предмет, методы и ожидаемые результаты.
- 2) Анализ термодинамического процесса: работа, теплота, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии.
- 3) Термодинамический и эксергетический анализ цикла тепловой машины или теплового насоса.
- 4) Расчет теплопередачи через плоскую или цилиндрическую стенку с граничными условиями третьего рода.
- 5) Анализ критериальных зависимостей для вынужденной и свободной конвекции.
- 6) Постановка задачи теплообмена при кипении или конденсации.
- 7) Составление системы уравнений совместного переноса массы, импульса и энергии в многофазной среде.
- 8) Постановка задачи неизотермической фильтрации в пористой флюидонасыщенной среде.
- 9) Расчетная схема теплового режима трубопровода, скважины, резервуара или теплообменного аппарата.
- 10) Анализ теплового и гидравлического расчета теплообменного аппарата.
- 11) Обсуждение современных методов интенсификации теплообмена и тепловой защиты.
- 12) Анализ термохимической переработки углеродсодержащего сырья как теплотехнологического процесса.
- 13) Критический разбор научной статьи по тематике диссертационного исследования аспиранта.
- 14) Обоснование соответствия темы диссертационного исследования направлениям паспорта 2.4.6.
- 15) Подготовка устного ответа на вопрос кандидатского экзамена.
- 16) Итоговый научный семинар: связь дисциплины с диссертационными исследованиями аспирантов.

5.4. Образцы средств для проведения текущего контроля

В качестве образцов средств текущего контроля используются расчетно-аналитические задания, аналитический обзор современной научной литературы, научный доклад (презентация) и краткое обоснование соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6. Детализированные требования к оценочным средствам приведены в разделе 7 настоящей рабочей программы и в оценочных материалах по дисциплине.

6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа аспиранта включает изучение учебной и научной литературы по разделам дисциплины, подготовку конспектов по ключевым вопросам кандидатского экзамена, решение расчетно-аналитических задач, подготовку обзора современных научных публикаций за

последние 5 лет, подготовку доклада по теме диссертационного исследования, анализ соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6 и подготовку к кандидатскому экзамену.

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Предмет, методы и современная проблематика теоретической и прикладной теплотехники	Работа с паспортом специальности 2.4.6; подготовка краткой формулировки научной задачи по теме диссертации; анализ границ специальности и смежных областей.
2.	Термодинамика, статистическая физика и теплофизические свойства веществ	Проработка учебной литературы; подготовка конспекта по законам термодинамики, термодинамическим потенциалам и теплофизическим свойствам веществ; решение расчетных задач.
3.	Техническая термодинамика, циклы и установки преобразования энергии	Анализ циклов тепловых машин, холодильных установок и тепловых насосов; выполнение энергетического и эксергетического анализа; подготовка примеров прикладного использования.
4.	Теплопроводность, конвективный теплообмен и радиационный теплообмен	Решение задач теплопроводности и конвекции; выбор критериальных зависимостей; анализ граничных условий и области применимости моделей.
5.	Тепло- и массоперенос в одно- и многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах	Подготовка аналитического обзора по многофазному тепломассопереносу, фазовым превращениям или термохимической переработке; анализ межфазных взаимодействий.
6.	Тепломассоперенос в пористых и флюидонасыщенных средах, скважинах и трубопроводах	Проработка моделей фильтрации; постановка задачи неизотермической фильтрации; анализ тепловых режимов скважин, трубопроводов и резервуаров.
7.	Теплообменные аппараты, теплотехническое оборудование, интенсификация теплообмена и тепловая защита	Выполнение теплового и гидравлического расчета теплообменного аппарата; анализ методов интенсификации теплообмена и тепловой защиты.
8.	Энергоэффективность, тепловые режимы, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы	Подготовка структуры расчетной или цифровой модели; анализ энергоэффективности, тепловых режимов и низкоотходных теплотехнологических процессов; подготовка к кандидатскому экзамену.

Рекомендуемые темы самостоятельных работ

- 1) Термодинамические потенциалы и их применение в анализе теплотехнических процессов.
- 2) Эксергетический анализ энергетических и теплотехнологических установок.
- 3) Теплофизические свойства флюидонасыщенных горных пород.
- 4) Модели теплопроводности в однослойных и многослойных телах.
- 5) Конвективный теплообмен в каналах при ламинарном и турбулентном течении.
- 6) Теплообмен при свободной конвекции.
- 7) Теплообмен при внешнем обтекании тел.

- 8) Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах.
- 9) Тепломассоперенос при кипении и конденсации.
- 10) Межфазный тепло- и массообмен в многофазных системах.
- 11) Неизотермическая фильтрация в пористых средах.
- 12) Многофазный тепломассоперенос в скважинах и трубопроводах.
- 13) Тепловые методы воздействия на пласт.
- 14) Теплогидравлический расчет теплообменного аппарата.
- 15) Интенсификация теплообмена и тепловая защита.
- 16) Математическое моделирование теплового режима промышленного объекта.
- 17) Энергосбережение в теплотехнологических системах.
- 18) Термохимическая переработка углеродсодержащего сырья.
- 19) Тепловые режимы автономных мобильных систем и накопителей энергии.
- 20) Соответствие темы диссертационного исследования паспорту специальности 2.4.6.

7. Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю)

7.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Форма проведения промежуточной аттестации – кандидатский экзамен. Кандидатский экзамен проводится в устной форме по экзаменационным билетам. Экзаменационный билет рекомендуется формировать из трех вопросов: первый вопрос – фундаментальный раздел термодинамики, статистической физики, теплофизики, технической термодинамики или теории тепло- и массопереноса; второй вопрос – прикладной раздел теплопроводности, конвективного теплообмена, радиационного теплообмена, фазовых превращений, многофазных систем, пористых сред, теплотехнического оборудования, тепловых режимов или энергоэффективности; третий вопрос – прикладная, расчетно-аналитическая или научно-методологическая постановка, связанная с паспортом 2.4.6, современной теплотехнической проблематикой или темой диссертационного исследования аспиранта.

Во время экзамена экзаменационная комиссия вправе задавать дополнительные вопросы по программе дисциплины, по содержанию экзаменационного билета, по выполненным аспирантом текущим работам и по содержанию диссертационного исследования в части его соответствия научной специальности 2.4.6.

7.1.1. Примерные вопросы для текущего контроля

- 1) Предмет и методы теоретической и прикладной теплотехники.
- 2) Первый закон термодинамики. Работа, теплота, внутренняя энергия и энтальпия.
- 3) Второй закон термодинамики. Энтропия и необратимость.
- 4) Термодинамические потенциалы и их физический смысл.
- 5) Техническая термодинамика и анализ циклов тепловых машин.
- 6) Эксергия и источники потерь работоспособности в теплотехнических системах.
- 7) Теплофизические свойства веществ и смесей.
- 8) Теплофизические свойства флюидонасыщенных горных пород.
- 9) Уравнение теплопроводности и граничные условия.
- 10) Стационарная и нестационарная теплопроводность.
- 11) Конвективный теплообмен и критерии подобия.
- 12) Теплообмен при вынужденной и свободной конвекции.
- 13) Радиационный теплообмен.
- 14) Теплообмен при кипении и конденсации.
- 15) Совместный перенос массы, импульса и энергии.
- 16) Тепломассоперенос в многофазных системах.
- 17) Тепломассоперенос в пористых средах.
- 18) Неизотермическая фильтрация.
- 19) Тепловой режим скважин, трубопроводов и резервуаров.

- 20) Теплогидравлический расчет теплообменных аппаратов.
- 21) Интенсификация тепло- и массообмена.
- 22) Тепловая защита тепловыделяющего оборудования.
- 23) Энергоэффективность и энергосбережение в теплотехнических системах.
- 24) Математическое моделирование теплотехнических процессов.
- 25) Низкоотходные и безотходные тепловые технологические процессы.
- 26) Связь темы диссертации с паспортом научной специальности 2.4.6.

7.1.2. Примерный перечень вопросов к кандидатскому экзамену

- 1) Предмет, область исследований и современная проблематика научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.
- 2) Паспорт научной специальности 2.4.6 и его применение при обосновании темы диссертационного исследования.
- 3) Физическая и математическая постановка научной задачи в области теоретической и прикладной теплотехники.
- 4) Расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы исследования теплотехнических процессов.
- 5) Понятия модели, допущения, области применимости, верификации и валидации в теплотехническом исследовании.
- 6) Термодинамическая система, параметры состояния, равновесные и неравновесные состояния.
- 7) Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия, теплота, работа, энтальпия.
- 8) Второй закон термодинамики. Энтропия, обратимые и необратимые процессы, термодинамическая вероятность.
- 9) Термодинамические потенциалы и условия равновесия термодинамических систем.
- 10) Уравнения состояния идеальных и реальных газов. Смеси газов, пары, влажный воздух и парогазовые смеси.
- 11) Теплоемкость газов, жидкостей и твердых тел. Связь теплоемкостей с уравнениями состояния.
- 12) Фазовые равновесия и фазовые переходы. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.
- 13) Критическая точка, метастабильные состояния и теплофизические свойства вещества вблизи фазовых переходов.
- 14) Основы равновесной и неравновесной термодинамики. Производство энтропии, термодинамические силы и потоки.
- 15) Основные положения статистической физики и молекулярно-кинетическая интерпретация термодинамических величин.
- 16) Основные термодинамические процессы идеального и реального газа: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный и политропный процессы.
- 17) Дросселирование, эффект Джоуля – Томсона и адиабатическое расширение реального газа.
- 18) Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения, сопла, диффузоры, критические режимы истечения.
- 19) Термодинамические циклы тепловых машин: Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина.
- 20) Холодильные циклы и циклы тепловых насосов. Коэффициенты эффективности.
- 21) Эксергия, анергия и эксергетический анализ теплотехнических систем.
- 22) Источники необратимости и потери работоспособности в установках производства, преобразования, передачи и потребления энергии.
- 23) Основы химической термодинамики. Тепловые эффекты реакций, закон Гесса, химическое равновесие.
- 24) Закон Фурье и уравнение теплопроводности. Физический смысл коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.
- 25) Начальные и граничные условия в задачах теплопроводности. Граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода.

