

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



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

А. В. Толстиков

29 июля 2022

**ТЕХНИКА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Рабочая программа

для обучающихся по научной специальности

1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника

форма обучения: очная

Вакулин А. А. Техника теплофизического эксперимента. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника. Форма обучения: очная. Тюмень, 2022.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ (приказ Минобрнауки России № 951 от 20 октября 2021 года).

Рабочая программа дисциплины (модуля) " Техника теплофизического эксперимента " опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель дисциплины - дать аспирантам знания, навыки и умения необходимые для проведения теплофизического эксперимента, ознакомить с современным состоянием и перспективами развития техники теплофизического эксперимента.

Задачи учебного курса:

- Изучение методов и техники измерения температуры и давления экспериментальных методов исследования теплофизических свойств веществ;
- Изучение методов экспериментального исследования коэффициентов теплоотдачи и массообмена;
- Изучение методов измерения расходов однофазных и многофазных сред;
- Изучение современных экспериментальных теплофизических установок и оборудования.

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

ПК-1 способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области теплофизики и теоретической теплотехники;

ПК-2 способность проводить расчеты теплофизических параметров и анализировать результаты теплофизических экспериментов;

ПК-3 способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с помощью современного оборудования и информационных технологий.

### 3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
			4 семестр
Общий объем	зач. ед.	3	3
	час	108	108
Из них:			
<b>Часы аудиторной работы (всего):</b>		<b>22</b>	<b>22</b>
Лекции		12	12
Практические занятия		10	10
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
<b>Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося</b>		<b>50</b>	<b>50</b>
Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен, экзамен)		36	Дифференцированный зачет 36

#### **4. Система оценивания**

Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет.

Для допуска к зачету необходимым условием является сдача отчетов. Аспиранты сдают зачёт в устной форме. Вопросы на зачёте задаёт принимающий его преподаватель. Аспиранту дается 45 минут на подготовку к вопросу.

##### **Критерии оценки результатов дифференциального зачета:**

Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах физической и общенаучной терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;
- безошибочное знание фактического материала;
- историографические знания в рамках вопросов билета;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное использование в ответах физической и общенаучной терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- отдельные ошибки при изложении фактического материала;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «удовлетворительно» ставится за:

- недостаточное использование в ответах физической и общенаучной терминологии;
- недостаточное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить только одну из проблем, сформулированных в билетах вопросов;
- ошибки при изложении фактического материала;
- нарушение логичности и связности ответа.

Оценка «неудовлетворительно» ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой физической и общенаучной терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;
- грубые ошибки при изложении фактического материала;
- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- нарушение логичности, связности ответа.

#### **5. Содержание дисциплины**

##### **5.1. Тематический план дисциплины**



№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактно й работы
			Лекции	Практиче ские занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Методы и техника измерения температуры в теплофизическом эксперименте	4	2	2	0	0
2.	Способы создания и изменения давлений в теплофизическом эксперименте	4	2	2	0	0
3.	Экспериментальные методы исследования теплофизических свойств веществ	4	2	2	0	0
4.	Методы экспериментального исследования коэффициентов теплоотдачи и массообмена	4	2	2	0	0
5.	Методы измерения расхода однофазных и многофазных сред	4	2	2	0	0
6.	Экспериментальные установки и оборудование	2	2	0	0	0
7.	Дифференцированный зачет	36	0	0	0	36
	Итого (часов)	58	12	10	0	36

## 5.2. Содержание дисциплины (модуля) по темам

**Тема 1. Методы и техника измерения температуры в теплофизическом эксперименте.** Основные сведения о температуре и температурных шкалах. Классификация датчиков и температуры. Термоэлектрические термометры. Элементы теории термоэлектрических явлений. Особенности измерений термо-ЭДС. Компенсационный метод. Лабораторные и автоматические потенциометры. Температуры сопротивления. Устройство термометров.

Характеристики и область применения. Образцовый термометр сопротивления. Схемы включения термометров в измерительную цепь. Погрешности измерения температуры. Бесконтактные методы измерения температуры. Основные законы излучения черного тела. Излучательные характеристики. Яркостная, цветовая и радиационная температуры. Устройство пирометров. Методы градуировки. Погрешности измерения температуры.

**Тема 2. Способы создания и измерения давлений в теплофизическом эксперименте.** Абсолютные и относительные методы. Типы манометрических преобразователей, их характеристики, градуировка. Способы создания высоких и сверхвысоких давлений. Элементы систем высокого давления (пьезометры, мультипликаторы, термокомпрессоры и др.). Разделительные устройства (затворы, мембраны, сильфоны). Датчики равновесия. Методы измерения давлений. Грузопоршневой манометр. Погрешности измерения давления.

