

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» мая 2026 г.

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ
АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ, СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ И
НИЗКОУГЛЕРОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

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

Пономарев К. О. Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий. 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) «Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий» 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 «Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий» относится к образовательному компоненту программы аспирантуры и является элективной дисциплиной по выбору аспиранта по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Дисциплина обеспечивает углубленную подготовку аспирантов в области анализа, расчета, моделирования, экспериментального исследования и оптимизации тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии, тепловыделяющего оборудования, водородных и низкоуглеродных энергетических технологий. Содержание дисциплины непосредственно связано с направлениями паспорта научной специальности 2.4.6, включающими тепловые режимы, теплофизические свойства веществ и материалов, тепло- и массообмен в одно- и многофазных системах, совместный перенос массы, импульса и энергии, энергоэффективность и расчетно-экспериментальные методы исследования теплотехнических процессов.

Дисциплина логически и содержательно связана с научным компонентом программы аспирантуры, научно-педагогической практикой, итоговой аттестацией, специальной дисциплиной «Теоретическая и прикладная теплотехника», а также с элективными дисциплинами, посвященными многофазному тепломассопереносу, численному моделированию и цифровым двойникам теплотехнических процессов.

Для освоения дисциплины аспирант должен владеть базовыми знаниями в области термодинамики, теплопроводности, конвективного и радиационного теплообмена, фазовых превращений, механики жидкости и газа, теплообменных аппаратов, тепловых машин, термодинамических циклов и методов математического моделирования теплотехнических процессов.

Дисциплина ориентирована на аспирантов, выполняющих исследования по обеспечению тепловых режимов тепловыделяющего оборудования; тепловой защите и термостабилизации автономных мобильных систем; тепловым режимам аккумуляторных и иных систем накопления энергии; теплообмену в компактных энергетических установках; тепломассопереносу в системах водородной энергетики; термодинамическому и эксергетическому анализу низкоуглеродных энергетических технологий; энергоэффективности теплотехнических и теплоиспользующих систем; утилизации низкопотенциальной теплоты и применению тепловых насосов; моделированию и оптимизации тепловых режимов энергетических и теплотехнологических систем.

1.2. Цель дисциплины

Целью освоения дисциплины «Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий» является формирование у аспирантов углубленных знаний, расчетно-аналитических навыков и исследовательских компетенций в области анализа, расчета, моделирования и оптимизации тепловых режимов тепловыделяющих, теплоиспользующих, накопительных и энергетических систем нового поколения.

Дисциплина направлена на подготовку аспирантов к самостоятельному выполнению научных исследований по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, связанных с процессами тепловыделения, теплоотвода, тепловой защиты, термостабилизации, фазовых превращений, накопления, преобразования и рационального использования энергии в автономных мобильных системах, системах накопления энергии, низкоуглеродных энергетических установках, водородных энергетических системах, топливных элементах, тепловых насосах, системах утилизации низкопотенциальной теплоты и энергоэффективных теплотехнологических процессах.

В рамках дисциплины автономные мобильные системы, накопители энергии и низкоуглеродные энергетические технологии рассматриваются как объекты теоретической и прикладной теплотехники: тепловыделяющие и теплоиспользующие системы, для которых

критически важны температурное состояние, теплообмен, тепломассоперенос, тепловая защита, энергоэффективность, термодинамическая и эксергетическая оценка. Такая постановка не подменяет задачи теоретической и прикладной теплотехники задачами автоматизированного управления, создания приборов или первичных преобразователей.

1.3. Задачи дисциплины

1) Сформировать у аспирантов представление об автономных мобильных системах, системах накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологиях как объектах теоретической и прикладной теплотехники.

2) Изучить основные физические механизмы тепловыделения, теплоотвода, теплопроводности, конвективного и радиационного теплообмена в компактных, мобильных, автономных и накопительных энергетических системах.

3) Рассмотреть теплофизические основы обеспечения температурной устойчивости, тепловой безопасности и энергоэффективности систем накопления энергии.

4) Изучить особенности тепловых режимов аккумуляторных батарей, модулей накопления электроэнергии, силовой электроники, электрических приводов, бортовых энергетических установок и вспомогательных систем автономных мобильных платформ.

5) Рассмотреть теплофизические аспекты низкоуглеродных энергетических технологий, включая водородные энергетические системы, топливные элементы, электролизеры, тепловые насосы, системы утилизации низкопотенциальной теплоты и теплотехнологические процессы с пониженной экологической нагрузкой.