- 26) Стационарная теплопроводность в плоской, цилиндрической и сферической стенке.
- 27) Нестационарная теплопроводность. Критерии Фурье и Био. Метод сосредоточенной теплоемкости.
- 28) Теплопроводность многослойных систем. Тепловые сопротивления и контактное тепловое сопротивление.
- 29) Эффективные теплофизические свойства пористых, флюидонасыщенных, дисперсных и мерзлых сред.
- 30) Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде.
- 31) Уравнение Навье – Стокса и его применение в задачах теплогидравлики.
- 32) Квазидномерное движение жидкости и газа в трубах. Обобщенное уравнение Бернулли.
- 33) Физические основы конвективного теплообмена. Закон Ньютона – Рихмана. Гидродинамический и тепловой пограничные слои.
- 34) Критерии подобия при конвективном теплообмене: Re , Pr , Nu , Gr , Ra , Pe , St .
- 35) Вынужденная конвекция при внешнем обтекании тел и течении в каналах.
- 36) Свободная и смешанная конвекция. Условия возникновения и расчетные подходы.
- 37) Турбулентный теплообмен и методы его расчета.
- 38) Радиационный теплообмен. Законы Планка, Вина, Стефана – Больцмана, Кирхгофа и Ламберта.
- 39) Теплообмен излучением между поверхностями и в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах.
- 40) Диффузия и конвективный массоперенос. Законы Фика и критерии подобия массопереноса.
- 41) Сопряженный тепло- и массоперенос. Аналогии переноса массы, импульса и энергии.
- 42) Тепло- и массообмен при кипении. Режимы кипения, критический тепловой поток, кризисы теплообмена.
- 43) Теплообмен при пленочной и капельной конденсации.
- 44) Испарение, сушка, плавление, кристаллизация и сублимация. Постановка задач с подвижной границей фазового перехода.
- 45) Тепломассоперенос в химически реагирующих и термически модифицируемых средах.
- 46) Теплофизические основы пиролиза, газификации, термического разложения и низкоотходных термических процессов.
- 47) Пористость, проницаемость, насыщенность и капиллярное давление как параметры пористой среды.
- 48) Закон Дарси и область его применимости. Однофазная фильтрация в пористой среде.
- 49) Многофазная фильтрация. Относительные фазовые проницаемости, капиллярные эффекты и функция Леверетта.
- 50) Неизотермическая фильтрация в пористых и флюидонасыщенных средах.
- 51) Тепломассоперенос в флюидонасыщенных горных породах, кернах и грунтах.
- 52) Тепловые процессы в пластах, скважинах, призабойных зонах, трубопроводах и резервуарах.
- 53) Газожидкостные и газоконденсатные течения в теплотехнических и нефтегазовых системах.
- 54) Газовые гидраты в пористых средах: теплофизические аспекты образования и разложения.
- 55) Тепломассоперенос в мерзлых и водонасыщенных средах.
- 56) Промерзание и оттаивание пористых сред. Фазовые превращения воды и льда в поровом пространстве.
- 57) Миграция влаги и изменение теплофизических свойств мерзлых и талых сред.
- 58) Тепловое воздействие промышленных, энергетических и нефтегазовых объектов на природно-технические системы.
- 59) Классификация теплообменных аппаратов: рекуперативные, регенеративные и смешительные теплообменники.
- 60) Тепловой баланс и уравнение теплопередачи в теплообменном аппарате.

- 61) Средний температурный напор, метод логарифмического среднего температурного напора и метод эффективности теплообменника.
- 62) Гидравлический расчет теплообменных аппаратов и мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителей.
- 63) Методы интенсификации тепло- и массообмена и оценка их теплогидравлической эффективности.
- 64) Тепловая защита и термостабилизация тепловыделяющего оборудования.
- 65) Тепловые трубы, термосифоны, фазопереходные материалы и компактные теплообменные устройства в системах теплоотвода.
- 66) Тепловые режимы аккумуляторных батарей, силовой электроники, автономных мобильных систем и компактных энергетических установок.
- 67) Теплофизические аспекты систем накопления энергии.
- 68) Теплофизические процессы в водородных энергетических системах, топливных элементах, электролизерах и системах хранения водорода.
- 69) Основы математического и численного моделирования теплотехнических процессов.
- 70) Методы конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов в задачах теплопроводности и тепломассопереноса.
- 71) Устойчивость, сходимость, аппроксимация, погрешность и сеточная независимость численных схем.
- 72) Верификация, валидация, анализ чувствительности и неопределенности расчетных моделей теплотехнических процессов.
- 73) Расчетные цифровые модели и цифровые двойники теплотехнических систем: физическая основа, структура, данные, расчетные сценарии и границы применимости.
- 74) Энергоэффективность, энергосбережение, ресурсосбережение и утилизация низкопотенциальной теплоты в теплотехнических системах.
- 75) Низкоуглеродные энергетические технологии, низкоотходные теплотехнологические процессы и термическая переработка углеродсодержащего сырья.
- 76) Обоснование соответствия темы диссертационного исследования паспорту научной специальности 2.4.6.
- 77) Физическая и математическая постановка задачи диссертационного исследования аспиранта: объект, предмет, цель, задачи, гипотеза, модель и основные допущения.
- 78) Методы исследования, достоверность, воспроизводимость, верификация, валидация и интерпретация результатов диссертационного исследования.
- 79) Научная новизна, теоретическая и практическая значимость, публикации, апробация и личный вклад аспиранта в результаты диссертационного исследования.

7.1.3. Примерные расчетно-аналитические задания

- **Термодинамический анализ процесса идеального или реального газа.** Выполнить расчет параметров состояния, работы, теплоты, изменения внутренней энергии и энтальпии для заданного термодинамического процесса. Обосновать выбранную модель вещества и область ее применимости.
- **Расчет изменения энтропии и эксергии в необратимом теплотехническом процессе.** Определить изменение энтропии, эксергетические потери и источники необратимости. Сделать вывод о влиянии необратимости на эффективность процесса.
- **Оценка КПД теплового цикла и влияния регенерации теплоты.** Рассчитать термический КПД заданного цикла, определить влияние регенерации, рекуперации или утилизации теплоты на энергетическую эффективность установки.
- **Расчет теплопередачи через многослойную плоскую или цилиндрическую стенку.** Определить плотность теплового потока, термические сопротивления, температуры на границах слоев и коэффициент теплопередачи с учетом граничных условий третьего рода.
- **Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции в канале.** Определить режим течения, рассчитать критерии Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта, выбрать критериальную зависимость и определить коэффициент теплоотдачи.

- **Расчет теплообмена при свободной конвекции около вертикальной поверхности.** Рассчитать критерии Грасгофа, Рэлея, Прандтля и Нуссельта, определить коэффициент теплоотдачи и оценить область применимости выбранной зависимости.

- **Постановка задачи теплообмена при кипении или конденсации.** Сформулировать физическую постановку задачи, определить основные режимы процесса, выбрать расчетную модель и указать факторы, влияющие на интенсивность теплообмена.

- **Система уравнений переноса массы, импульса и энергии для многофазной среды.** Составить уравнения баланса для заданной многофазной системы, определить межфазные взаимодействия, указать необходимые замыкающие соотношения и допущения.

- **Постановка задачи однофазной или многофазной фильтрации в пористой среде.** Сформулировать уравнения фильтрации, определить параметры пористой среды, начальные и граничные условия, указать влияние температуры на свойства флюидов и фильтрационные характеристики.

- **Расчетная оценка теплового режима трубопровода, скважины или резервуара.** Составить тепловой баланс объекта, определить тепловые потери, температурное поле или характерную температуру, оценить влияние теплоизоляции, окружающей среды и режима эксплуатации.

- **Тепловой расчет теплообменного аппарата по методу средней логарифмической разности температур.** Рассчитать тепловую нагрузку, среднюю логарифмическую разность температур, коэффициент теплопередачи и требуемую поверхность теплообмена. Указать ограничения применимости метода.

- **Анализ энергетической и эксергетической эффективности термохимической переработки углеродсодержащего сырья.** Составить энергетический баланс процесса пиролиза, газификации или термической модификации, оценить полезный энергетический выход, потери и направления повышения эффективности.

- **Оценка теплового режима автономной мобильной системы или тепловыделяющего оборудования.** Для заданной тепловой мощности, площади теплоотдачи, теплоемкости и условий охлаждения оценить максимальную температуру, характерное время нагрева и условия обеспечения допустимого теплового режима.

- **Расчетная оценка теплового режима системы накопления энергии.** Определить источники тепловыделения, максимальную температуру, температурный перепад и требуемый коэффициент теплоотдачи. Сформулировать требования к системе охлаждения или термостабилизации.

- **Структура цифровой расчетной модели теплотехнической системы.** Сформулировать объект моделирования, входные параметры, выходные показатели, физико-математическую модель, начальные и граничные условия, расчетные сценарии, способы верификации и ограничения применимости модели.

- **Таблица соответствия темы диссертации пунктам паспорта специальности 2.4.6.** Составить таблицу, включающую тему, объект, предмет, цель, задачи, методы, ожидаемые результаты и соответствующие направления паспорта 2.4.6. Обосновать принадлежность исследования к теоретической и прикладной теплотехнике.

7.1.4. Примерные темы докладов (презентаций)

- 1) Современные проблемы теоретической и прикладной теплотехники.
- 2) Теплофизические свойства флюидонасыщенных горных пород.
- 3) Термодинамический и эксергетический анализ энергетических установок.
- 4) Современные методы интенсификации теплообмена.
- 5) Тепломассоперенос в многофазных системах.
- 6) Теплообмен при фазовых превращениях.
- 7) Радиационный теплообмен в поглощающих средах.
- 8) Тепломассоперенос в пористых средах.
- 9) Неизотермическая фильтрация в нефтегазовых пластах.

- 10) Тепловой режим скважин и трубопроводов.
- 11) Теплообменные аппараты в нефтегазовых и энергетических технологиях.
- 12) Математическое моделирование теплотехнических процессов.
- 13) Цифровые двойники как расчетно-прогнозные модели теплотехнических систем.
- 14) Обеспечение тепловых режимов автономных мобильных систем.
- 15) Тепловой режим систем накопления энергии.
- 16) Низкоуглеродные и низкоотходные теплотехнологии.
- 17) Термохимическая переработка углеродсодержащего сырья.
- 18) Тепловая защита тепловыделяющего оборудования.
- 19) Энергосбережение в теплотехнологических системах.
- 20) Обоснование соответствия диссертационной темы паспорту специальности 2.4.6.

7.2. Критерии оценки результатов кандидатского экзамена

Оценка	Критерии
Отлично	Аспирант демонстрирует системное и глубокое понимание теоретической и прикладной теплотехники; грамотно использует профессиональную терминологию; уверенно раскрывает физический смысл законов термодинамики, процессов тепло- и массопереноса, теплогидравлики, фазовых превращений и теплотехнических процессов; корректно формулирует расчетные постановки; объясняет допущения, область применимости моделей и ограничения расчетных зависимостей; связывает экзаменационные вопросы с темой диссертационного исследования и паспортом 2.4.6; способен критически анализировать научные подходы и обоснованно интерпретировать результаты расчетных и экспериментальных исследований.
Хорошо	Аспирант в целом правильно раскрывает содержание вопросов билета, владеет основными понятиями термодинамики, тепло- и массообмена, теплогидравлики и теплотехнического оборудования; способен объяснять физические механизмы изучаемых процессов, но допускает отдельные неточности в математическом описании, критериях подобия, расчетных методах, примерах практического применения или связи с темой диссертации.
Удовлетворительно	Аспирант владеет базовой терминологией и основными представлениями по дисциплине, но испытывает затруднения при самостоятельной постановке научной задачи, обосновании расчетной модели, раскрытии физического смысла сложных процессов переноса, фазовых превращений, тепловых режимов; недостаточно уверенно связывает экзаменационный материал с темой диссертационного исследования.
Неудовлетворительно	Аспирант не владеет основными понятиями и законами теоретической и прикладной теплотехники; допускает грубые ошибки в объяснении термодинамических и тепломассопереносных процессов; не способен сформулировать физическую постановку задачи; не может связать содержание дисциплины с паспортом научной специальности и темой диссертации.

7.3. Рекомендуемая структура ответа на кандидатском экзамене

При ответе на вопрос кандидатского экзамена аспиранту рекомендуется придерживаться следующей структуры:

- 1) дать определение рассматриваемого явления, закона, процесса, модели;
- 2) раскрыть физический смысл рассматриваемого процесса;

- 3) указать область применения;
- 4) записать основные уравнения и пояснить обозначения;
- 5) обосновать исходные допущения;
- 6) пояснить начальные и граничные условия, если они необходимы;
- 7) указать критерии подобия или безразмерные параметры, если они используются;
- 8) пояснить ограничения модели;
- 9) привести пример прикладного использования;
- 10) показать связь с научной специальностью 2.4.6;
- 11) при возможности показать связь с темой собственного диссертационного исследования.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература представлена преимущественно электронными изданиями, доступными обучающимся через электронные библиотечные системы и электронную информационно-образовательную среду университета.

