

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 » _____ 2026 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА
Научная специальность 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника

1. Паспорт оценочных материалов по дисциплине

Оценочные материалы по дисциплине «Теоретическая и прикладная теплотехника» предназначены для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации аспирантов, обучающихся по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Оценочные материалы обеспечивают проверку уровня освоения аспирантами фундаментальных и прикладных положений теоретической и прикладной теплотехники, способности формулировать и решать научные задачи, выполнять расчетно-аналитические задания, анализировать процессы переноса теплоты, массы и импульса, интерпретировать результаты расчетных, численных, экспериментальных и литературных исследований, а также соотносить содержание дисциплины с темой диссертационного исследования и паспортом научной специальности 2.4.6.

Настоящие оценочные материалы являются приложением к рабочей программе дисциплины. Они используются при проведении текущего контроля, самостоятельной работы аспиранта и промежуточной аттестации в форме кандидатского экзамена. Оценочные материалы не заменяют отдельный комплект экзаменационных билетов кандидатского экзамена; примерный перечень вопросов используется как банк вопросов для подготовки аспирантов и формирования экзаменационных билетов.

1.1. Компетенции, проверяемые оценочными материалами

Оценочные материалы соотнесены с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями, формируемыми при освоении дисциплины.

Код	Содержание компетенции
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
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
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
УК-4	готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках
УК-5	способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
ОПК-2	готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования
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
ПК-2	способность применять расчетные, экспериментальные, расчетно-экспериментальные, численные и информационные методы исследования термодинамических, теплогидравлических и тепломассопереносных процессов в теплотехнических системах, одно- и многофазных, пористых, флюидонасыщенных и мерзлых средах, включая обработку, верификацию, валидацию и интерпретацию полученных результатов
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
--	---

1.2. Паспорт оценочных материалов

В таблице указаны темы дисциплины и вид промежуточной аттестации в соответствии с рабочей программой. В целях компактности в графе «Код и содержание компетенции» приведены коды компетенций; полное содержание компетенций приведено в пункте 1.1 настоящих оценочных материалов.

№ п/п	Темы дисциплины (модуля) в ходе текущего контроля, вид промежуточной аттестации	Код и содержание компетенции	Оценочные материалы (виды и количество)
1.	Предмет, методы и современная проблематика теоретической и прикладной теплотехники	УК-1, УК-2, УК-4, ОПК-1, ОПК-2, ПК-1, ПК-3	Участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях; доклад (презентация); обоснование соответствия темы диссертации паспорту 2.4.6
2.	Термодинамика, статистическая физика и теплофизические свойства веществ	УК-1, УК-2, ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях; расчетно-аналитическое задание; вопросы к кандидатскому экзамену
3.	Техническая термодинамика, циклы и установки преобразования энергии	УК-1, УК-2, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Расчетно-аналитическое задание; аналитический обзор; вопросы к кандидатскому экзамену
4.	Теплопроводность, конвективный теплообмен и радиационный теплообмен	УК-1, ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Расчетно-аналитическое задание; участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях; вопросы к кандидатскому экзамену
5.	Тепло- и массоперенос в одно- и многофазных, многокомпонентных и химически реагирующих средах	УК-1, УК-2, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Расчетно-аналитическое задание; аналитический обзор; доклад (презентация); вопросы к кандидатскому экзамену
6.	Тепломассоперенос в пористых и флюидонасыщенных средах, скважинах и трубопроводах	УК-1, УК-2, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Расчетно-аналитическое задание; аналитический обзор; доклад (презентация); вопросы к кандидатскому экзамену
7.	Теплообменные аппараты, теплотехническое оборудование, интенсификация теплообмена и тепловая защита	УК-1, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Расчетно-аналитическое задание; участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях; вопросы к кандидатскому