**Тема 3. Экспериментальные методы исследования теплофизических свойств веществ.** Методы измерения плотности (удельного объема) твердых, жидких, газообразных веществ. Гидростатическое взвешивание. Метод пикнометра, пьезометра переменного и постоянного объемов. Методы исследования зависимости плотности твердых тел от температуры. Измерение тепло- и температуропроводности веществ. Стационарные методы измерения теплопроводности твердых, жидких и газообразных сред. Теоретические основы методов. Влияние конфигурации. Система поправок при расчетах коэффициента теплопроводности. Примеры экспериментальных установок. Нестационарные методы измерения теплопроводности. Определение температуропроводности веществ. Методы регулярного режима первого, второго и третьего рода. Методы, позволяющие измерить комплекс теплофизических свойств. Примеры автоматизации теплофизического эксперимента. Измерение вязкости жидкостей и газов. Стационарные методы (истечение через капилляр и пористые среды, вращающиеся цилиндры). Нестационарные методы (крутильные маятники, реактивный метод и др.). Особенности конструкций измерительных ячеек. Современные методы применительно к агрессивным средам. Методы исследования фазового равновесия. Измерение давления насыщенного пара (метод статический, вскипания, точек кипения), давления сублимации (методы Ленгмюра и Кнудсена). Измерение температуры плавления твердых тел. Методы исследования калорических свойств веществ. Теория калорического эксперимента. Типы калориметров. Тепловое значение калориметра. Измерение теплоемкости и энтальпии, теплоты, фазовых переходов. Стационарные и нестационарные методы. Методы измерения поверхностного натяжения и краевых углов смачивания жидкостей (метод капиллярного поднятия, максимального давления в пузырьке, отрыва капель, пластины, кольца). Особенности применения методов.

**Тема 4. Методы экспериментального исследования коэффициентов теплоотдачи и массообмена.** Стационарные методы определения местных и средних коэффициентов теплоотдачи в конвективном теплообмене, при кипении и конденсации. Способы создания стационарных тепловых потоков на поверхности теплообмена, применение вспомогательной жидкости,



электрический и электронный обогрев. Реализация заданного типа граничных условий на поверхности теплообмена при различных способах создания тепловых потоков. Способы определения величины плотности теплового потока на поверхности теплообмена, по изменению энтальпии вспомогательной жидкости, мощности, выделяемой в электрических нагревателях, по градиенту температуры в стенке. Тепломеры. Методы измерения паросодержания в канале. Исследование термической неравновесности. Нестационарные методы определения коэффициентов теплоотдачи. Методы регулярного режима. Метод «двух точек». Измерение тепловых потоков в экспериментах на ударных трубах. Особенности измерения нестационарной температуры теплоотдающей поверхности. Анализ ошибок определения значений местных и средних коэффициентов теплоотдачи.

**Тема 5. Методы измерения расхода однофазных и многофазных сред.** Значение приборов для измерения расхода и количества жидкости, газа и пара. Современные требования к приборам для измерения расхода и количества. Расходомеры переменного перепада давления. Стандартные диафрагмы и сопла. Турбинные и шариковые расходомеры и счетчики. Камерные расходомеры и счетчики. Вихревые расходомеры. Электромагнитные расходомеры. Акустические расходомеры. Кориолесовые расходомеры. Тепловые расходомеры. Оптические расходомеры. Меточные расходомеры. Измерение расхода двухфазных веществ. Измерение расхода трехфазных и трехкомпонентных веществ.

**Тема 6. Экспериментальные установки и оборудование.** Замкнутые и разомкнутые контуры для исследования теплообмена при течении в трубах однофазной жидкости, способы создания циркуляции рабочей жидкости в контуре. Специальные циркуляционные насосы. Специфические особенности установок для исследования процессов кипения и конденсации обычных и жидкометаллических теплоносителей.

## 6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1	Методы и техника измерения температуры в теплофизическом эксперименте	Чтение обязательной и дополнительной литературы, проработка лекций
2	Способы создания и изменения давлений в теплофизическом эксперименте	Чтение обязательной и дополнительной литературы, проработка лекций
3	Экспериментальные методы исследования теплофизических свойств веществ	Чтение обязательной и дополнительной литературы, проработка лекций

4	Методы экспериментального исследования коэффициентов теплоотдачи и массообмена	Чтение обязательной и дополнительной литературы, проработка лекций
5	Методы измерения расхода однофазных и многофазных сред	Чтение обязательной и дополнительной литературы, проработка лекций
6	Экспериментальные установки и оборудование	Чтение обязательной и дополнительной литературы, проработка лекций

## 7. Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю)

### 7.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Форма проведения промежуточной аттестации – дифференцированный зачет. Зачёт проводится устно в форме собеседования по прилагаемому ниже примерному перечню вопросов.