8.1. Основная литература:

- 1) Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 533 с. – ISBN 978-5-534-19758-7. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/582626> (дата обращения: 18.05.2026). – Режим доступа: по подписке ТюмГУ.

8.2. Дополнительная литература:

- 1) Нефтегазовые технологии: физико-математическое моделирование течений : учебное пособие для вузов / под ред. А. Б. Шабарова. – Москва : Издательство Юрайт ; Тюмень : Тюменский государственный университет, 2022. – 215 с. – ISBN 978-5-534-03665-7 ; ISBN 978-5-400-00944-0. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/498906> (дата обращения: 18.05.2026). – Режим доступа: по подписке ТюмГУ.

- 2) Шабаров, Александр Борисович. Газодинамика: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Теплофизика" направления подготовки "Техническая физика" / А. Б. Шабаров; рец.: А. А. Кислицын, В. Г. Свиридов; Тюм. гос. ун-т, Ин-т математики, естеств. наук и информ. технологий. – 2-е изд., перераб. – Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2013. – 2-Лицензионный договор №228/2016-03-02. – Доступ по паролю из сети Интернет (чтение). – URL: https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_228_Gidrogazodinamika_UP_2013.pdf (дата обращения: 21.05.2026).

- 3) Мусакаев, Н. Г. Механика многофазных сред: течения газожидкостных смесей в каналах : учебник для вузов / Н. Г. Мусакаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 148 с. – ISBN 978-5-534-12445-3. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/566841> (дата обращения: 18.05.2026). – Режим доступа: по подписке ТюмГУ.

- 4) Шкляр, М. Ф. Основы научных исследований : учебное пособие / М. Ф. Шкляр. – 9-е изд. – Москва : Дашков и К°, 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-394-04708-4. – Текст : электронный // Znanium. – URL: <https://znanium.ru/catalog/document?id=431702> (дата обращения: 18.05.2026). – Режим доступа: по подписке ТюмГУ.

8.3. Интернет-ресурсы:

- 1) Электронная информационно-образовательная среда ТюмГУ. – URL: <https://lms.utmn.ru/>
- 2) Официальный сайт ТюмГУ. – URL: <https://www.utmn.ru/>
- 3) Официальный сайт ТюмГУ. Сведения об образовательной организации. Образование. – URL: <https://www.utmn.ru/sveden/education/>
- 4) Библиотека ТюмГУ. – URL: <https://lib.utmn.ru/>
- 5) Инструкция Библиотеки ТюмГУ по удаленному доступу к электронным ресурсам через FEDURUS. – URL: <https://lib.utmn.ru/ru/fedurus>
- 6) Правила оформления списка литературы в рабочих программах дисциплин ТюмГУ. – URL: <https://lib.utmn.ru/tpost/6fugva4011-pravila-oformleniya-spiska-literaturi-v>

- 7) Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/>
 - 8) Электронно-библиотечная система Znanium. – URL: <https://znanium.ru/>
 - 9) Электронно-библиотечная система «Лань». – URL: <https://e.lanbook.com/>
 - 10) Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. – URL: <https://www.elibrary.ru/>
 - 11) Национальная электронная библиотека. – URL: <https://rusneb.ru/>
 - 12) Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <https://publication.pravo.gov.ru/>
 - 13) Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/>
 - 14) Высшая аттестационная комиссия при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации. – URL: <https://vak.gisnauka.ru/>
 - 15) Государственная информационная система научной аттестации. – URL: <https://vak.gisnauka.ru/>
 - 16) Российский индекс научного цитирования. – URL: <https://www.elibrary.ru/>
 - 17) Scopus. – URL: <https://www.scopus.com/>
- Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для библиографического поиска, анализа публикационной активности, подбора научных источников и подготовки аналитического обзора по теме диссертационного исследования.
- 18) Web of Science. – URL: <https://www.webofscience.com/>
- Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для поиска и анализа научных публикаций по тематике теоретической и прикладной теплотехники.
- 19) SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/>
- Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для поиска современных научных публикаций и монографий по термодинамике, тепломассопереносу, теплофизике, пористым средам, многофазным течениям, энергетическим и теплотехническим системам.
- 20) Wiley Online Library. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/>
- Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для поиска современных научных публикаций по теплофизике, тепломассопереносу, механике жидкости и газа, многофазным потокам, теплотехническим и энергетическим приложениям.
- 21) Открытая документация GNU Octave. – URL: <https://docs.octave.org/>
 - 22) Открытая документация Python. – URL: <https://docs.python.org/>
 - 23) Открытая документация OpenFOAM. – URL: <https://www.openfoam.com/documentation/>
 - 24) Открытая документация LibreOffice. – URL: <https://documentation.libreoffice.org/>
 - 25) Открытая документация Zotero. – URL: <https://www.zotero.org/support/>

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Лицензионное ПО:

- операционная система Windows;
- Microsoft Office;
- КОМПАС-3D;
- tNavigator;

ПО, находящееся в свободном доступе:

- Python;
- GNU Octave;
- OpenFOAM;
- иные открытые программные средства для математического моделирования, визуализации и анализа результатов.

Цифровые образовательные и информационные сервисы:

- электронная информационно-образовательная среда ТюмГУ;
- учебный портал ТюмГУ;
- электронные библиотечные системы и профессиональные базы данных;
- сервисы для видеоконференцсвязи и электронного взаимодействия с обучающимися.

10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории, лабораторная база, компьютерное и мультимедийное оборудование, а также экспериментальные стенды и расчетные средства, обеспечивающие освоение дисциплины в соответствии с федеральными государственными требованиями.

№	Наименование	Назначение
1	Учебные аудитории, оснащенные учебной мебелью, доской, мультимедийным проекционным оборудованием, персональным компьютером и доступом в Интернет	Проведение лекционных и семинарских занятий
2	Компьютерный класс с доступом в Интернет и программным обеспечением для расчетов, анализа данных и подготовки научных материалов	Выполнение расчетно-аналитических заданий, моделирование теплотехнических процессов, подготовка докладов
3	Электронная информационно-образовательная среда ТюмГУ	Размещение материалов дисциплины, заданий, презентаций, методических указаний и результатов самостоятельной работы
4	Лабораторные и экспериментальные стенды ТюмГУ	Демонстрация и сопровождение исследований теплофизических, фильтрационных и тепломассопереносных процессов
5	Установка АДЖ-2 для определения остаточной нефтеводонасыщенности керна	Исследование насыщенности и фильтрационных характеристик кернов
6	Установка УНК-11 для насыщения образцов керна углеводородами и водными растворами	Подготовка образцов для исследований фильтрационных и теплофизических свойств
7	Установка ПИК-ОФП/ЭП-3 для петрофизических исследований керна, определения фазовой и относительной фазовой проницаемости	Исследование многофазной фильтрации
8	Установка ПИК-АП-3000 для определения проницаемости по жидкости и газу, моделирования однофазного потока флюида	Исследование однофазной фильтрации
9	Стенды для изучения многофазной фильтрации, газожидкостных потоков, испарения нефти в резервуаре, расходомерии и приборно-измерительных задач теплотехнического профиля, включая стенды на базе промышленных партнеров	Поддержка прикладной и экспериментальной направленности дисциплины

Материально-техническая база используется для проведения занятий, выполнения расчетно-аналитических заданий, подготовки научных докладов и сопровождения диссертационных исследований аспирантов.

11. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями

В случае необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации;
- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации;
- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

При необходимости могут предусматриваться увеличение времени на подготовку ответа при промежуточной аттестации, индивидуальный график консультаций, применение дистанционных образовательных технологий, электронных образовательных ресурсов и ассистивной помощи в порядке, установленном локальными нормативными актами ТюмГУ.

12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы

12.1. Методические рекомендации по освоению дисциплины

1) Рассматривать дисциплину как основу подготовки к кандидатскому экзамену и как инструмент теоретического обоснования темы диссертационного исследования.

2) При изучении каждого раздела фиксировать связь с направлениями исследований паспорта 2.4.6.

3) При подготовке к экзамену не ограничиваться воспроизведением формул, а раскрывать физический смысл процессов, область применимости моделей, допущения и ограничения расчетных зависимостей.

4) При выполнении самостоятельных работ использовать не только учебную литературу, но и современные научные статьи за последние 5 лет.

5) При анализе темы диссертации выделять объект исследования, физические процессы, математическую модель, экспериментальную или расчетную базу, ожидаемую научную новизну и соответствие паспорту специальности.

6) Не подменять задачи теоретической и прикладной теплотехники задачами автоматизированного управления, создания приборов или первичных преобразователей, поскольку такие работы не относятся к предметному ядру специальности 2.4.6.

12.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

К каждому практическому или семинарскому занятию аспиранту рекомендуется заранее изучить соответствующий раздел лекционного материала, проработать базовые определения и уравнения, подготовить примеры применения рассматриваемых моделей и выписать вопросы, требующие обсуждения. При выполнении расчетных заданий необходимо явно формулировать физическую постановку задачи, исходные допущения, область применимости выбранной модели, размерности величин и интерпретацию результата.

12.3. Методические рекомендации по подготовке к кандидатскому экзамену

Подготовка к кандидатскому экзамену должна включать систематическое повторение фундаментальных разделов термодинамики, тепло- и массообмена, теплогидравлики, теплотехнического оборудования, энергоэффективности и моделирования. Ответ на экзамене должен быть логичным, физически содержательным и связанным с темой диссертационного исследования аспиранта.

При подготовке к экзамену рекомендуется использовать следующую структуру ответа: определение явления или модели; физический смысл; область применения; основные уравнения; допущения; начальные и граничные условия; критерии подобия; ограничения модели; прикладной пример; связь с паспортом 2.4.6; связь с темой диссертационного исследования.

12.4. Методические рекомендации по оформлению самостоятельных работ

Самостоятельные работы оформляются в виде расчетно-аналитического задания, аналитического обзора, научного доклада или краткого обоснования соответствия темы диссертации паспорту специальности 2.4.6. В работе должны быть указаны тема, цель, исходные данные или исследовательская проблема, используемые методы, основные результаты, выводы и список использованных источников. При использовании результатов научных публикаций обязательны корректные ссылки на источники.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Исполнительный директор
программы развития,
руководитель научно-
исследовательской политики
_____ Г.Н. Суворов
«___» _____ 2026 г.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА
Рабочая программа
для обучающихся по научной специальности
2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника
форма обучения (очная)

Пономарев К. О. Теоретическая и прикладная теплотехника. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, форма обучения (очная). Тюмень, 2026.

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации и срокам освоения, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951, с учетом изменений, внесенных приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 3 июня 2025 г. № 466.

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Теоретическая и прикладная теплотехника» опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

1.1. Актуальность, предназначение и место дисциплины в программе аспирантуры

Дисциплина «Теоретическая и прикладная теплотехника» относится к обязательной части образовательного компонента программы аспирантуры и является специальной дисциплиной по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника. Она обеспечивает фундаментальную и прикладную подготовку аспирантов по основным направлениям паспорта научной специальности, объединяет термодинамику, теплофизику, тепломассоперенос, теплогидравлику, теплотехническое оборудование, энергоэффективность, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы.

Дисциплина логически и содержательно связана с философией науки, иностранным языком, научным компонентом программы аспирантуры, научно-педагогической практикой, итоговой аттестацией и элективными дисциплинами программы аспирантуры: «Многофазный тепломассоперенос в флюидонасыщенных, пористых и мерзлых средах»; «Численное моделирование и цифровые двойники процессов тепломассопереноса в теплотехнических системах»; «Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий».