6) Сформировать навыки постановки расчетных задач по обеспечению тепловых режимов тепловыделяющих и теплоиспользующих систем.

7) Изучить методы тепловой защиты, пассивного и активного охлаждения, применения фазопереходных материалов, тепловых труб, жидкостных и воздушных систем теплоотвода.

8) Сформировать у аспирантов способность критически анализировать современные научные публикации по управлению тепловым режимом, системам накопления энергии и низкоуглеродным энергетическим технологиям применительно к паспорту научной специальности 2.4.6.

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

В результате освоения элективной дисциплины «Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий» у обучающегося формируются профессиональные компетенции, обеспечивающие готовность к постановке и решению научных задач в области теоретической и прикладной теплотехники, применению расчетных, экспериментальных, расчетно-экспериментальных, численных и информационных методов исследования, а также к обоснованию достоверности, научной новизны и практической значимости полученных результатов.

Код	Наименование компетенции	Планируемый результат освоения дисциплины
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-	Аспирант способен выбирать и применять аналитические, расчетные,

	экспериментальные, численные и информационные методы исследования термодинамических, теплогидравлических и теплопереносных процессов в теплотехнических системах, одно- и многофазных, пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах, включая обработку, верификацию, валидацию и интерпретацию полученных результатов	экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы для исследования термодинамических, 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:

- основные типы автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий как объектов теплотехнического анализа;
- основные механизмы тепловыделения, теплоотвода и термостабилизации в компактных энергетических системах;
- особенности тепловых режимов аккумуляторных батарей, модулей накопления энергии, силовой электроники, электрических приводов и бортовых энергетических установок;
- основные тепловые ограничения, влияющие на надежность, ресурс, безопасность и эффективность автономных мобильных и накопительных систем;
- принципы пассивного, активного и гибридного охлаждения;
- особенности применения воздушного, жидкостного, испарительного охлаждения, тепловых труб, термосифонов, фазопереходных материалов и тепловых аккумуляторов;
- теплофизические аспекты водородных энергетических систем, топливных элементов, электролизеров и систем хранения водорода;
- основы термодинамического и эксергетического анализа низкоуглеродных энергетических технологий;
- методы оценки энергоэффективности, тепловой безопасности и тепловой устойчивости теплотехнических систем;

Уметь:

- формулировать физическую постановку задачи обеспечения теплового режима автономной мобильной, накопительной или низкоуглеродной энергетической системы;
- выделять основные источники тепловыделения и тепловые сопротивления в теплотехническом объекте;
- выбирать расчетные модели теплопроводности, конвекции, излучения, фазового перехода и сопряженного теплообмена;
- оценивать температурные поля, тепловые потоки, тепловые нагрузки и условия тепловой безопасности;
- выбирать и обосновывать методы охлаждения, тепловой защиты и термостабилизации;

- анализировать влияние теплофизических свойств материалов, конструкции, режима работы и условий окружающей среды на тепловое состояние системы;
- выполнять термодинамическую и эксергетическую оценку энергетических технологий;
- интерпретировать результаты расчетных и экспериментальных исследований тепловых режимов;
- анализировать современные научные публикации и выделять их связь с паспортом научной специальности 2.4.6.

Владеть:

- терминологией теоретической и прикладной теплотехники применительно к автономным, накопительным и низкоуглеродным энергетическим системам;
- навыками постановки и анализа задач обеспечения теплового режима тепловыделяющего оборудования;
- методами расчета тепловых балансов и температурных режимов;
- навыками выбора методов теплоотвода, тепловой защиты и термостабилизации;
- навыками критической оценки научных публикаций по управлению тепловым режимом, системам накопления энергии и низкоуглеродным энергетическим технологиям;
- подходами к подготовке научного доклада, расчетно-аналитического задания и фрагмента диссертационного исследования по тематике дисциплины.

3. Структура и объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3 зачетные единицы, 108 академических часов**. Дисциплина реализуется в 4-м семестре; форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет.

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
		4-й семестр
Общий объем зач. ед. час	3	3
	108	108
Из них:		
Часы аудиторной работы (всего):	22	22
Лекции	12	12
Практические занятия	10	10
Лабораторные / практические занятия по подгруппам	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	50	50
Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен, экзамен)	36	Дифференцированный зачет 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, формулировать физическую и расчетную постановку задачи обеспечения теплового режима, разрабатывать концепцию теплоотвода, термостабилизации или тепловой защиты и 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 современной научной литературы;
- подготовку концепции обеспечения теплового режима выбранной системы;
- подготовку и защиту итогового доклада (презентации) по тематике дисциплины, связанной с направлением диссертационного исследования аспиранта.

