

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра общей физики**

**Авторы-составители: Глухов Александр Федорович  
Бабушкин Игорь Аркадьевич  
Сидоров Александр Сергеевич**

Рабочая программа дисциплины  
**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**  
Код УМК 63725

Утверждено  
Протокол №9  
от «19» мая 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Теплофизические измерения

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.02** Физика

направленность Фундаментальная физика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Теплофизические измерения** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.02** Физика (направленность : Фундаментальная физика)

**ПК.1** способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

**ПК.2** способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	10
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	28
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	14
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (3)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (10 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Теплофизические измерения. Первый семестр**

В ходе изучения курса «Теплофизические измерения» студенты должны получить ясные представления об основных методах измерения температуры, тепловых потоков, коэффициентов тепло- и температуропроводности вещества. Студенты должны знать достоинства и недостатки различных методов измерений, область их применения, основные источники ошибок и принципиальные схемы наиболее распространенных приборов. Спецкурс подразумевает овладение как теоретическими знаниями, так и практическими навыками, включающими умение решать конкретные задачи. Поэтому освоение программы спецкурса «Теплофизические измерения» предполагает выполнение серии лабораторных работ в рамках одноименного спецпрактикума. Отчеты по текущим лабораторным работам обеспечивают обратную связь между преподавателем и студентами в течение всего семестра

#### **Введение**

Будут рассмотрены основные теплофизические параметры веществ и их связь друг с другом

#### **Обзор теплофизических величин и теплофизических параметров веществ**

Рассматриваются температура, тепловой поток, теплопроводность и температуропроводность

#### **Температура и тепловой поток. Зависимость свойств вещества от температуры**

Обсуждается влияние температуры на свойства веществ и на протекание физических процессов.

#### **Теплопроводность и температуропроводность веществ**

Обсуждается разница и связь между коэффициентами теплопроводности и температуропроводности. Стационарные процессы передачи тепла описываются через теплопроводность, а нестационарные - с применением коэффициента температуропроводности

#### **Термопары и термометры сопротивления**

В ходе изучения раздела «Термопары и термометры сопротивления» студенты должны получить сведения о измерении температуры объектов при помощи термопар и термометров сопротивления.

#### **Термопары (ТП). Одинарная и дифференциальная термопары**

Обсуждается принцип действия термопары и роль ее вида. Одинарная термопара используется для измерения абсолютной температуры. Дифференциальная термопара измеряет разность температур между спаями.

#### **Промышленные термопары. Типы термопар. ГОСТы на ТП**

Обсуждаются термопары, выпускаемые промышленностью и ГОСТы на них в виде таблиц зависимости ЭДС от температуры, либо в виде полиномов.

#### **Термометры сопротивления (ТС). Измерение температуры при помощи ТС.**

Обсуждаются термометры сопротивления (ТС) и схемы термометров на основе ТС

#### **Промышленные ТС. ГОСТы на ТС.**

Обсуждаются промышленные термометры сопротивления, ГОСТы на ТС в виде таблиц или аппроксимирующих полиномов

#### **Сбалансированный и несбалансированный мост для измерения температуры при помощи ТС**

Рассматриваются две основные схемы для измерения температуры при помощи ТС. Сбалансированный мост - по такому принципу были устроены самописцы в промышленности. Более простой вариант - это

несбалансированный мост, где сигнал с ТС трансформируется в напряжение небаланса моста, которое и служит мерой температуры ТС.

### **Погрешности измерения температуры при помощи ТС и ТП**

Рассматриваются основные источники погрешностей измерения температуры при помощи ТС и ТП. Роль измерительного прибора и т.п., но главный источник погрешностей - это неграмотное расположение температурного датчика в объекте измерения.