Для освоения дисциплины аспирант должен владеть базовыми знаниями в области общей физики, математического анализа, дифференциальных уравнений, механики жидкости и газа, термодинамики, теплопередачи, основ численного моделирования и инженерной теплотехники.

Содержание дисциплины согласовано с паспортом научной специальности 2.4.6 и охватывает теплофизические свойства веществ и флюидонасыщенных горных пород, термодинамические процессы и циклы, совместный перенос массы, импульса и энергии, тепло- и массообмен в одно- и многофазных системах, интенсификацию теплообмена, тепловую защиту, энергоэффективность, оптимизацию теплотехнических систем, обеспечение тепловых режимов, теоретические основы энергосбережения и малоотходных тепловых технологий.

Дисциплина выполняет три ключевые функции: экзаменационную – систематизирует подготовку к кандидатскому экзамену по специальности; научно-методологическую – помогает аспиранту корректно сформулировать объект, предмет, методы и научную новизну диссертационного исследования; профильную – закрепляет специализацию ТюмГУ в области тепломассопереноса, нефтегазовых и энергетических технологий, многофазных сред, тепловых режимов, численного и экспериментального исследования, энергоэффективности и ресурсосбережения.

1.2. Цель дисциплины

Целью освоения дисциплины «Теоретическая и прикладная теплотехника» является формирование у аспирантов системных и углубленных знаний, необходимых для самостоятельной постановки и решения фундаментальных и прикладных научных задач в области термодинамики, тепло- и массообмена, тепломассопереноса в одно- и многофазных средах, теплогидравлики, теплотехнического и энергетического оборудования, энергоэффективности, тепловых режимов и низкоотходных теплотехнологических процессов.

Дисциплина направлена на подготовку аспирантов к выполнению диссертационного исследования и сдаче кандидатского экзамена по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника. Содержание дисциплины ориентировано на исследование процессов переноса теплоты, массы и импульса в сплошных, многофазных, флюидонасыщенных, пористых, химически реагирующих и термически модифицируемых средах, а также на анализ, расчет, моделирование и совершенствование теплотехнических систем, оборудования и технологий.

1.3. Задачи дисциплины

- 1) Сформировать у аспирантов целостное представление о предмете, методах и современных направлениях теоретической и прикладной теплотехники.
- 2) Обеспечить углубленное освоение фундаментальных положений равновесной, неравновесной, технической и химической термодинамики.

- 3) Сформировать понимание термодинамических процессов и циклов применительно к установкам производства, преобразования, передачи и потребления энергии.
- 4) Изучить физические основы теплопроводности, конвективного теплообмена, радиационного теплообмена, массообмена и совместного переноса массы, импульса и энергии.
- 5) Рассмотреть процессы тепло- и массопереноса в одно- и многофазных системах, при фазовых превращениях, в пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах.
- 6) Изучить научные основы расчета, оптимизации и совершенствования теплообменных аппаратов, теплопередающих и теплоиспользующих установок.
- 7) Рассмотреть современные подходы к интенсификации тепло- и массообмена, тепловой защите, обеспечению тепловых режимов тепловыделяющего и теплоиспользующего оборудования.
- 8) Сформировать представление о математическом и численном моделировании теплотехнических процессов, включая построение расчетных моделей, элементы цифровых двойников, верификацию, анализ параметров и интерпретацию результатов.
- 9) Изучить теплофизические основы энергоэффективности, энергосбережения, низкоотходных и безотходных тепловых технологических процессов.
- 10) Сформировать понимание теплофизических основ обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии, низкоуглеродных и водородных энергетических технологий.
- 11) Подготовить аспирантов к аргументированному научному ответу на кандидатском экзамене и к применению содержания дисциплины в диссертационном исследовании.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины (модуля)

В результате освоения дисциплины «Теоретическая и прикладная теплотехника» у обучающегося формируются универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, обеспечивающие готовность к самостоятельной научно-исследовательской, научно-методической и научно-педагогической деятельности в области теоретической и прикладной теплотехники, а также к подготовке и защите диссертации по научной специальности 2.4.6.

Код	Наименование компетенции	Планируемый результат освоения дисциплины
УК-1	Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерирование новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Аспирант способен критически анализировать современные научные подходы, модели и результаты исследований в области термодинамики, тепло- и массопереноса, теплогидравлики и теплотехнических систем, выявлять научные проблемы и формулировать обоснованные исследовательские идеи.
УК-2	Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Аспирант способен проектировать комплексное исследование теплотехнического процесса или системы с учетом физической постановки задачи, выбора методов исследования, системного анализа объекта и научно-методологических оснований исследования.
УК-3	Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	Аспирант способен представлять и обсуждать результаты анализа теплотехнических процессов в профессиональной научной среде,

		участвовать в коллективном решении исследовательских задач по профилю специальности 2.4.6.
УК-4	Готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках	Аспирант способен готовить научные доклады, аналитические обзоры, экзаменационные ответы и элементы диссертационного исследования по теоретической и прикладной теплотехнике с использованием корректной профессиональной терминологии на русском и иностранном языках.
УК-5	Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	Аспирант способен планировать индивидуальную подготовку к кандидатскому экзамену и диссертационному исследованию, определять дефициты знаний по разделам термодинамики, тепло- и массопереноса, моделирования и теплотехнических систем и выстраивать траекторию их восполнения.
ОПК-1	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Аспирант способен самостоятельно выполнять научно-исследовательскую работу в области теоретической и прикладной теплотехники, применять расчетные, экспериментальные, численные и информационные методы анализа тепловых, теплогидравлических и тепломассопереносных процессов.
ОПК-2	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования	Аспирант способен использовать содержание дисциплины для подготовки учебных, методических и научно-образовательных материалов по термодинамике, теплопередаче, тепломассопереносу, теплотехническому оборудованию и энергоэффективности.
ПК-1	Способность обосновывать и формулировать научную задачу в области теоретической и прикладной теплотехники, включая определение актуальности, цели, задач, объекта, предмета, гипотезы, физической и математической постановки исследования, а также его соответствия паспорту научной специальности 2.4.6	Аспирант способен обосновать актуальность и научную постановку задачи по одному из направлений теоретической и прикладной теплотехники, определить объект, предмет, цель, задачи, гипотезу, физическую и математическую модель исследования и показать соответствие темы паспорту специальности 2.4.6.
ПК-2	Способность применять расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы исследования термодинамических, теплогидравлических и тепломассопереносных процессов в	Аспирант способен выбирать и применять аналитические, расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы для исследования термодинамических,

	теплотехнических системах, одно- и многофазных, пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах, включая обработку, верификацию, валидацию и интерпретацию полученных результатов	теплогидравлических и теплопереносных процессов, обрабатывать и интерпретировать результаты с учетом области применимости моделей и исходных допущений.
ПК-3	Способность обосновывать достоверность, научную новизну, теоретическую и практическую значимость результатов исследований в области теоретической и прикладной теплотехники, представлять и апробировать их в форме диссертации, научных публикаций, докладов, отчетов, результатов интеллектуальной деятельности и материалов научно-образовательной деятельности	Аспирант способен обосновывать достоверность, научную новизну, теоретическую и практическую значимость результатов исследования по профилю специальности 2.4.6, представлять их в форме научного доклада, аналитического обзора, экзаменационного ответа, раздела диссертации и иных научно-образовательных материалов.

2.1. Планируемые результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- предмет, методы и основные направления современной теоретической и прикладной теплотехники;
- фундаментальные законы термодинамики, основные термодинамические потенциалы, параметры состояния и уравнения состояния веществ;
- основы равновесной и неравновесной термодинамики, технической термодинамики, химической термодинамики и термодинамического анализа циклов;
- физические основы теплопроводности, конвективного теплообмена, массообмена, радиационного теплообмена и сопряженного теплопереноса;
- уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошных, многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах;
- основные критерии подобия и методы обобщения результатов теплофизических исследований;
- закономерности тепло- и массопереноса при фазовых превращениях, кипении, конденсации, испарении, плавлении, кристаллизации, пиролизе и газификации;
- основы тепло- и массопереноса в пористых, флюидонасыщенных, дисперсных и термически модифицируемых средах;
- методы расчета и анализа тепловых режимов теплообменных аппаратов, трубопроводов, скважин, резервуаров, промышленных и энергетических объектов;
- научные основы интенсификации теплообмена, тепловой защиты, энергоэффективности и энергосбережения;
- основы математического моделирования теплотехнических процессов и интерпретации расчетных и экспериментальных данных;
- теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии, тепловыделяющего оборудования, низкоуглеродных и ресурсосберегающих энергетических технологий;

Уметь:

- формулировать физическую и математическую постановку научной задачи в области теоретической и прикладной теплотехники;
- выбирать термодинамическую модель, расчетную схему и систему допущений применительно к исследуемому объекту;
- анализировать тепловые, гидродинамические и массопереносные процессы в одно- и многофазных системах;

- применять критерии подобия и безразмерные комплексы для анализа процессов тепло- и массопереноса;
- выполнять расчет и анализ типовых процессов теплопроводности, конвекции, теплообмена при фазовых превращениях и радиационного теплообмена;
- оценивать тепловые режимы теплотехнического, энергетического, теплотребляющего и тепловыделяющего оборудования;
- анализировать процессы тепломассопереноса в пористых средах, скважинах, трубопроводах и флюидонасыщенных горных породах;
- применять термодинамический, энергетический и эксергетический подходы к анализу теплотехнических систем;
- интерпретировать результаты расчетных, экспериментальных и литературных исследований;
- формулировать структуру расчетной или цифровой модели теплотехнического процесса, определять входные параметры, выходные показатели, граничные условия, расчетные сценарии и ограничения применимости модели;
- связывать содержание дисциплины с темой собственного диссертационного исследования.

Владеть:

- профессиональной терминологией теоретической и прикладной теплотехники;
- методами термодинамического, теплофизического и теплогидравлического анализа;
- навыками постановки и решения расчетно-аналитических задач тепло- и массопереноса;
- навыками критического анализа научных публикаций по профилю специальности 2.4.6;
- методами оценки корректности физических допущений, граничных условий и расчетных моделей;
- навыками подготовки научного доклада, аналитического обзора, экзаменационного ответа и раздела диссертационного исследования;
- подходами к обоснованию научной новизны, теоретической и практической значимости исследований в области теоретической и прикладной теплотехники;
- навыками обоснования соответствия темы диссертационного исследования паспорту научной специальности 2.4.6.

3. Структура и объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **4 зачетные единицы, 144 академических часа**. Дисциплина реализуется в 5-м семестре; форма промежуточной аттестации – кандидатский экзамен.

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
		5-й семестр
Общий объем зач. ед. час	4	4
	144	144
Из них:		
Часы аудиторной работы (всего):	32	32
Лекции	16	16
Практические занятия	16	16
Лабораторные / практические занятия по подгруппам	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	76	76
Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен, экзамен)	36	Кандидатский экзамен 36

4. Система оценивания

4.1. Текущий контроль и учет его результатов при промежуточной аттестации

Текущий контроль проводится в течение периода освоения дисциплины и направлен на проверку теоретической подготовки, расчетно-аналитических навыков, способности работать с научной литературой и умения связывать содержание дисциплины с темой диссертационного исследования и паспортом научной специальности 2.4.6.

Текущий контроль включает:

- участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях;
- выполнение расчетно-аналитического задания;
- подготовку аналитического обзора литературы по теме диссертационного исследования;
- подготовку научного доклада (презентации) по одному из разделов дисциплины;
- подготовку краткого обоснования соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6.