Вид работы	Максимальное количество баллов
Участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях	15
Расчетно-аналитическое задание	25
Аналитический обзор современной научной литературы	20
Концепция обеспечения теплового режима выбранной системы	20
Итоговый доклад (презентация) по теме дисциплины	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 дифференцированному зачету и учитываются при выставлении итоговой оценки по дисциплине.

4.2. Условия допуска к дифференцированному зачету

К дифференцированному зачету по дисциплине «Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий» 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 концепцию обеспечения теплового режима выбранной системы;
- 6) подготовил итоговый доклад (презентацию) по теме дисциплины или теме, связанной с диссертационным исследованием;
- 7) продемонстрировал способность связать содержание дисциплины с паспортом научной специальности 2.4.6;
- 8) не имеет академической задолженности по дисциплине;
- 9) 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 дифференцированного зачета

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 контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
	Часов в 4 семестре	58	12	10	0	36
	Теплофизические основы обеспечения тепловых режимов автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий	58	12	10	0	36
1.	Тепловые режимы автономных мобильных и компактных энергетических систем	2	2	0	0	0
2.	Теплофизические основы систем накопления энергии	4	2	2	0	0
3.	Методы теплоотвода, термостабилизации и тепловой защиты	4	2	2	0	0
4.	Теплофизические процессы в водородных и низкоуглеродных энергетических системах	4	2	2	0	0
5.	Термодинамический, энергетический и эксергетический анализ низкоуглеродных теплотехнологий	4	2	2	0	0
6.	Расчетные и экспериментальные подходы к	4	2	2	0	0

	обеспечению тепловых режимов					
7.	Промежуточная аттестация: дифференцированный зачет	36	0	0	0	36
	Итого (часов)	58	12	10	0	36

Самостоятельная работа обучающегося в объеме 50 академических часов планируется в разделе 6 настоящей рабочей программы.

5.2. Содержание дисциплины (модуля) по темам

Тема 1. Тепловые режимы автономных мобильных и компактных энергетических систем

Автономные мобильные системы как теплотехнические объекты: беспилотные авиационные системы, робототехнические платформы, автономные транспортные средства, мобильные энергетические установки, бортовые энергетические модули. Источники тепловыделения: аккумуляторные батареи, силовая электроника, электродвигатели, преобразователи энергии, топливные элементы, компактные двигательные и энергетические установки. Тепловой баланс автономной системы. Влияние внешних условий, ограниченных габаритов, массы, режима работы и плотности тепловыделения на температурное состояние объекта.

Тема 2. Теплофизические основы систем накопления энергии

Системы накопления энергии как тепловыделяющие и теплоаккумулирующие объекты. Аккумуляторные батареи и модульные системы накопления электроэнергии. Тепловые режимы литий-ионных и постлитиевых систем накопления энергии. Источники тепловыделения в аккумуляторных элементах и батарейных модулях. Температурная неоднородность, перегрев, деградация и тепловая безопасность. Тепловые аккумуляторы, фазопереходные материалы, системы накопления низкопотенциальной теплоты. Особенности теплопереноса в материалах с фазовым переходом.

Тема 3. Методы теплоотвода, термостабилизации и тепловой защиты

Пассивные, активные и гибридные методы обеспечения теплового режима. Воздушное и жидкостное охлаждение. Контактная теплопередача, тепловые интерфейсы, радиаторы, микроканальные теплообменники. Тепловые трубы и термосифоны. Испарительное охлаждение. Использование фазопереходных материалов для сглаживания пиковых тепловых нагрузок. Тепловая защита оборудования. Интенсификация теплообмена в компактных системах. Ограничения по массе, габаритам, надежности и энергоэффективности.

Тема 4. Теплофизические процессы в водородных и низкоуглеродных энергетических системах

Водородные энергетические системы как объекты теплопереноса. Тепловые режимы топливных элементов, электролизеров, систем хранения и подготовки водорода. Тепло- и массоперенос в пористых электродах и мембранных структурах топливных элементов в теплотехнической постановке. Тепловые эффекты электрохимических процессов как источники или стоки теплоты. Особенности теплообмена и тепловой безопасности при хранении, сжатии, расширении и использовании водорода. Низкоуглеродные энергетические технологии: тепловые насосы, утилизация низкопотенциальной теплоты, комбинированные энергетические установки, системы распределенной энергетики.