#### Вопросы для подготовки к дифференцированному зачету:

1. Основные сведения о температуре и температурных шкалах. Классификация датчиков и температуры.
2. Термоэлектрические термометры. Элементы теории термоэлектрических явлений.
3. Особенности измерений термо-ЭДС. Компенсационный метод.
4. Температуры сопротивления. Устройство термометров. Характеристики и область применения.
5. Бесконтактные методы измерения температуры. Излучательные характеристики. Яркостная, цветовая и радиационная температуры. Устройство пирометров.
6. Абсолютные и относительные методы. Типы манометрических преобразователей, их характеристики, градуировка.
7. Разделительные устройства (затворы, мембраны, сифоны). Методы измерения давления.
8. Методы измерения плотности (удельного объема) твердых, жидких, газообразных веществ.
9. Измерение тепло- и температуропроводности веществ. Стационарные методы измерения теплопроводности твердых, жидких и газообразных сред.
10. Нестационарные методы измерения теплопроводности. Определение температуропроводности веществ. Методы регулярного режима первого, второго и третьего рода.
11. Измерение вязкости жидкостей и газов. Стационарные методы (истечение через капилляр и пористые среды, вращающиеся цилиндры).
12. Методы исследования фазового равновесия.
13. Методы исследования калорических свойств веществ.
14. Измерение теплоемкости и энтальпии, теплоты, фазовых переходов. Стационарные и нестационарные методы.



15. Методы измерения поверхностного натяжения и краевых углов смачивания жидкостей (метод капиллярного поднятия, максимального давления в пузырьке, отрыва капель, пластины, кольца).
16. Стационарные методы определения местных и средних коэффициентов теплоотдачи в конвективном теплообмене, при кипении и конденсации.
17. Способы создания стационарных тепловых потоков на поверхности теплообмена, применение вспомогательной жидкости, электрический и электронный обогрев.
18. Реализация заданного типа граничных условий на поверхности теплообмена при различных способах создания тепловых потоков.
19. Способы определения величины плотности теплового потока на поверхности теплообмена, по изменению энтальпии вспомогательной жидкости, мощности, выделяемой в электрических нагревателях, по градиенту температуры в стенке. Тепломеры.
20. Методы измерения паросодержания в канале. Исследование термической неравновесности.
21. Нестационарные методы определения коэффициентов теплоотдачи. Методы регулярного режима. Метод "двух точек".
22. Особенности измерения нестационарной температуры теплоотдающей поверхности.
23. Значение приборов для измерения расхода и количества жидкости, газа и пара. Современные требования к приборам для измерения расхода и количества.
24. Расходомеры переменного перепада давления. Стандартные диафрагмы и сопла.
25. Турбинные и шариковые расходомеры и счетчики.
26. Камерные расходомеры и счетчики.
27. Вихревые расходомеры.
28. Электромагнитные расходомеры.
29. Акустические расходомеры.
30. Кориолесовые расходомеры.
31. Тепловые расходомеры.
32. Оптические расходомеры.
33. Меточные расходомеры.
34. Измерение расхода двухфазных веществ.
35. Измерение расхода трехфазных и трехкомпонентных веществ.
36. Замкнутые и разомкнутые контуры для исследования теплообмена при течении в трубах однофазной жидкости, способы создания циркуляции рабочей жидкости в контуре. Специальные циркуляционные насосы.
37. Специфические особенности установок для исследования процессов кипения и конденсации.

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

### 8.1. Основная литература:

1. Логунова О.С. Представление и визуализация результатов научных исследований: учебник / О. С. Логунова, П. Ю. Романов, Л. Г. Егорова, Е. А. Ильина; под ред. О. С. Логуновой. — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 156 с. — (Высшее образование: Аспирантура). - ISBN 978-5-16-014111-4. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1056236> (дата обращения: 22.03.2022). — Режим доступа: по подписке.

### 8.2 Дополнительная литература:

1. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен: Учебник / Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 464 с.: - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-004803-1. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1000209> (дата обращения: 22.03.2022). -- Режим доступа: по подписке.