Вид работы	Максимальное количество баллов
Участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях	15
Расчетно-аналитическое задание	25
Аналитический обзор современной научной литературы	20
Научный доклад (презентация)	20
Обоснование соответствия темы диссертации паспорту 2.4.6	20
Итого	100

Баллы	Оценка
91-100	отлично
76-90	хорошо
61-75	удовлетворительно
60 и менее	неудовлетворительно

Результаты текущего контроля используются для допуска аспиранта к кандидатскому экзамену и могут учитываться экзаменационной комиссией при общей характеристике уровня подготовки аспиранта.

4.2. Условия допуска к кандидатскому экзамену

К кандидатскому экзамену по дисциплине «Теоретическая и прикладная теплотехника» допускается аспирант, который:

- 1) освоил основные разделы дисциплины;
- 2) принял участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях;
- 3) выполнил предусмотренные рабочей программой дисциплины виды текущего контроля в объеме, достаточном для получения положительной оценки;
- 4) выполнил расчетно-аналитическое задание и / или аналитический обзор современной научной литературы;
- 5) подготовил доклад (презентацию) по одному из разделов дисциплины или по теме, связанной с направлением исследований 2.4.6;
- 6) подготовил краткое обоснование соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6;
- 7) не имеет академической задолженности по дисциплине;
- 8) выполнил требования, установленные рабочей программой дисциплины и локальными нормативными актами университета.

При наличии неудовлетворительных результатов текущего контроля аспиранту может быть предложена доработка соответствующих материалов до прохождения кандидатского экзамена.

5. Содержание дисциплины

5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактно й работы
			Лекции	Практическ ие занятия	Лабораторны е/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Предмет, методы и современная проблематика теоретической и прикладной теплотехники	4	2	2	0	0
2.	Термодинамика, статистическая физика и теплофизические свойства веществ	4	2	2	0	0
3.	Техническая термодинамика, циклы и установки преобразования энергии	4	2	2	0	0
4.	Теплопроводность, конвективный теплообмен и радиационный теплообмен	4	2	2	0	0
5.	Тепло- и массоперенос в одно- и многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах	4	2	2	0	0
6.	Тепломассоперенос в пористых и флюидонасыщенных средах, скважинах и трубопроводах	4	2	2	0	0
7.	Теплообменные аппараты, теплотехническое оборудование, интенсификация	4	2	2	0	0

	теплообмена и тепловая защита					
8.	Энергоэффективность, тепловые режимы, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы	4	2	2	0	0
9.	Консультация перед кандидатским экзаменом	2	0	0	0	2
10.	Промежуточная аттестация: кандидатский экзамен	34	0	0	0	34
	Итого (часов)	68	16	16	0	36

Самостоятельная работа обучающегося в объеме 76 академических часов планируется в разделе 6 настоящей рабочей программы.

5.2. Содержание дисциплины (модуля) по темам

Тема 1. Предмет, методы и современная проблематика теоретической и прикладной теплотехники

Теоретическая и прикладная теплотехника как научная специальность. Область исследований, объекты, методы и современная проблематика специальности **2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника**. Связь термодинамики, теплофизики, тепломассопереноса, теплогидравлики, теплотехнического оборудования, энергоэффективности, тепловых режимов и теплотехнологических процессов.

Паспорт научной специальности 2.4.6 и его применение при обосновании темы диссертационного исследования. Физическая и математическая постановка научной задачи. Понятия объекта, предмета, цели, задач, гипотезы, модели, научной новизны, достоверности, теоретической и практической значимости результатов.

Расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы исследования. Верификация, валидация, интерпретация результатов и область применимости моделей. Границы специальности: отличие задач теоретической и прикладной теплотехники от задач приборостроения, автоматизированного управления, общей энергетики, общей экологии, химической технологии и смежных научных специальностей.

Тема 2. Термодинамика, статистическая физика и теплофизические свойства веществ

Термодинамическая система, параметры состояния, равновесные и неравновесные состояния. Термодинамический процесс. Первый и второй законы термодинамики. Внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, свободная энергия, энергия Гиббса, термодинамические потенциалы.

Идеальные и реальные газы. Уравнения состояния. Смеси газов, пары, влажный воздух, парогазовые смеси. Теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, плотность, вязкость и коэффициенты переноса. Фазовые равновесия и фазовые переходы. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Критическое состояние, метастабильные состояния, фазовые переходы первого и второго рода.

Теплофизические свойства веществ, материалов, флюидов, смесей, дисперсных сред, флюидонасыщенных горных пород, пористых и мерзлых сред. Эффективные теплофизические свойства многокомпонентных и гетерогенных систем. Основные положения статистической физики и молекулярно-кинетическая интерпретация температуры, давления, внутренней энергии, теплоемкости и энтропии.

Тема 3. Техническая термодинамика, циклы и установки преобразования энергии

Обратимые и необратимые процессы. Изохорные, изобарные, изотермические, адиабатные и политропные процессы. Процессы сжатия, расширения, истечения, дросселирования и смешения. Эффект Джоуля – Томсона. Параметры торможения. Сопла и диффузоры. Число Маха. Термодинамические особенности течений сжимаемых сред.

Термодинамические циклы тепловых машин и энергетических установок: Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Холодильные циклы и циклы тепловых насосов. Регенерация, рекуперация и утилизация теплоты. Комбинированные энергетические циклы.

Энергетический, эксергетический и энтропийный анализ. Эксергия и анергия. Источники необратимости. Потери работоспособности. Эксергетический КПД. Термодинамический анализ установок производства, преобразования, передачи и потребления энергии. Основы химической термодинамики, термохимия и химическое равновесие. Термодинамические основы энергоэффективности, ресурсосбережения и низкоуглеродных энергетических технологий.

Тема 4. Теплопроводность, конвективный теплообмен и радиационный теплообмен

Физические механизмы теплопроводности. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия. Граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода. Стационарная и нестационарная теплопроводность. Плоская, цилиндрическая и сферическая стенки. Многослойные системы. Тепловое сопротивление. Контактное тепловое сопротивление. Критерии Био и Фурье.

Теплопроводность в неоднородных, анизотропных, дисперсных, пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах. Эффективная теплопроводность. Влияние влажности, пористости, насыщенности, льдистости и фазового состава на процессы теплопереноса.

Конвективный теплообмен. Закон Ньютона – Рихмана. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Пограничный слой. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Ламинарное и турбулентное течение. Вынужденная, свободная и смешанная конвекция. Теплообмен при течении в трубах и каналах, при внешнем обтекании тел, пластин, цилиндров, пучков труб и тел сложной формы.

Теория подобия и размерностей. Критерии Рейнольдса, Прандтля, Нуссельта, Грасгофа, Рэлея, Пекле, Стентона, Био, Фурье. Критериальные уравнения теплообмена и область их применимости.

Радиационный теплообмен. Основные законы теплового излучения: Планка, Вина, Стефана – Больцмана, Кирхгофа и Ламберта. Радиационный теплообмен между поверхностями. Угловые коэффициенты излучения. Экранирование излучения. Теплообмен излучением в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах.

Тема 5. Тепло- и массоперенос в одно- и многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах

Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошных, многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах. Диффузия, конвективный массоперенос, тепловая диффузия, бародиффузия, сопряженный перенос теплоты и массы. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Безразмерные критерии и аналогии тепло- и массообмена. Критерии Шмидта, Шервуда, Льюиса.

Тепломассоперенос в бинарных и многокомпонентных смесях. Межфазный тепло- и массообмен. Локальное термодинамическое равновесие и локальное неравновесие. Обобщенные силы и потоки в неравновесных процессах переноса.

Тепло- и массообмен при фазовых превращениях: кипение, конденсация, испарение, сублимация, плавление, кристаллизация. Пузырьковое, пленочное и переходное кипение. Кризисы теплообмена. Критический тепловой поток. Пленочная и капельная конденсация. Задачи Стефана. Теплообмен с фазопереходными материалами.

Тепломассоперенос в химически реагирующих и термически модифицируемых средах. Термическое разложение, пиролиз, газификация, сушка, термическая переработка органического сырья, топлива, биомассы, отходов и углеродсодержащих материалов. Тепловые эффекты химических реакций. Энергетическая и эксергетическая оценка термохимических и низкоотходных теплотехнологических процессов.

Тема 6. Тепломассоперенос в пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах, скважинах и трубопроводах

Пористые, флюидонасыщенные, водонасыщенные и мерзлые среды как объекты теоретической и прикладной теплотехники. Пористость, проницаемость, насыщенность, капиллярное давление, относительная фазовая проницаемость, эффективные теплофизические и фильтрационные свойства.

Однофазная и многофазная фильтрация. Закон Дарси и область его применимости. Радиальная фильтрация. Неизотермическая фильтрация. Тепло- и массоперенос в флюидонасыщенных горных породах, кернах, грунтах и техногенно измененных пористых материалах. Влияние структуры порового пространства, температуры, давления и фазового состава на процессы переноса.

Тепловые процессы в пластах, скважинах, призабойных зонах, трубопроводах, резервуарах и природно-технических системах. Газожидкостные и газоконденсатные течения. Фазовые превращения, гидратообразование и разложение газовых гидратов. Тепловые методы воздействия на пласт и увеличения нефтеотдачи.

Тепломассоперенос в мерзлых и водонасыщенных средах. Промерзание, оттаивание, миграция влаги, фазовые превращения воды и льда, изменение теплофизических свойств мерзлых и талых сред. Тепловое воздействие скважин, трубопроводов, резервуаров, промышленных и энергетических объектов на мерзлые и водонасыщенные среды при наличии выраженной теплотехнической постановки задачи.

Тема 7. Теплообменные аппараты, теплотехническое оборудование, интенсификация теплообмена и тепловая защита

Классификация теплообменных аппаратов. Рекуперативные, регенеративные и смесительные теплообменники. Кожухотрубные, пластинчатые, оребренные, спиральные, компактные, микроканальные и специальные теплообменные аппараты.

Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средняя логарифмическая разность температур. Метод эффективности и числа единиц переноса. Расчет поверхности теплообмена, конечных температур теплоносителей и гидравлических потерь. Теплогидравлическая эффективность теплообменных аппаратов. Связь теплоотдачи, расхода, перепада давления и энергетических затрат на прокачку теплоносителя.

Теплопередающие, теплоиспользующие, тепловыделяющие и энергетические установки. Тепловые потери. Методы интенсификации тепло- и массообмена: оребрение, турбулизация, закрутка потока, микроканальные структуры, пористые вставки, фазовые переходы, тепловые трубы, термосифоны и перспективные теплообменные поверхности.

Тепловая защита, термостабилизация и управление тепловыми режимами оборудования. Тепловые экраны, теплоизоляция, тепловые интерфейсы, контактные сопротивления, жидкостное, воздушное, испарительное, фазопереходное, теплотрубное и гибридное охлаждение. Надежность, безопасность и ограничения тепловых режимов теплотехнического оборудования.

Тема 8. Энергоэффективность, тепловые режимы, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы

Теплофизические основы энергоэффективности, энергосбережения и ресурсосбережения. Энергетический баланс. Потери теплоты. Вторичные энергетические ресурсы. Рекуперация и регенерация теплоты. Утилизация низкопотенциальной теплоты. Тепловые насосы. Показатели энергетической и эксергетической эффективности теплотехнических систем.

Системы обеспечения теплового режима промышленных, энергетических, нефтегазовых, коммунальных, автономных, теплопотребляющих и тепловыделяющих объектов. Температурное поле, тепловой поток, тепловая нагрузка, тепловое сопротивление, тепловая инерция, температурная неоднородность. Тепловая безопасность, надежность и ресурс теплотехнических объектов.