Тема 5. Термодинамический, энергетический и эксергетический анализ низкоуглеродных теплотехнологий

Энергетический и эксергетический подходы к анализу теплотехнологических систем. Термодинамические циклы преобразования энергии. Потери работоспособности и источники необратимости. Оценка эффективности систем накопления и преобразования энергии. Тепловые насосы и термотрансформаторы. Утилизация вторичных энергетических ресурсов и низкопотенциальной теплоты. Низкоотходные и низкоуглеродные тепловые технологические

процессы. Теплофизические основы снижения энергетических потерь и повышения эффективности использования энергетических ресурсов.

Тема 6. Расчетные и экспериментальные подходы к обеспечению тепловых режимов

Постановка расчетных задач обеспечения теплового режима. Тепловой баланс системы. Расчет температурных полей и тепловых потоков. Граничные условия теплообмена. Оценка эффективности систем охлаждения и тепловой защиты. Анализ чувствительности к теплофизическим параметрам. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных. Верификация моделей теплового режима. Подготовка индивидуальной расчетно-аналитической постановки по теме диссертационного исследования аспиранта.

5.3. Тематика практических и семинарских занятий

- 1) Составление теплового баланса автономной мобильной системы или бортового энергетического модуля.
- 2) Анализ источников тепловыделения в аккумуляторной батарее или системе накопления энергии.
- 3) Постановка задачи расчета температурного поля батарейного модуля с заданными условиями охлаждения.
- 4) Сравнение воздушного, жидкостного и фазопереходного способов термостабилизации.
- 5) Анализ тепловой эффективности тепловой трубы, термосифона или компактного теплообменника.
- 6) Постановка задачи теплового режима топливного элемента или электролизера.
- 7) Энергетический анализ низкоуглеродной энергетической системы.
- 8) Расчет эффективности утилизации низкопотенциальной теплоты.
- 9) Обсуждение современных научных публикаций по управлению тепловым режимом систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий.
- 10) Представление индивидуальной концепции обеспечения теплового режима объекта, связанного с темой диссертационного исследования аспиранта.

5.4. Образцы средств для проведения текущего контроля

В качестве образцов средств текущего контроля используются расчетно-аналитические задания, аналитический обзор современной научной литературы, концепция обеспечения теплового режима выбранной системы, итоговый научный доклад (презентация) и устное собеседование. 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 теоретических материалов по разделам дисциплины, анализ современных научных публикаций за последние 5 лет по тематике тепловых режимов автономных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий, выполнение расчетно-аналитического задания, подготовку аналитического обзора литературы, подготовку концепции обеспечения теплового режима выбранного объекта, подготовку доклада по теме, связанной с диссертационным исследованием, и подготовку к дифференцированному зачету.

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Тепловые режимы автономных мобильных и компактных энергетических систем	Проработка учебной и научной литературы; подготовка конспекта по тепловому балансу автономной системы; выделение источников тепловыделения, тепловых сопротивлений и каналов теплоотвода для выбранного объекта.
2.	Теплофизические основы систем накопления энергии	Анализ тепловых режимов систем накопления энергии; подготовка расчетной схемы аккумуляторного или теплового накопителя; оценка температурной неоднородности и факторов тепловой безопасности.
3.	Методы теплоотвода, термостабилизации и тепловой защиты	Сравнение методов воздушного, жидкостного, испарительного, теплотрубного и фазопереходного охлаждения; обоснование выбора метода теплоотвода для заданного объекта.
4.	Теплофизические процессы в водородных и низкоуглеродных энергетических системах	Подготовка аналитического обзора по тепловым режимам топливных элементов, электролизеров, систем хранения водорода или иных низкоуглеродных энергетических технологий.
5.	Термодинамический, энергетический и эксергетический анализ низкоуглеродных теплотехнологий	Выполнение энергетической или эксергетической оценки низкоуглеродной теплотехнологии; анализ источников потерь и возможных путей повышения эффективности.
6.	Расчетные и экспериментальные подходы к обеспечению тепловых режимов	Подготовка концепции обеспечения теплового режима; выбор расчетных и экспериментальных методов проверки; подготовка итогового доклада и связь с темой диссертационного исследования.