			экзамену
8.	Энергоэффективность, тепловые режимы, моделирование и низкоотходные теплотехнологические процессы	УК-1, УК-2, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Расчетно-аналитическое задание; аналитический обзор; доклад (презентация); обоснование соответствия темы диссертации паспорту 2.4.6; вопросы к кандидатскому экзамену
9.	Кандидатский экзамен, 5 семестр	УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Кандидатский экзамен: устный ответ по экзаменационному билету; дополнительные вопросы; собеседование по теме диссертационного исследования

2. Виды и характеристика оценочных средств

Для оценки результатов освоения дисциплины используются следующие оценочные средства:

- 1) участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях;
- 2) расчетно-аналитическое задание;
- 3) аналитический обзор современной научной литературы;
- 4) научный доклад (презентация);
- 5) обоснование соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6;
- 6) кандидатский экзамен.

2.1. Участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях

Участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях используется для проверки теоретической подготовки аспиранта, владения профессиональной терминологией, способности объяснять физический смысл законов, моделей, уравнений, критериев подобия и расчетных соотношений.

В ходе семинарских занятий оцениваются:

- 1) понимание основных понятий и закономерностей теоретической и прикладной теплотехники;
- 2) корректность использования физической, теплотехнической и математической терминологии;
- 3) способность формулировать физическую постановку задачи;
- 4) способность объяснять область применимости расчетных зависимостей;
- 5) умение аргументированно участвовать в научных обсуждениях;
- 6) способность связывать обсуждаемые вопросы с паспортом 2.4.6 и темой диссертационного исследования.

2.2. Расчетно-аналитическое задание

Расчетно-аналитическое задание используется для проверки умения аспиранта применять положения теоретической и прикладной теплотехники к решению конкретных расчетных, инженерно-физических и исследовательских задач.

Расчетно-аналитическое задание должно включать:

- 1) формулировку задачи;
- 2) исходные данные;
- 3) физическую постановку задачи;
- 4) выбор расчетной модели;
- 5) обоснование допущений;

- 6) запись основных уравнений;
- 7) указание начальных и граничных условий при необходимости;
- 8) расчет с соблюдением размерностей;
- 9) проверку физической реалистичности результата;
- 10) анализ влияния ключевых параметров при необходимости;
- 11) интерпретацию результата;
- 12) вывод;
- 13) указание связи задачи с паспортом научной специальности 2.4.6.

2.3. Аналитический обзор современной научной литературы

Аналитический обзор современной научной литературы используется для проверки способности аспиранта критически анализировать научные публикации по профилю диссертационной работы и одному из разделов дисциплины.

Обзор должен быть связан с темой диссертационного исследования аспиранта или с одним из профильных направлений дисциплины.

Рекомендуемая структура аналитического обзора:

- 1) тема обзора;
- 2) связь темы с дисциплиной и паспортом 2.4.6;
- 3) актуальность научной проблемы;
- 4) характеристика современного состояния исследований;
- 5) анализ не менее 10 научных источников, включая публикации последних 5 лет;
- 6) классификация подходов, моделей, методов или экспериментальных схем;
- 7) сопоставление результатов, представленных в литературе;
- 8) выявление ограничений существующих моделей, методов и экспериментальных данных;
- 9) определение нерешенных вопросов;
- 10) связь выявленной научной проблемы с темой диссертационного исследования;
- 11) вывод о перспективности дальнейшего исследования.

2.4. Научный доклад (презентация)

Научный доклад (презентация) используется для проверки способности аспиранта самостоятельно изучать теоретический материал, анализировать научную литературу, обобщать современные научные данные и представлять результаты в устной форме.

Доклад должен быть связан с одним из разделов дисциплины и, по возможности, с темой диссертационного исследования аспиранта.

Рекомендуемая структура доклада:

- 1) название темы;
- 2) актуальность выбранного раздела;
- 3) связь с научной специальностью 2.4.6 и темой диссертационного исследования;
- 4) основные понятия, уравнения и модели;
- 5) современное состояние вопроса;
- 6) анализ 5–10 современных научных источников;
- 7) область применимости рассматриваемых моделей;
- 8) ограничения и нерешенные вопросы;
- 9) связь с темой диссертационного исследования;
- 10) выводы.