Тепловые режимы автономных мобильных систем, систем накопления энергии, аккумуляторных батарей, силовой электроники, электрических приводов, бортовых энергетических установок и компактного тепловыделяющего оборудования. Воздушное, жидкостное, испарительное, фазопереходное, теплотрубное и гибридное охлаждение.

Математическое и численное моделирование теплотехнических процессов. Физико-математическая постановка задач тепломассопереноса. Расчетные модели и цифровые модели теплотехнических процессов. Элементы цифровых двойников теплотехнических систем как физически обоснованных информационно-расчетных моделей для анализа, прогноза и оптимизации тепловых режимов. Входные параметры, выходные показатели, расчетные сценарии, источники данных, верификация, валидация и ограничения применимости моделей.

Низкоотходные и безотходные тепловые технологические процессы. Термическая переработка органического сырья, пиролиз, газификация, сушка, термообработка, теплотехнологические процессы переработки углеродсодержащего сырья и отходов. Теплофизические аспекты водородных и низкоуглеродных энергетических технологий, топливных элементов, электролизеров, систем хранения и подготовки водорода. Тепловая безопасность, ресурсосбережение и снижение энергетических и экологических потерь как прикладной результат совершенствования теплотехнических процессов.

5.3. Тематика практических и семинарских занятий

- 1) Формулировка научной задачи по паспорту специальности 2.4.6: объект, предмет, методы и ожидаемые результаты.
- 2) Анализ термодинамического процесса: работа, теплота, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии.
- 3) Термодинамический и эксергетический анализ цикла тепловой машины или теплового насоса.
- 4) Расчет теплопередачи через плоскую или цилиндрическую стенку с граничными условиями третьего рода.
- 5) Анализ критериальных зависимостей для вынужденной и свободной конвекции.
- 6) Постановка задачи теплообмена при кипении или конденсации.
- 7) Составление системы уравнений совместного переноса массы, импульса и энергии в многофазной среде.
- 8) Постановка задачи неизотермической фильтрации в пористой флюидонасыщенной среде.
- 9) Расчетная схема теплового режима трубопровода, скважины, резервуара или теплообменного аппарата.
- 10) Анализ теплового и гидравлического расчета теплообменного аппарата.
- 11) Обсуждение современных методов интенсификации теплообмена и тепловой защиты.
- 12) Анализ термохимической переработки углеродсодержащего сырья как теплотехнологического процесса.
- 13) Критический разбор научной статьи по тематике диссертационного исследования аспиранта.
- 14) Обоснование соответствия темы диссертационного исследования направлениям паспорта 2.4.6.
- 15) Подготовка устного ответа на вопрос кандидатского экзамена.
- 16) Итоговый научный семинар: связь дисциплины с диссертационными исследованиями аспирантов.

5.4. Образцы средств для проведения текущего контроля

В качестве образцов средств текущего контроля используются расчетно-аналитические задания, аналитический обзор современной научной литературы, научный доклад (презентация) и краткое обоснование соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6. Детализированные требования к оценочным средствам приведены в разделе 7 настоящей рабочей программы и в оценочных материалах по дисциплине.

6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа аспиранта включает изучение учебной и научной литературы по разделам дисциплины, подготовку конспектов по ключевым вопросам кандидатского экзамена, решение расчетно-аналитических задач, подготовку обзора современных научных публикаций за последние 5 лет, подготовку доклада по теме диссертационного исследования, анализ соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6 и подготовку к кандидатскому экзамену.

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Предмет, методы и современная проблематика теоретической и прикладной теплотехники	Работа с паспортом специальности 2.4.6; подготовка краткой формулировки научной задачи по теме диссертации; анализ границ специальности и смежных областей.
2.	Термодинамика, статистическая физика и теплофизические свойства веществ	Проработка учебной литературы; подготовка конспекта по законам термодинамики, термодинамическим потенциалам и теплофизическим свойствам веществ; решение расчетных задач.
3.	Техническая термодинамика, циклы и установки преобразования энергии	Анализ циклов тепловых машин, холодильных установок и тепловых насосов; выполнение энергетического и эксергетического анализа; подготовка примеров прикладного использования.
4.	Теплопроводность, конвективный теплообмен и радиационный теплообмен	Решение задач теплопроводности и конвекции; выбор критериальных зависимостей; анализ граничных условий и области применимости моделей.
5.	Тепло- и массоперенос в одно- и многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах	Подготовка аналитического обзора по многофазному тепломассопереносу, фазовым превращениям или термохимической переработке; анализ межфазных взаимодействий.
6.	Тепломассоперенос в пористых и флюидонасыщенных средах, скважинах и трубопроводах	Проработка моделей фильтрации; постановка задачи неизотермической фильтрации; анализ тепловых режимов скважин, трубопроводов и резервуаров.
7.	Теплообменные аппараты, теплотехническое оборудование, интенсификация теплообмена и тепловая защита	Выполнение теплового и гидравлического расчета теплообменного аппарата; анализ методов интенсификации теплообмена и тепловой защиты.
8.	Энергоэффективность, тепловые режимы, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы	Подготовка структуры расчетной или цифровой модели; анализ энергоэффективности, тепловых режимов и низкоотходных теплотехнологических процессов; подготовка к кандидатскому экзамену.

Рекомендуемые темы самостоятельных работ

- 1) Термодинамические потенциалы и их применение в анализе теплотехнических процессов.
- 2) Эксергетический анализ энергетических и теплотехнологических установок.

- 3) Теплофизические свойства флюидонасыщенных горных пород.
- 4) Модели теплопроводности в однослойных и многослойных телах.
- 5) Конвективный теплообмен в каналах при ламинарном и турбулентном течении.
- 6) Теплообмен при свободной конвекции.
- 7) Теплообмен при внешнем обтекании тел.
- 8) Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах.
- 9) Тепломассоперенос при кипении и конденсации.
- 10) Межфазный тепло- и массообмен в многофазных системах.
- 11) Неизотермическая фильтрация в пористых средах.
- 12) Многофазный тепломассоперенос в скважинах и трубопроводах.
- 13) Тепловые методы воздействия на пласт.
- 14) Теплогидравлический расчет теплообменного аппарата.
- 15) Интенсификация теплообмена и тепловая защита.
- 16) Математическое моделирование теплового режима промышленного объекта.
- 17) Энергосбережение в теплотехнологических системах.
- 18) Термохимическая переработка углеродсодержащего сырья.
- 19) Тепловые режимы автономных мобильных систем и накопителей энергии.
- 20) Соответствие темы диссертационного исследования паспорту специальности 2.4.6.

7. Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю)

7.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Форма проведения промежуточной аттестации – кандидатский экзамен. Кандидатский экзамен проводится в устной форме по экзаменационным билетам. Экзаменационный билет рекомендуется формировать из трех вопросов: первый вопрос – фундаментальный раздел термодинамики, статистической физики, теплофизики, технической термодинамики или теории тепло- и массопереноса; второй вопрос – прикладной раздел теплопроводности, конвективного теплообмена, радиационного теплообмена, фазовых превращений, многофазных систем, пористых сред, теплотехнического оборудования, тепловых режимов или энергоэффективности; третий вопрос – прикладная, расчетно-аналитическая или научно-методологическая постановка, связанная с паспортом 2.4.6, современной теплотехнической проблематикой или темой диссертационного исследования аспиранта.

Во время экзамена экзаменационная комиссия вправе задавать дополнительные вопросы по программе дисциплины, по содержанию экзаменационного билета, по выполненным аспирантом текущим работам и по содержанию диссертационного исследования в части его соответствия научной специальности 2.4.6.

7.1.1. Примерные вопросы для текущего контроля

- 1) Предмет и методы теоретической и прикладной теплотехники.
- 2) Первый закон термодинамики. Работа, теплота, внутренняя энергия и энтальпия.
- 3) Второй закон термодинамики. Энтропия и необратимость.
- 4) Термодинамические потенциалы и их физический смысл.
- 5) Техническая термодинамика и анализ циклов тепловых машин.
- 6) Эксергия и источники потерь работоспособности в теплотехнических системах.
- 7) Теплофизические свойства веществ и смесей.
- 8) Теплофизические свойства флюидонасыщенных горных пород.
- 9) Уравнение теплопроводности и граничные условия.
- 10) Стационарная и нестационарная теплопроводность.
- 11) Конвективный теплообмен и критерии подобия.
- 12) Теплообмен при вынужденной и свободной конвекции.
- 13) Радиационный теплообмен.
- 14) Теплообмен при кипении и конденсации.

- 15) Совместный перенос массы, импульса и энергии.
- 16) Тепломассоперенос в многофазных системах.
- 17) Тепломассоперенос в пористых средах.
- 18) Неизотермическая фильтрация.
- 19) Тепловой режим скважин, трубопроводов и резервуаров.
- 20) Теплогидравлический расчет теплообменных аппаратов.
- 21) Интенсификация тепло- и массообмена.
- 22) Тепловая защита тепловыделяющего оборудования.
- 23) Энергоэффективность и энергосбережение в теплотехнических системах.
- 24) Математическое моделирование теплотехнических процессов.
- 25) Низкоотходные и безотходные тепловые технологические процессы.
- 26) Связь темы диссертации с паспортом научной специальности 2.4.6.

7.1.2. Примерный перечень вопросов к кандидатскому экзамену

- 1) Предмет, область исследований и современная проблематика научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.
- 2) Паспорт научной специальности 2.4.6 и его применение при обосновании темы диссертационного исследования.
- 3) Физическая и математическая постановка научной задачи в области теоретической и прикладной теплотехники.
- 4) Расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы исследования теплотехнических процессов.
- 5) Понятия модели, допущения, области применимости, верификации и валидации в теплотехническом исследовании.
- 6) Термодинамическая система, параметры состояния, равновесные и неравновесные состояния.
- 7) Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия, теплота, работа, энтальпия.
- 8) Второй закон термодинамики. Энтропия, обратимые и необратимые процессы, термодинамическая вероятность.
- 9) Термодинамические потенциалы и условия равновесия термодинамических систем.
- 10) Уравнения состояния идеальных и реальных газов. Смеси газов, пары, влажный воздух и парогазовые смеси.
- 11) Теплоемкость газов, жидкостей и твердых тел. Связь теплоемкостей с уравнениями состояния.
- 12) Фазовые равновесия и фазовые переходы. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.
- 13) Критическая точка, метастабильные состояния и теплофизические свойства вещества вблизи фазовых переходов.
- 14) Основы равновесной и неравновесной термодинамики. Производство энтропии, термодинамические силы и потоки.
- 15) Основные положения статистической физики и молекулярно-кинетическая интерпретация термодинамических величин.
- 16) Основные термодинамические процессы идеального и реального газа: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный и политропный процессы.
- 17) Дросселирование, эффект Джоуля – Томсона и адиабатическое расширение реального газа.
- 18) Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения, сопла, диффузоры, критические режимы истечения.
- 19) Термодинамические циклы тепловых машин: Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина.
- 20) Холодильные циклы и циклы тепловых насосов. Коэффициенты эффективности.
- 21) Эксергия, анергия и эксергетический анализ теплотехнических систем.
- 22) Источники необратимости и потери работоспособности в установках производства, преобразования, передачи и потребления энергии.