Рекомендуемые темы самостоятельных работ

- 1) Тепловой режим автономной мобильной системы как объект теоретической и прикладной теплотехники.
- 2) Источники тепловыделения в аккумуляторных системах накопления энергии.
- 3) Тепловая безопасность и температурная неоднородность батарейных модулей.
- 4) Воздушное и жидкостное охлаждение систем накопления энергии.
- 5) Фазопереходные материалы в системах термостабилизации.
- 6) Тепловые трубы и термосифоны в компактных энергетических системах.
- 7) Теплофизические аспекты работы топливных элементов.
- 8) Тепломассоперенос в пористых элементах водородных энергетических систем.
- 9) Тепловые режимы электролизеров.
- 10) Термодинамический анализ тепловых насосов.
- 11) Эксергетический анализ низкоуглеродных энергетических технологий.
- 12) Утилизация низкопотенциальной теплоты в промышленных и автономных системах.
- 13) Тепловая защита компактного тепловыделяющего оборудования.
- 14) Тепловой режим силовой электроники и электрических приводов.
- 15) Теплотехнические ограничения автономных мобильных платформ.
- 16) Методы расчета и верификации моделей теплового режима систем накопления энергии.
- 17) Низкоотходные теплотехнологические процессы и снижение экологической нагрузки.

7. Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю)

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

Форма проведения промежуточной аттестации – дифференцированный зачет. Дифференцированный зачет проводится в форме устного собеседования по вопросам дисциплины с учетом выполненных аспирантом работ текущего контроля: расчетно-аналитического задания, аналитического обзора, концепции обеспечения теплового режима выбранной системы и итогового доклада (презентации).

На дифференцированном зачете оцениваются: знание теоретических основ дисциплины; понимание физических механизмов тепловыделения, теплоотвода, теплопроводности, конвекции, излучения, фазовых превращений и сопряженного теплообмена; способность формулировать физическую и расчетную постановку задачи обеспечения теплового режима; умение выявлять источники тепловыделения, тепловые сопротивления и каналы теплоотвода; способность выбирать методы охлаждения, тепловой защиты и термостабилизации; умение оценивать тепловую безопасность, энергоэффективность и температурную устойчивость системы; способность выполнять энергетический и эксергетический анализ; способность связывать содержание дисциплины с темой диссертации и паспортом 2.4.6.

7.1.1. Примерные вопросы для текущего контроля и дифференцированного зачета

- 1) Автономная мобильная система как объект теоретической и прикладной теплотехники.
- 2) Компактная энергетическая система как тепловыделяющий и теплоиспользующий объект.
- 3) Основные источники тепловыделения в автономных мобильных системах.
- 4) Тепловой баланс автономной мобильной или компактной энергетической системы.
- 5) Особенности теплообмена в условиях ограниченных массы, габаритов и энергетического ресурса.
- 6) Влияние внешних условий эксплуатации на тепловой режим автономной системы.
- 7) Системы накопления энергии как тепловыделяющие и теплоаккумулирующие объекты.
- 8) Тепловые режимы аккумуляторных батарей.
- 9) Источники тепловыделения в аккумуляторном элементе и батарейном модуле.
- 10) Температурная неоднородность и ее влияние на надежность систем накопления энергии.
- 11) Тепловая безопасность систем накопления энергии.
- 12) Тепловой разгон аккумуляторных систем: физическая сущность и теплотехнические факторы риска.
- 13) Воздушное охлаждение: достоинства, ограничения и область применения.
- 14) Жидкостное охлаждение: физические основы и расчетные особенности.
- 15) Испарительное охлаждение и его применение в компактных системах.
- 16) Тепловые трубы и термосифоны в системах обеспечения тепловых режимов.
- 17) Фазопереходные материалы в системах термостабилизации.
- 18) Тепловые аккумуляторы и системы накопления низкопотенциальной теплоты.
- 19) Тепловые интерфейсы и контактное тепловое сопротивление.
- 20) Интенсификация теплообмена в компактных теплообменных устройствах.
- 21) Тепловая защита тепловыделяющего оборудования.
- 22) Силовая электроника и электрические приводы как источники тепловыделения.
- 23) Теплофизические процессы в топливных элементах.
- 24) Тепломассоперенос в пористых структурах водородных энергетических систем.
- 25) Тепловой режим электролизера.
- 26) Теплофизические аспекты хранения, сжатия и расширения водорода.
- 27) Тепловая безопасность водородных энергетических систем.
- 28) Термодинамический анализ низкоуглеродных энергетических технологий.
- 29) Эксергетический анализ энергетической системы.