2. Тепломассоперенос в нефтегазовых и строительных технологиях: учебное пособие / А. Б. Шабаров, А. А. Кислицын, Б. В. Григорьев [и др.]; под ред. А. Б. Шабарова, А. А. Кислицына. — Тюмень: ТюмГУ, 2014. — 332 с. — ISBN 978-5-400-00979-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/109978> (дата обращения: 22.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Физико-математическое моделирование течений в нефтегазовых технологиях: учебное пособие / А. Ю. Шабаров, С. С. Примаков, Д. Р. Гильмиев [и др.]. — Тюмень: ТюмГУ, 2014. — 216 с. — ISBN 978-5-400-00944-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/109979> (дата обращения: 22.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Кудинов А.А., Строительная теплофизика: Учебное пособие / А.А. Кудинов. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 262 с.: То же [Электронный ресурс]. -- URL: <http://znanium.com/bookread.php?book=329957> (дата обращения: 22.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Шияев М.И., Гидродинамика и тепломассообмен пленочных течений в полях массовых сил и их приложения: Монография / М.И. Шияев, А.В. Толстых. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 198 с.: То же [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/bookread.php?book=430423> (дата обращения: 22.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Иванов И.С., Технология машиностроения: Учеб. пособие / И.С. Иванов. - М.: ИНФРА-М, 2009. - 192 с.: То же [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/bookread.php?book=169839> (дата обращения: 22.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Чикуров Н.Г., Моделирование систем и процессов: Учебное пособие / Н.Г. Чикуров. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 398 с.: То же [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/bookread.php?book=392652> (дата обращения: 22.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

8. Барилевич В.А., Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: Учебное пособие / В.А. Барилевич, Ю.А. Смирнов. - М.:



НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 432 с.: То же [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/bookread.php?book=356818> (дата обращения: 22.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **8.3 Интернет-ресурсы:**

-

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

#### **Лицензионное ПО:**

- MS Word,
- MS Excel,
- MS PowerPoint,
- Платформа для электронного обучения Microsoft Teams.

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

- Учебные аудитории для проведения лекций и практических занятий.

### **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.

### **12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы**

#### **Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы:**

Рекомендуются следующие виды самостоятельной работы:

- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку конспекта лекций и учебной литературы;

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников информации по курсу;

- подготовка к практическим занятиям;

- подготовка к дифференцированному зачету.

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку аспиранта к текущим аудиторным занятиям и контрольным мероприятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности аспиранта на занятиях и в качестве выполненных контрольных и лабораторных работ.

Самостоятельная работа аспирантов реализуется:

- 1) непосредственно в процессе аудиторных занятий – на лекциях и практических занятиях – путем проведения экспресс-опросов по конкретным темам, тестового контроля знаний;

- 2) в контакте с преподавателем вне рамок расписания – на консультациях по учебным вопросам, при выполнении индивидуальных заданий;

- 3) в библиотеке, дома.

Виды внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов разнообразны:

- подготовка и написание рефератов, докладов;

- подбор и изучение литературных источников;

- подготовка к участию в научно-теоретических конференциях.

### **Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям:**

Практические занятия представляют особую форму сочетания теории и практики. Их назначение – углубление проработки теоретического материала предмета путем регулярной и планомерной самостоятельной работы аспирантов на протяжении всего курса. Процесс подготовки к практическим занятиям включает изучение нормативных документов, обязательной и дополнительной литературы по рассматриваемому вопросу.

Непосредственное проведение практического занятия предполагает, например:

- индивидуальные выступления аспирантов с сообщениями по какому-либо вопросу изучаемой темы;

- фронтальное обсуждение рассматриваемой проблемы, обобщения и выводы;

- решение задач и упражнений;

- решение ситуационных производственных (профессиональных) задач;

- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.

- выполнение контрольных работ.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам рекомендуется внимательно ознакомиться с тематикой практического занятия; прочесть конспект лекции по теме, изучить рекомендованную литературу; составить краткий план ответа на каждый вопрос практического занятия; проверить свои



знания, отвечая на вопросы для самопроверки; если встретятся незнакомые термины, обязательно обратиться к словарю и зафиксировать их в тетради.

Все письменные задания выполнять в рабочей тетради.

Практические занятия развивают у аспирантов навыки самостоятельной работы по решению конкретных задач.

#### **Методические рекомендации по подготовке к дифференцированному зачету:**

Для допуска к зачету необходимым условием является сдача отчетов. Аспиранты сдают зачёт в устной форме. Вопросы на зачёте задаёт принимающий его преподаватель. Аспиранту дается 45 минут на подготовку к вопросу. По итогу аспиранту ставится дифференцированная оценка: "отлично", "хорошо", "удовлетворительно" или "неудовлетворительно".