2.5. Обоснование соответствия темы диссертации паспорту научной специальности

2.4.6

Обоснование соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6 используется для проверки способности аспиранта корректно определить предметную область собственного исследования и показать его принадлежность к теоретической и прикладной теплотехнике.

Обоснование рекомендуется оформлять в виде краткого аналитического текста, раскрывающего соответствие паспорту научной специальности 2.4.6 следующих элементов диссертационного исследования: тема диссертации; объект исследования; предмет исследования; цель исследования; задачи исследования; методы исследования; основные физические процессы; ожидаемая научная новизна; теоретическая значимость; практическая значимость; предполагаемые публикации и апробация.

При оценивании особое внимание уделяется тому, чтобы тема диссертации была раскрыта через теплотехническую постановку задачи: термодинамику, теплофизические свойства, тепло- и массоперенос, теплогидравлику, тепловые режимы, теплотехническое оборудование, энергоэффективность, математическое моделирование или низкоотходные теплотехнологические процессы.

2.6. Кандидатский экзамен

Кандидатский экзамен проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

Экзаменационный билет рекомендуется формировать из трех вопросов:

1. **первый вопрос** – фундаментальный раздел термодинамики, статистической физики, теплофизики, технической термодинамики или теории тепло- и массопереноса;
2. **второй вопрос** – прикладной раздел теплопроводности, конвективного теплообмена, радиационного теплообмена, фазовых превращений, многофазных систем, пористых сред, теплотехнического оборудования, тепловых режимов или энергоэффективности;
3. **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.

2.7. Распределение баллов текущего контроля

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

2.8. Шкала оценивания текущего контроля

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.

2.9. Критерии оценивания текущего контроля

2.9.1. Участие в семинарских занятиях и научных обсуждениях – до 15 баллов

Баллы	Критерии
13–15	Аспирант регулярно и содержательно участвует в обсуждениях, корректно использует профессиональную терминологию, демонстрирует понимание физического смысла процессов, задает содержательные вопросы, аргументирует позицию, связывает обсуждаемые темы с паспортом 2.4.6 и диссертационным исследованием.
10–12	Аспирант участвует в обсуждениях, в целом корректно использует терминологию и демонстрирует понимание основных положений дисциплины, но отдельные ответы или вопросы недостаточно глубоки.
6–9	Участие нерегулярное или преимущественно формальное; аспирант демонстрирует фрагментарное понимание обсуждаемых вопросов, допускает отдельные терминологические или содержательные неточности.
0–5	Аспирант практически не участвует в обсуждениях или допускает грубые ошибки в базовых понятиях, физических законах и терминологии.

2.9.2. Расчетно-аналитическое задание – до 25 баллов

Баллы	Критерии
22–25	Задача решена корректно; физическая постановка обоснована; модель, допущения, уравнения, начальные и граничные условия выбраны верно; размерности соблюдены; результат физически интерпретирован; выполнена проверка реалистичности результата; сделан вывод и показана связь с паспортом 2.4.6.
18–21	Задача решена в целом правильно; имеются отдельные неточности в оформлении, промежуточных расчетах, обосновании допущений, записи уравнений или интерпретации результата.
12–17	Работа выполнена частично; расчетная схема выбрана недостаточно обоснованно; имеются ошибки в уравнениях, размерностях, допущениях или выводах, но общий подход к решению задачи прослеживается.
0–11	Задача не решена или решена неверно; физическая модель выбрана неправильно; допущены грубые ошибки в физических законах, расчетах, размерностях или интерпретации результата.