- 30) Тепловые насосы и термотрансформаторы как объекты прикладной теплотехники.
- 31) Утилизация низкопотенциальной теплоты.
- 32) Низкоотходные теплотехнологические процессы.
- 33) Оценка энергоэффективности теплотехнической системы.
- 34) Граничные условия в задачах обеспечения теплового режима.
- 35) Верификация расчетной модели теплового режима.
- 36) Анализ чувствительности модели теплового режима к теплофизическим параметрам.
- 37) Сравнение расчетных, экспериментальных и литературных данных при анализе тепловых режимов.
- 38) Критерии выбора метода охлаждения для компактной энергетической системы.
- 39) Тепловой режим автономной мобильной системы в условиях низких температур.
- 40) Примеры постановки диссертационных задач по обеспечению тепловых режимов автономных, накопительных и низкоуглеродных энергетических систем.

7.1.2. Примерные расчетно-аналитические задания

• Тепловой баланс автономного мобильного объекта.

Составить тепловой баланс автономного мобильного объекта с заданными источниками тепловыделения и условиями теплообмена с окружающей средой. Определить основные каналы теплоотвода и факторы, влияющие на температурное состояние системы.

• Расчет температурного режима компактной энергетической системы.

Для компактной энергетической системы с заданной тепловой мощностью, площадью теплообмена и условиями охлаждения оценить стационарную температуру корпуса или критического элемента.

• Охлаждение аккумуляторного модуля.

Сформулировать расчетную постановку задачи охлаждения аккумуляторного модуля с воздушным или жидкостным теплоотводом. Определить граничные условия, критерии тепловой безопасности и ожидаемые выходные параметры.

• Температурная неоднородность батарейного модуля.

Оценить температурный перепад между элементами батарейного модуля при заданной тепловой нагрузке и условиях теплоотвода. Сделать вывод о влиянии температурной неоднородности на надежность системы.

• Контактное тепловое сопротивление.

Оценить влияние контактного теплового сопротивления на температурный режим батарейного элемента, силового электронного компонента или тепловыделяющего модуля.

• Сравнение методов охлаждения.

Сравнить эффективность воздушного, жидкостного и фазопереходного охлаждения для компактной тепловыделяющей системы. Указать преимущества, ограничения и область применимости каждого метода.

• Тепловая труба или термосифон как элемент термостабилизации.

Построить расчетную схему тепловой трубы или термосифона как элемента системы термостабилизации. Определить основные тепловые сопротивления и факторы, ограничивающие теплоперенос.

• Фазопереходный материал в системе сглаживания пиковых тепловых нагрузок.

Оценить количество фазопереходного материала, необходимое для ограничения роста температуры при заданной тепловой нагрузке и продолжительности теплового импульса.

• Тепловой режим силовой электроники.

Сформулировать расчетную задачу теплоотвода от силового электронного компонента с учетом теплового сопротивления корпуса, интерфейсного слоя и радиатора.

• Тепловой режим топливного элемента.

Сформулировать задачу теплового режима топливного элемента с учетом тепловыделения, теплоотвода и межфазного переноса. Указать основные теплотехнические параметры и граничные условия.

- **Тепловой режим электролизера.**

Составить расчетную схему теплового баланса электролизера, определить источники тепловыделения и возможные каналы теплоотвода.

- **Теплофизические аспекты хранения водорода.**

Сформулировать теплотехническую постановку задачи хранения, сжатия или расширения водорода. Указать роль температуры, давления, теплообмена и тепловой безопасности.

- **Энергетическая и эксергетическая оценка теплового насоса.**

Выполнить энергетическую и эксергетическую оценку теплового насоса или системы утилизации низкопотенциальной теплоты. Определить основные источники потерь и возможные пути повышения эффективности.

- **Утилизация низкопотенциальной теплоты.**

Рассчитать полезный тепловой эффект системы утилизации низкопотенциальной теплоты при заданных температурах источника, потребителя и расходах теплоносителей.

- **Анализ научной статьи по управлению тепловым режимом.**

Выполнить анализ научной статьи по управлению тепловым режимом систем накопления энергии или автономных энергетических систем по схеме: объект, тепловая проблема, физическая модель, метод исследования, результаты, ограничения, связь с 2.4.6.

- **Концепция системы обеспечения теплового режима.**

Предложить концепцию системы обеспечения теплового режима автономной мобильной платформы, батарейного модуля, топливного элемента, электролизера или низкоуглеродной энергетической установки.

- **Фрагмент расчетного раздела диссертационной работы.**

Подготовить фрагмент расчетного раздела диссертационной работы: цель расчета, объект, физические допущения, уравнения, граничные условия, критерии эффективности и связь с паспортом 2.4.6.