- 23) Основы химической термодинамики. Тепловые эффекты реакций, закон Гесса, химическое равновесие.
- 24) Закон Фурье и уравнение теплопроводности. Физический смысл коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.
- 25) Начальные и граничные условия в задачах теплопроводности. Граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода.
- 26) Стационарная теплопроводность в плоской, цилиндрической и сферической стенке.
- 27) Нестационарная теплопроводность. Критерии Фурье и Био. Метод сосредоточенной теплоемкости.
- 28) Теплопроводность многослойных систем. Тепловые сопротивления и контактное тепловое сопротивление.
- 29) Эффективные теплофизические свойства пористых, флюидонасыщенных, дисперсных и мерзлых сред.
- 30) Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде.
- 31) Уравнение Навье – Стокса и его применение в задачах теплогидравлики.
- 32) Квазиодномерное движение жидкости и газа в трубах. Обобщенное уравнение Бернулли.
- 33) Физические основы конвективного теплообмена. Закон Ньютона – Рихмана. Гидродинамический и тепловой пограничные слои.
- 34) Критерии подобия при конвективном теплообмене: Re , Pr , Nu , Gr , Ra , Pe , St .
- 35) Вынужденная конвекция при внешнем обтекании тел и течении в каналах.
- 36) Свободная и смешанная конвекция. Условия возникновения и расчетные подходы.
- 37) Турбулентный теплообмен и методы его расчета.
- 38) Радиационный теплообмен. Законы Планка, Вина, Стефана – Больцмана, Кирхгофа и Ламберта.
- 39) Теплообмен излучением между поверхностями и в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах.
- 40) Диффузия и конвективный массоперенос. Законы Фика и критерии подобия массопереноса.
- 41) Сопряженный тепло- и массоперенос. Аналогии переноса массы, импульса и энергии.
- 42) Тепло- и массообмен при кипении. Режимы кипения, критический тепловой поток, кризисы теплообмена.
- 43) Теплообмен при пленочной и капельной конденсации.
- 44) Испарение, сушка, плавление, кристаллизация и сублимация. Постановка задач с подвижной границей фазового перехода.
- 45) Тепломассоперенос в химически реагирующих и термически модифицируемых средах.
- 46) Теплофизические основы пиролиза, газификации, термического разложения и низкоотходных термических процессов.
- 47) Пористость, проницаемость, насыщенность и капиллярное давление как параметры пористой среды.
- 48) Закон Дарси и область его применимости. Однофазная фильтрация в пористой среде.
- 49) Многофазная фильтрация. Относительные фазовые проницаемости, капиллярные эффекты и функция Леверетта.
- 50) Неизотермическая фильтрация в пористых и флюидонасыщенных средах.
- 51) Тепломассоперенос в флюидонасыщенных горных породах, кернх и грунтах.
- 52) Тепловые процессы в пластах, скважинах, призабойных зонах, трубопроводах и резервуарах.
- 53) Газожидкостные и газоконденсатные течения в теплотехнических и нефтегазовых системах.
- 54) Газовые гидраты в пористых средах: теплофизические аспекты образования и разложения.
- 55) Тепломассоперенос в мерзлых и водонасыщенных средах.
- 56) Промерзание и оттаивание пористых сред. Фазовые превращения воды и льда в поровом пространстве.

57) Миграция влаги и изменение теплофизических свойств мерзлых и талых сред.

58) Тепловое воздействие промышленных, энергетических и нефтегазовых объектов на природно-технические системы.

59) Классификация теплообменных аппаратов: рекуперативные, регенеративные и смешительные теплообменники.

60) Тепловой баланс и уравнение теплопередачи в теплообменном аппарате.

61) Средний температурный напор, метод логарифмического среднего температурного напора и метод эффективности теплообменника.

62) Гидравлический расчет теплообменных аппаратов и мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителей.

63) Методы интенсификации тепло- и массообмена и оценка их теплогидравлической эффективности.

64) Тепловая защита и термостабилизация тепловыделяющего оборудования.

65) Тепловые трубы, термосифоны, фазопереходные материалы и компактные теплообменные устройства в системах теплоотвода.

66) Тепловые режимы аккумуляторных батарей, силовой электроники, автономных мобильных систем и компактных энергетических установок.

67) Теплофизические аспекты систем накопления энергии.

68) Теплофизические процессы в водородных энергетических системах, топливных элементах, электролизерах и системах хранения водорода.

69) Основы математического и численного моделирования теплотехнических процессов.

70) Методы конечных разностей, конечных объемов и конечных элементов в задачах теплопроводности и тепломассопереноса.

71) Устойчивость, сходимость, аппроксимация, погрешность и сеточная независимость численных схем.

72) Верификация, валидация, анализ чувствительности и неопределенности расчетных моделей теплотехнических процессов.

73) Расчетные цифровые модели и цифровые двойники теплотехнических систем: физическая основа, структура, данные, расчетные сценарии и границы применимости.

74) Энергоэффективность, энергосбережение, ресурсосбережение и утилизация низкопотенциальной теплоты в теплотехнических системах.

75) Низкоуглеродные энергетические технологии, низкоотходные теплотехнологические процессы и термическая переработка углеродсодержащего сырья.

76) Обоснование соответствия темы диссертационного исследования паспорту научной специальности 2.4.6.

77) Физическая и математическая постановка задачи диссертационного исследования аспиранта: объект, предмет, цель, задачи, гипотеза, модель и основные допущения.

78) Методы исследования, достоверность, воспроизводимость, верификация, валидация и интерпретация результатов диссертационного исследования.

79) Научная новизна, теоретическая и практическая значимость, публикации, апробация и личный вклад аспиранта в результаты диссертационного исследования.

7.1.3. Примерные расчетно-аналитические задания

- **Термодинамический анализ процесса идеального или реального газа.** Выполнить расчет параметров состояния, работы, теплоты, изменения внутренней энергии и энтальпии для заданного термодинамического процесса. Обосновать выбранную модель вещества и область ее применимости.

- **Расчет изменения энтропии и эксергии в необратимом теплотехническом процессе.** Определить изменение энтропии, эксергетические потери и источники необратимости. Сделать вывод о влиянии необратимости на эффективность процесса.

- **Оценка КПД теплового цикла и влияния регенерации теплоты.** Рассчитать термический КПД заданного цикла, определить влияние регенерации, рекуперации или утилизации теплоты на энергетическую эффективность установки.

- **Расчет теплопередачи через многослойную плоскую или цилиндрическую стенку.**
Определить плотность теплового потока, термические сопротивления, температуры на границах слоев и коэффициент теплопередачи с учетом граничных условий третьего рода.
- **Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции в канале.**
Определить режим течения, рассчитать критерии Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта, выбрать критериальную зависимость и определить коэффициент теплоотдачи.
- **Расчет теплообмена при свободной конвекции около вертикальной поверхности.**
Рассчитать критерии Грасгофа, Рэлея, Прандтля и Нуссельта, определить коэффициент теплоотдачи и оценить область применимости выбранной зависимости.
- **Постановка задачи теплообмена при кипении или конденсации.**
Сформулировать физическую постановку задачи, определить основные режимы процесса, выбрать расчетную модель и указать факторы, влияющие на интенсивность теплообмена.
- **Система уравнений переноса массы, импульса и энергии для многофазной среды.**
Составить уравнения баланса для заданной многофазной системы, определить межфазные взаимодействия, указать необходимые замыкающие соотношения и допущения.
- **Постановка задачи однофазной или многофазной фильтрации в пористой среде.**
Сформулировать уравнения фильтрации, определить параметры пористой среды, начальные и граничные условия, указать влияние температуры на свойства флюидов и фильтрационные характеристики.
- **Расчетная оценка теплового режима трубопровода, скважины или резервуара.**
Составить тепловой баланс объекта, определить тепловые потери, температурное поле или характерную температуру, оценить влияние теплоизоляции, окружающей среды и режима эксплуатации.
- **Тепловой расчет теплообменного аппарата по методу средней логарифмической разности температур.**
Рассчитать тепловую нагрузку, среднюю логарифмическую разность температур, коэффициент теплопередачи и требуемую поверхность теплообмена. Указать ограничения применимости метода.
- **Анализ энергетической и эксергетической эффективности термохимической переработки углеродсодержащего сырья.**
Составить энергетический баланс процесса пиролиза, газификации или термической модификации, оценить полезный энергетический выход, потери и направления повышения эффективности.
- **Оценка теплового режима автономной мобильной системы или тепловыделяющего оборудования.**
Для заданной тепловой мощности, площади теплоотдачи, теплоемкости и условий охлаждения оценить максимальную температуру, характерное время нагрева и условия обеспечения допустимого теплового режима.
- **Расчетная оценка теплового режима системы накопления энергии.**
Определить источники тепловыделения, максимальную температуру, температурный перепад и требуемый коэффициент теплоотдачи. Сформулировать требования к системе охлаждения или термостабилизации.
- **Структура цифровой расчетной модели теплотехнической системы.**
Сформулировать объект моделирования, входные параметры, выходные показатели, физико-математическую модель, начальные и граничные условия, расчетные сценарии, способы верификации и ограничения применимости модели.
- **Таблица соответствия темы диссертации пунктам паспорта специальности 2.4.6.**
Составить таблицу, включающую тему, объект, предмет, цель, задачи, методы, ожидаемые результаты и соответствующие направления паспорта 2.4.6. Обосновать принадлежность исследования к теоретической и прикладной теплотехнике.

7.1.4. Примерные темы докладов (презентаций)

- 1) Современные проблемы теоретической и прикладной теплотехники.
- 2) Теплофизические свойства флюидонасыщенных горных пород.
- 3) Термодинамический и эксергетический анализ энергетических установок.

- 4) Современные методы интенсификации теплообмена.
- 5) Тепломассоперенос в многофазных системах.
- 6) Теплообмен при фазовых превращениях.
- 7) Радиационный теплообмен в поглощающих средах.
- 8) Тепломассоперенос в пористых средах.
- 9) Неизотермическая фильтрация в нефтегазовых пластах.
- 10) Тепловой режим скважин и трубопроводов.
- 11) Теплообменные аппараты в нефтегазовых и энергетических технологиях.
- 12) Математическое моделирование теплотехнических процессов.
- 13) Цифровые двойники как расчетно-прогнозные модели теплотехнических систем.
- 14) Обеспечение тепловых режимов автономных мобильных систем.
- 15) Тепловой режим систем накопления энергии.
- 16) Низкоуглеродные и низкоотходные теплотехнологии.
- 17) Термохимическая переработка углеродсодержащего сырья.
- 18) Тепловая защита тепловыделяющего оборудования.
- 19) Энергосбережение в теплотехнологических системах.
- 20) Обоснование соответствия диссертационной темы паспорту специальности 2.4.6.

7.2. Критерии оценки результатов кандидатского экзамена

Оценка	Критерии
Отлично	Аспирант демонстрирует системное и глубокое понимание теоретической и прикладной теплотехники; грамотно использует профессиональную терминологию; уверенно раскрывает физический смысл законов термодинамики, процессов тепло- и массопереноса, теплогидравлики, фазовых превращений и теплотехнических процессов; корректно формулирует расчетные постановки; объясняет допущения, область применимости моделей и ограничения расчетных зависимостей; связывает экзаменационные вопросы с темой диссертационного исследования и паспортом 2.4.6; способен критически анализировать научные подходы и обоснованно интерпретировать результаты расчетных и экспериментальных исследований.
Хорошо	Аспирант в целом правильно раскрывает содержание вопросов билета, владеет основными понятиями термодинамики, тепло- и массообмена, теплогидравлики и теплотехнического оборудования; способен объяснять физические механизмы изучаемых процессов, но допускает отдельные неточности в математическом описании, критериях подобия, расчетных методах, примерах практического применения или связи с темой диссертации.
Удовлетворительно	Аспирант владеет базовой терминологией и основными представлениями по дисциплине, но испытывает затруднения при самостоятельной постановке научной задачи, обосновании расчетной модели, раскрытии физического смысла сложных процессов переноса, фазовых превращений, тепловых режимов; недостаточно уверенно связывает экзаменационный материал с темой диссертационного исследования.
Неудовлетворительно	Аспирант не владеет основными понятиями и законами теоретической и прикладной теплотехники; допускает грубые ошибки в объяснении термодинамических и тепломассопереносных процессов; не способен сформулировать физическую постановку задачи; не может связать содержание дисциплины с паспортом научной специальности и темой диссертации.