2.9.3. Аналитический обзор современной научной литературы – до 20 баллов

Баллы	Критерии
18–20	Обзор выполнен системно и критически; использованы современные научные источники; показана степень разработанности проблемы, сопоставлены подходы и модели, выявлены ограничения существующих исследований, определена исследовательская ниша и показана связь с диссертационной темой.
14–17	Обзор в целом соответствует теме, содержит современные источники и анализ подходов, но отдельные ограничения моделей, противоречия, нерешенные вопросы или перспективы раскрыты недостаточно.
9–13	Обзор носит преимущественно реферативный характер; анализ источников ограничен; связь с темой диссертации и паспортом 2.4.6 показана неполно.
0–8	Обзор не соответствует теме, содержит нерелевантные источники, не отражает современное состояние научной проблемы или не представлен.

2.9.4. Научный доклад (презентация) – до 20 баллов

Баллы	Критерии
18–20	Доклад логичен, содержателен, выполнен на высоком теоретическом уровне; презентация оформлена корректно; использованы современные источники; аспирант раскрывает физический смысл процессов, показывает связь с паспортом 2.4.6 и отвечает на вопросы по существу.
14–17	Доклад в целом раскрывает тему, но имеются отдельные замечания к глубине анализа, структуре, подбору источников, визуализации или ответам на вопросы.
9–13	Доклад преимущественно описательный, слабо структурирован, презентация неполна или перегружена, ответы на вопросы затруднены.
0–8	Доклад не соответствует теме, не раскрывает содержание раздела дисциплины, содержит существенные терминологические или физические ошибки либо не представлен.

2.9.5. Обоснование соответствия темы диссертации паспорту 2.4.6 – до 20 баллов

Баллы	Критерии
18–20	Соответствие темы, объекта, предмета, цели, задач, методов и ожидаемых результатов паспорту 2.4.6 обосновано полно и убедительно; показана теплотехническая постановка задачи, физические процессы, научная новизна и границы специальности.
14–17	Соответствие в целом обосновано, но отдельные элементы требуют уточнения: предмет исследования, методы, ожидаемая новизна, практическая значимость или связь с конкретными направлениями паспорта.
9–13	Обоснование носит формальный характер; связь с паспортом 2.4.6 показана неполно; предметная область сформулирована расплывчато.
0–8	Соответствие паспорту 2.4.6 не доказано; работа уходит в смежную область без выраженной теплотехнической постановки либо задание не представлено.

2.10. 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.

2.11. 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 самостоятельную работу, включающую не менее двух элементов текущего контроля;
- 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.

3. Оценочные средства

3.1. 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.

3.2. 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, 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.

3.3. 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.

3.4. Примерные темы докладов (презентаций) и аналитических обзоров

- 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.

3.5. Задание на обоснование соответствия темы диссертации паспорту научной специальности 2.4.6

Аспиранту необходимо подготовить краткий аналитический текст или таблицу соответствия темы диссертационного исследования паспорту научной специальности 2.4.6. В работе должны быть отражены тема диссертации, объект, предмет, цель, задачи, гипотеза, физическая и математическая постановка исследования, методы исследования, ожидаемые результаты, элементы научной новизны, теоретическая и практическая значимость, а также конкретные направления паспорта 2.4.6, которым соответствует исследование.

Рекомендуемая форма таблицы:

Элемент исследования	Формулировка по теме диссертации	Соответствие паспорту 2.4.6 и обоснование
Тема диссертации		
Объект исследования		
Предмет исследования		
Цель исследования		
Задачи исследования		
Гипотеза		
Физическая постановка задачи		
Математическая постановка задачи		
Методы исследования		
Ожидаемые результаты		
Научная новизна		
Теоретическая значимость		
Практическая значимость		
Публикации и апробация		

3.6. Рекомендуемая структура ответа на кандидатском экзамене

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

- дать определение рассматриваемого явления, закона, процесса, модели;
- раскрыть физический смысл рассматриваемого процесса;
- указать область применения;
- записать основные уравнения и пояснить обозначения;
- обосновать исходные допущения;
- пояснить начальные и граничные условия, если они необходимы;

- указать критерии подобия или безразмерные параметры, если они используются;
- пояснить ограничения модели;
- привести пример прикладного использования;
- показать связь с научной специальностью 2.4.6;
- при возможности показать связь с темой собственного диссертационного исследования.