- **Сравнение расчетной и экспериментальной оценки теплового режима.**

Для выбранного объекта предложить схему сопоставления расчетных и экспериментальных данных: контролируемые температуры, тепловые потоки, погрешности, критерии согласования и ограничения модели.

7.1.3. Примерные темы аналитических обзоров, докладов и презентаций

- 1) Современные подходы к управлению тепловым режимом аккумуляторных систем.
- 2) Тепловая безопасность систем накопления энергии.
- 3) Температурная неоднородность батарейных модулей и методы ее снижения.
- 4) Воздушное охлаждение аккумуляторных систем: преимущества и ограничения.
- 5) Жидкостное охлаждение батарейных модулей.
- 6) Фазопереходные материалы в системах термостабилизации.
- 7) Тепловые трубы и термосифоны в автономных энергетических системах.
- 8) Испарительное охлаждение компактных тепловыделяющих систем.
- 9) Тепловые интерфейсы и контактное тепловое сопротивление.
- 10) Тепловой режим силовой электроники автономных мобильных систем.
- 11) Тепловой режим электрических приводов.
- 12) Теплофизические ограничения беспилотных авиационных систем.
- 13) Тепловая защита компактного тепловыделяющего оборудования.
- 14) Теплофизические аспекты работы топливных элементов.
- 15) Тепломассоперенос в водородных энергетических системах.
- 16) Тепловые режимы электролизеров.
- 17) Теплофизические аспекты хранения и подготовки водорода.
- 18) Эксергетический анализ низкоуглеродных энергетических технологий.
- 19) Тепловые насосы и утилизация низкопотенциальной теплоты.
- 20) Низкоотходные теплотехнологические процессы.
- 21) Энергетическая и эксергетическая оценка систем накопления и преобразования энергии.
- 22) Верификация моделей теплового режима систем накопления энергии.

23) Расчетные и экспериментальные методы исследования тепловых режимов автономных систем.

24) Современные научные тренды в обеспечении тепловых режимов автономных и накопительных энергетических систем.

25) Связь темы диссертационного исследования аспиранта с задачами обеспечения тепловых режимов по паспорту научной специальности 2.4.6.

7.2. Критерии оценки результатов дифференцированного зачета

Оценка	Критерии
Отлично	Аспирант демонстрирует глубокое и системное понимание физических механизмов тепловыделения, теплоотвода, термостабилизации и тепловой защиты автономных мобильных систем, систем накопления энергии и низкоуглеродных энергетических технологий; грамотно использует профессиональную терминологию; корректно формулирует физическую и расчетную постановку задачи; обоснованно выбирает методы охлаждения, тепловой защиты и термостабилизации; способен выполнять энергетический и эксергетический анализ; уверенно связывает содержание дисциплины с темой диссертационного исследования и паспортом 2.4.6.
Хорошо	Аспирант в целом правильно раскрывает содержание дисциплины, владеет основными понятиями управления тепловым режимом, тепловой безопасности, энергоэффективности и тепловой защиты, способен анализировать типовые тепловые режимы автономных и накопительных систем, но допускает отдельные неточности при обосновании моделей, допущений, расчетных параметров, методов теплоотвода или границ применимости решений.
Удовлетворительно	Аспирант владеет базовой терминологией и общими представлениями о тепловых режимах автономных, накопительных и низкоуглеродных энергетических систем, но испытывает затруднения при самостоятельной постановке расчетной задачи, выборе метода теплоотвода, анализе тепловой безопасности, выполнении энергетической оценки или интерпретации результатов.
Неудовлетворительно	Аспирант не владеет основными понятиями дисциплины; не способен объяснить физические механизмы тепловыделения и теплоотвода; допускает грубые ошибки в терминологии и расчетных постановках; не может связать содержание дисциплины с направлением диссертационного исследования по специальности 2.4.6.

7.3. Рекомендуемая структура ответа на дифференцированном зачете

При ответе на вопрос дифференцированного зачета аспиранту рекомендуется придерживаться следующей структуры:

- 1) дать определение рассматриваемого понятия, процесса, объекта или метода;
- 2) раскрыть физический смысл рассматриваемого теплотехнического процесса;
- 3) указать объект или класс объектов, для которых характерна данная задача;
- 4) определить источники тепловыделения, каналы теплоотвода и тепловые сопротивления;
- 5) записать основные уравнения или расчетные соотношения;
- 6) пояснить используемые параметры и размерности;
- 7) указать начальные и граничные условия при необходимости;
- 8) обосновать исходные допущения;
- 9) раскрыть метод теплоотвода, тепловой защиты или термостабилизации;

10) указать критерии тепловой безопасности, энергоэффективности или температурной устойчивости;

11) пояснить ограничения модели или технического решения;

12) привести пример прикладного использования;

13) показать связь с научной специальностью 2.4.6;

14) 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.