### **Теплопроводность веществ**

В разделе "Теплопроводность веществ" будут рассмотрены методы измерения коэффициента теплопроводности

### **Датчики теплового потока**

Обсуждается принцип действия датчика теплового потока и датчики выпускаемые промышленностью

### **Измерение теплопроводности твердых и жидких материалов**

Рассматриваются различные схемы для измерения коэффициента теплопроводности веществ. Обращается особое внимание трудностям измерения этого параметра в жидкостях и газах, где дело осложняется конвекцией

### **Температуропроводность веществ**

В разделе "Температуропроводность веществ" будут рассмотрены несколько методов измерения коэффициента температуропроводности. В том числе, методы регулярного режима

### **Определение температуропроводности веществ методами регулярного режима**

Обсуждаются нестационарные методы прогрева или остывания тел. Анализ температурных кривых позволяет определить коэффициент температуропроводности материала

### **Основы теории автоматического управления. ПИД регулирование температуры**

Рассматриваются теоретические основы регулирования температуры объекта: позиционный регулятор и ПИД регулятор

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Арутюнов, В. А. Теплофизика и теплотехника. Теплофизика : курс лекций / В. А. Арутюнов, С. А. Крупенников, Г. С. Сборщиков. — Москва : Издательский Дом МИСиС, 2010. — 228 с. — ISBN 978-5-87623-358-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/56120>
2. Пшеничников А. Ф. Теплофизические измерения. учебное пособие по спецкурсу "Методы теплофизических измерений" Ч. 1. Термопары и термометры сопротивления/А. Ф. Пшеничников ; Пермский государственный университет, Научно-образовательный центр "Неравновесные переходы в сплошных средах". -Пермь,2003, ISBN 5-7944-0355-1.-61.-Библиогр.: с. 60
3. Румянцев А. В. Теплофизический эксперимент: Учебно-методическое пособие/Румянцев А. В..- Калининград:Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта,2011.-86. <http://www.iprbookshop.ru/23941>

### Дополнительная:

1. Дождиков В.И. Решение задач нестационарной теплопроводности [Электронный ресурс]: методические указания к курсовой работе по дисциплине «Теплофизика»/ Дождиков В.И., Коваленко О.А.— Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015.— 27 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57614>.— ЭБС «IPRbooks» <http://www.iprbookshop.ru/57614.html>
2. Дождиков В. И. Решение задач нестационарной теплопроводности:Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Теплофизика»/Дождиков В. И..-Липецк:Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ,2015.-27. <http://www.iprbookshop.ru/57614.html>



## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

[https://eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika\\_1511.html](https://eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_1511.html) Измерение теплофизических свойств и материалов.

<https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/teplotehnicheskie-izmereniya-ivanova/> Теплотехнические измерения и приборы

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Теплофизические измерения** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета;
- интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта, профессиональные тематические чаты и форумы, системы аудио и видео конференций, онлайн энциклопедии и т.д.).

Программное обеспечение:

- ОС «Альт Образование» (Договор № ДС 003–2020);
- FBReader;
- офисный пакет "Libre office"
- MS Office 2003;
- программа просмотра интернет контента (браузер) "Google Chrome";
- Windows XP;
- TermodatNet.;
- TermodatReader. ;
- Turbo Delphi. ;
- SuperVisc. FungiLab, управление ротационным вискозиметром Visco Elite и обработка реологических кривых.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

1. Лекционные занятия.

Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран для проектора, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

2. Занятий семинарского типа (семинары, практические занятия).

Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран для проектора, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

3. Групповые (индивидуальные) консультации.

Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

4. Текущий контроль.

Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

5. Самостоятельная работа.

Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Теплофизические измерения**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ПК.1**

**способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин**

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>Умеет применить знания теплофизических измерений для проведения экспериментальных исследований по физике.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> не владеет методами применения термопарных датчиков и термометров сопротивления. Не может откалибровать термопару</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> Имеет представление о использовании термопар и термометров сопротивления. Не может оценить систематическую ошибку измерения для конкретного образца</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> Знает методы использования термопар и термометров сопротивления. Может оценить систематическую ошибку измерения для конкретного образца</p> <p align="center"><b>Отлично</b> Знает методы использования термопар и термометров сопротивления. Может оценить систематическую ошибку измерения для конкретного образца Уверенно называет возможные причины систематических погрешностей. Может предложить верный способ расположения термопары для минимизации ошибки</p>

**ПК.2**

**способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта**

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.2</b> способность проводить научные исследования в избранной области</p>	<p>Знает основы теории автоматического регулирования. Владеет принципом работы ПИД</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> Не знает основ теории автоматического управления. Не владеет принципом работы ПИД-регулятора температуры</p>

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p>экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>регулятора температуры</p>	<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Знает основы теории автоматического управления. Ошибается при расказе принципов работы ПИД-регулятора температуры</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Знает основы теории автоматического управления. Принцип работы ПИД-регулятора температуры понимает верно, но в деталях ошибается</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Знает основы теории автоматического управления. Правильно и без ошибок излагает принцип работы ПИД-регулятора температуры</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Экзамен

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Обзор теплофизических величин и теплофизических параметров веществ <b>Входное тестирование</b>	Знание основ молекулярной физики и термодинамики из курса общей физики. Владение навыками решения дифференциальных уравнений. Владение базовыми знаниями по проведению физического эксперимента. Умение пользоваться измерительной техникой (универсальный вольтметр).
<b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин <b>ПК.2</b> способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	Погрешности измерения температуры при помощи ТС и ТП <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Умение оценить погрешность измерения.

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Мероприятие текущего контроля</b>	<b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p> <p><b>ПК.2</b> способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>Определение теплопроводности веществ методами регулярного режима</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знание методов измерения теплопроводности и температуропроводности.</p>
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p> <p><b>ПК.2</b> способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>Основы теории автоматического управления. ПИД регулирование температуры</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знание математической модели ПИД регулятора. Умение реализовать ПИД регулятор в виде компьютерной программы.</p>

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **Обзор теплофизических величин и теплофизических параметров веществ**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Владеет математическим аппаратом, необходимым для теплофизических измерений	5
Знает основные физические величины и законы, необходимые для понимания работы термопар, термометров сопротивления и оценки абсолютных погрешностей эксперимента	5

### Погрешности измерения температуры при помощи ТС и ТП

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Не умеет оценить погрешность измерения температуры термопарой или термометром сопротивления. Не получил калибровочную кривую.	10
Получил калибровочную кривую. Показывает, как грамотно расположить термопару на объекте для минимизации погрешности.	10
Получил калибровочную кривую. Оценивает погрешности из-за оттока тепла по проводам с ошибками.	10
Получил калибровочную кривую. Оценивает погрешности из-за оттока тепла по проводам неверно.	10

### Определение температуропроводности веществ методами регулярного режима

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Знает методы измерения теплопроводности и три метода измерения температуропроводности. Может оценить применимость методов для измерения свойств жидких и газообразных веществ.	10
Знает методы измерения теплопроводности и три метода измерения температуропроводности. Ошибается в применимости методов для измерения жидких и газообразных веществ.	10
Знает не менее двух методов измерения теплопроводности и хотя бы один метод измерения температуропроводности.	5
Не знает ни одного метода измерения температуропроводности и теплопроводности.	5

### Основы теории автоматического управления. ПИД регулирование температуры

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знает, какой прибор можно использовать для подключения термопары. Подключает термопару к измерительному верно. Неоптимально размещает спай термопары.	10
Знает, какой прибор можно использовать для подключения термопары. Подключает термопару к измерительному верно. Оптимально размещает спай термопары в объекте измерения.	10
Знает, какой прибор можно использовать для подключения термопары. Подключает термопару к измерительному прибору неверно.	5
Не знает, какой прибор можно использовать для подключения термопары. Не умеет оценить погрешность измерения температуры термопарой или термометром сопротивления. Не получил калибровочную кривую.	5