7.3. Рекомендуемая структура ответа на кандидатском экзамене

При ответе на вопрос кандидатского экзамена аспиранту рекомендуется придерживаться следующей структуры:

- 1) дать определение рассматриваемого явления, закона, процесса, модели;
- 2) раскрыть физический смысл рассматриваемого процесса;
- 3) указать область применения;
- 4) записать основные уравнения и пояснить обозначения;
- 5) обосновать исходные допущения;
- 6) пояснить начальные и граничные условия, если они необходимы;
- 7) указать критерии подобия или безразмерные параметры, если они используются;
- 8) пояснить ограничения модели;
- 9) привести пример прикладного использования;
- 10) показать связь с научной специальностью 2.4.6;
- 11) при возможности показать связь с темой собственного диссертационного исследования.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература представлена преимущественно электронными изданиями, доступными обучающимся через электронные библиотечные системы и электронную информационно-образовательную среду университета.

8.1. Основная литература:

- 1) Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 533 с. – ISBN 978-5-534-19758-7. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/582626> (дата обращения: 18.05.2026). – Режим доступа: по подписке ТюмГУ.

8.2. Дополнительная литература:

- 1) Нефтегазовые технологии: физико-математическое моделирование течений : учебное пособие для вузов / под ред. А. Б. Шабарова. – Москва : Издательство Юрайт ; Тюмень : Тюменский государственный университет, 2022. – 215 с. – ISBN 978-5-534-03665-7 ; ISBN 978-5-400-00944-0. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/498906> (дата обращения: 18.05.2026). – Режим доступа: по подписке ТюмГУ.

- 2) Шабаров, Александр Борисович. Гидрогазодинамика: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Теплофизика" направления подготовки "Техническая физика" / А. Б. Шабаров; рец.: А. А. Кислицын, В. Г. Свиридов; Тюм. гос. ун-т, Ин-т математики, естеств. наук и информ. технологий. – 2-е изд., перераб. – Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2013. – 2-Лицензионный договор №228/2016-03-02. – Доступ по паролю из сети Интернет (чтение). – URL: https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_228_Gidrogazodinamika_UP_2013.pdf (дата обращения: 21.05.2026).

- 3) Мусакаев, Н. Г. Механика многофазных сред: течения газожидкостных смесей в каналах : учебник для вузов / Н. Г. Мусакаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 148 с. – ISBN 978-5-534-12445-3. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/566841> (дата обращения: 18.05.2026). – Режим доступа: по подписке ТюмГУ.

- 4) Шкляр, М. Ф. Основы научных исследований : учебное пособие / М. Ф. Шкляр. – 9-е изд. – Москва : Дашков и К°, 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-394-04708-4. – Текст : электронный // Znanium. – URL: <https://znanium.ru/catalog/document?id=431702> (дата обращения: 18.05.2026). – Режим доступа: по подписке ТюмГУ.

8.3. Интернет-ресурсы:

- 1) Электронная информационно-образовательная среда ТюмГУ. – URL: <https://lms.utmn.ru/>
- 2) Официальный сайт ТюмГУ. – URL: <https://www.utmn.ru/>

- 3) Официальный сайт ТюмГУ. Сведения об образовательной организации. Образование. – URL: <https://www.utmn.ru/sveden/education/>
 - 4) Библиотека ТюмГУ. – URL: <https://lib.utmn.ru/>
 - 5) Инструкция Библиотеки ТюмГУ по удаленному доступу к электронным ресурсам через FEDURUS. – URL: <https://lib.utmn.ru/ru/fedurus>
 - 6) Правила оформления списка литературы в рабочих программах дисциплин ТюмГУ. – URL: <https://lib.utmn.ru/tpost/6fugva4011-pravila-oformleniya-spiska-literaturi-v>
 - 7) Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/>
 - 8) Электронно-библиотечная система Znanium. – URL: <https://znanium.ru/>
 - 9) Электронно-библиотечная система «Лань». – URL: <https://e.lanbook.com/>
 - 10) Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. – URL: <https://www.elibrary.ru/>
 - 11) Национальная электронная библиотека. – URL: <https://rusneb.ru/>
 - 12) Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <https://publication.pravo.gov.ru/>
 - 13) Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/>
 - 14) Высшая аттестационная комиссия при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации. – URL: <https://vak.gisnauka.ru/>
 - 15) Государственная информационная система научной аттестации. – URL: <https://vak.gisnauka.ru/>
 - 16) Российский индекс научного цитирования. – URL: <https://www.elibrary.ru/>
 - 17) Scopus. – URL: <https://www.scopus.com/>
- Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для библиографического поиска, анализа публикационной активности, подбора научных источников и подготовки аналитического обзора по теме диссертационного исследования.
- 18) Web of Science. – URL: <https://www.webofscience.com/>
- Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для поиска и анализа научных публикаций по тематике теоретической и прикладной теплотехники.
- 19) SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/>
- Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для поиска современных научных публикаций и монографий по термодинамике, тепломассопереносу, теплофизике, пористым средам, многофазным течениям, энергетическим и теплотехническим системам.
- 20) Wiley Online Library. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/>
- Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для поиска современных научных публикаций по теплофизике, тепломассопереносу, механике жидкости и газа, многофазным потокам, теплотехническим и энергетическим приложениям.
- 21) Открытая документация GNU Octave. – URL: <https://docs.octave.org/>
 - 22) Открытая документация Python. – URL: <https://docs.python.org/>
 - 23) Открытая документация OpenFOAM. – URL: <https://www.openfoam.com/documentation/>
 - 24) Открытая документация LibreOffice. – URL: <https://documentation.libreoffice.org/>
 - 25) Открытая документация Zotero. – URL: <https://www.zotero.org/support/>

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

При реализации дисциплины используется лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства: Яндекс.Мессенджер, Яндекс.Телемост и Яндекс.Диск, антивирусное ПО Kaspersky; FAR Manager, офисный пакет Р7-Офис.

10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории, в которых обеспечены проводное подключение ПК к локальной сети и сети Интернет, а также доступ к электронно-

библиотечным системам, электронной информационно-образовательной среде, современным профессиональным базам данных и информационно-справочным системам:

Мультиформатная учебная аудитория для проведения лекционных занятий.

Основное оборудование:

- Столы – 38 шт.
- Стулья – 76 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 2 шт.
- Двухсторонняя мобильная стеклянная маркерная доска на металлических ножках – 1 шт.
- Двухсторонняя мобильная доска на металлическом основании – 1 шт.
- Технические средства обучения: Интерактивная панель – 1 шт.
- Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- ТВ-панель настенная – 2 шт.
- Потолочный микрофонный массив – 2 шт.
- PTZ-камера с автотрекингом – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК в комплекте с монитором – 1 шт.
- Мультимедийная трибуна – 1 шт.
- Сенсорный монитор – 1 шт.
- Настольный микрофон – 1 шт.
- Панель управления аудиторией – 1 шт.
- Система коммутация аудио и видеосигнала – 1 шт.

Мультимедийная учебная аудитория для проведения практических и семинарских занятий.

Основное оборудование:

- Столы – 15 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 2 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 1 шт.

Компьютерный класс (используется для практических занятий, численного моделирования, обработки и визуализации данных, подготовки научных материалов).

Основное оборудование:

- Столы – 30 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 2 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 31 шт.

Помещение для самостоятельной работы.

Основное оборудование:

- Столы – 15 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.

- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 2 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 1 шт.

Помещение для самостоятельной работы (коворкинг используется как помещение для самостоятельной работы аспирантов, подготовки публикаций, докладов, отчетов, презентаций и материалов диссертации).

Основное оборудование:

- Столы – 22 шт.
- Кресла – 22 шт.
- Технические средства обучения: ПК типа «моноблок» – 10 шт.

Кабинет для проведения групповых и индивидуальных консультаций.

Основное оборудование:

- Столы – 15 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 2 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 1 шт.

Кабинет для проведения промежуточной и итоговой аттестации.

Основное оборудование:

- Столы – 15 шт.
- Стулья – 30 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 1 шт.
- Технические средства обучения: Лазерный проектор – 1 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 1 шт.
- Акустическая система – 1 шт.
- ПК типа «моноблок» – 1 шт.

11. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями

В случае необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации;
- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации;
- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

При необходимости могут предусматриваться увеличение времени на подготовку ответа при промежуточной аттестации, индивидуальный график консультаций, применение дистанционных

образовательных технологий, электронных образовательных ресурсов и ассистивной помощи в порядке, установленном локальными нормативными актами ТюмГУ.

12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы

12.1. Методические рекомендации по освоению дисциплины

1) Рассматривать дисциплину как основу подготовки к кандидатскому экзамену и как инструмент теоретического обоснования темы диссертационного исследования.

2) При изучении каждого раздела фиксировать связь с направлениями исследований паспорта 2.4.6.

3) При подготовке к экзамену не ограничиваться воспроизведением формул, а раскрывать физический смысл процессов, область применимости моделей, допущения и ограничения расчетных зависимостей.

4) При выполнении самостоятельных работ использовать не только учебную литературу, но и современные научные статьи за последние 5 лет.

5) При анализе темы диссертации выделять объект исследования, физические процессы, математическую модель, экспериментальную или расчетную базу, ожидаемую научную новизну и соответствие паспорту специальности.

6) Не подменять задачи теоретической и прикладной теплотехники задачами автоматизированного управления, создания приборов или первичных преобразователей, поскольку такие работы не относятся к предметному ядру специальности 2.4.6.

12.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

К каждому практическому или семинарскому занятию аспиранту рекомендуется заранее изучить соответствующий раздел лекционного материала, проработать базовые определения и уравнения, подготовить примеры применения рассматриваемых моделей и выписать вопросы, требующие обсуждения. При выполнении расчетных заданий необходимо явно формулировать физическую постановку задачи, исходные допущения, область применимости выбранной модели, размерности величин и интерпретацию результата.

12.3. Методические рекомендации по подготовке к кандидатскому экзамену

Подготовка к кандидатскому экзамену должна включать систематическое повторение фундаментальных разделов термодинамики, тепло- и массообмена, теплогидравлики, теплотехнического оборудования, энергоэффективности и моделирования. Ответ на экзамене должен быть логичным, физически содержательным и связанным с темой диссертационного исследования аспиранта.

При подготовке к экзамену рекомендуется использовать следующую структуру ответа: определение явления или модели; физический смысл; область применения; основные уравнения; допущения; начальные и граничные условия; критерии подобия; ограничения модели; прикладной пример; связь с паспортом 2.4.6; связь с темой диссертационного исследования.

12.4. Методические рекомендации по оформлению самостоятельных работ

Самостоятельные работы оформляются в виде расчетно-аналитического задания, аналитического обзора, научного доклада или краткого обоснования соответствия темы диссертации паспорту специальности 2.4.6. В работе должны быть указаны тема, цель, исходные данные или исследовательская проблема, используемые методы, основные результаты, выводы и список использованных источников. При использовании результатов научных публикаций обязательны корректные ссылки на источники.