2) Теория тепломассопереноса в нефтегазовых и строительных технологиях : учебное пособие для вузов / под ред. А. Б. Шабарова, А. А. Кислицына. – Москва : Издательство Юрайт ; Тюмень : Тюменский государственный университет, 2022. – 332 с. – ISBN 978-5-534-03562-9 ; ISBN 978-5-400-00979-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/498905> (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.

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 тепловых режимов, систем накопления энергии, автономных мобильных систем, низкоуглеродных энергетических технологий и теплотехнического оборудования.

19) SpringerLink. – URL: <https://link.springer.com/>

Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для поиска современных научных публикаций и монографий по теплофизике, тепломассопереносу, системам накопления энергии, водородной энергетике, низкоуглеродным энергетическим технологиям, тепловой защите и термостабилизации.

20) Wiley Online Library. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/>

Используется при наличии доступа через подписку ТюмГУ для поиска современных научных публикаций по теплопередаче, энергоэффективности, тепловому управлению, системам накопления энергии, низкоуглеродным энергетическим системам и теплотехническим 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 – 76 шт.

- Стулья – 123 шт.
- Рабочее место преподавателя – 1 шт.
- Магнитно-маркерная стеклянная доска (настенная) – 4 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 – 2 шт.
- Проекционный моторизованный экран – 2 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) – 1 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 инструмент углубленного освоения научных задач обеспечения тепловых режимов автономных, накопительных и низкоуглеродных энергетических систем и как основу расчетного обоснования соответствующих разделов диссертационного исследования.

2) При изучении каждого раздела фиксировать связь рассматриваемых тепловых режимов, методов теплоотвода, тепловой защиты, термостабилизации и энергетического анализа с паспортом научной специальности 2.4.6.

3) Не ограничиваться формальным описанием оборудования, а раскрывать физический смысл процессов тепловыделения, теплопроводности, конвекции, излучения, фазовых превращений и сопряженного теплообмена.

4) При выполнении самостоятельных работ использовать учебную литературу, современные научные статьи за последние 5 лет и, при необходимости, данные лабораторных, расчетных или эксплуатационных исследований.

5) При анализе темы диссертации выделять объект исследования, физические процессы, расчетную модель, измеряемые и рассчитываемые параметры, критерии тепловой безопасности и энергоэффективности, ожидаемую научную новизну и соответствие паспорту специальности.

6) Не подменять задачи теоретической и прикладной теплотехники задачами автоматизированного управления, создания приборов или первичных преобразователей, если в работе отсутствует выраженная теплотехническая постановка задачи.

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, расчетные схемы 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, критерии тепловой безопасности и интерпретацию результата.

12.3. Методические рекомендации по подготовке к дифференцированному зачету

Подготовка к дифференцированному зачету должна включать систематическое повторение разделов, связанных с тепловыми режимами автономных мобильных и компактных энергетических систем, системами накопления энергии, методами теплоотвода, термостабилизации и тепловой защиты, теплофизическими процессами в водородных и низкоуглеродных энергетических системах, энергетическим и эксергетическим анализом, расчетными и экспериментальными подходами к обеспечению тепловых режимов. Ответ на зачете должен быть логичным, физически содержательным и связанным с темой диссертационного исследования аспиранта.

При подготовке к зачету рекомендуется использовать следующую структуру ответа: определение понятия, процесса, объекта или метода; физический смысл; объект или класс объектов; источники тепловыделения, каналы теплоотвода и тепловые сопротивления; основные уравнения; параметры и размерности; начальные и граничные условия; допущения; метод теплоотвода, тепловой защиты или термостабилизации; критерии тепловой безопасности, энергоэффективности или температурной устойчивости; ограничения модели или технического решения; 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, концепции обеспечения теплового режима или итогового доклада (презентации). В работе должны быть указаны тема, цель, объект и предмет рассмотрения, исходные данные или исследовательская проблема, используемые методы, физическая и расчетная постановка, основные результаты, выводы и список использованных источников. При использовании результатов научных публикаций обязательны корректные ссылки на источники.