

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

**Кафедра общей физики**

**Авторы-составители: Зюзгин Алексей Викторович  
Полудницин Анатолий Николаевич  
Бабушкин Игорь Аркадьевич  
Фрик Петр Готлобович**

**Рабочая программа дисциплины  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ГИДРОДИНАМИКЕ  
Код УМК 74318**

Утверждено  
Протокол №9  
от «25» мая 2021 г.

Пермь, 2021

## **1. Наименование дисциплины**

Экспериментальные методы в гидродинамике

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

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

Направление: **03.04.02** Физика

направленность Физика акустических и гидродинамических волновых процессов

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

В результате освоения дисциплины **Экспериментальные методы в гидродинамике** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.04.02** Физика (направленность : Физика акустических и гидродинамических волновых процессов)

**ПК.1** Способен использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики

**Индикаторы**

**ПК.1.3** Дает критическую оценку и интерпретацию полученного в эксперименте результата при решении поставленных задач в области физики

**ПК.2** Способен принимать участие в разработке новых задач, методов и подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

**Индикаторы**

**ПК.2.1** Проводит анализ и оценку результата измерений физических величин и характеристик технологических процессов

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.04.02 Физика (направленность: Физика акустических и гидродинамических волновых процессов)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	5
<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>	36
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	36
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	72
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (5 триместр)

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

### **Экспериментальные методы в гидродинамике.**

Экспериментальные методы в гидродинамике

### **Измерение температуры и полей температуры с помощью инфракрасной камеры**

Измерение температуры и полей температуры с помощью инфракрасной камеры

### **Инфракрасное излучение, способы регистрации**

Изучение литературы по инфракрасной технике.

### **Устройство и интерфейс инфракрасной камеры**

Изучение устройства, программного обеспечения.

### **Получение изображений**

Получение тепловых картин различных экспериментальных объектов.

### **Калибровка и измерение поля температуры предложенных объектов**

Получение эталонных тепловых картин и их сравнение с реальной шкалой температур.

### **Обработка результатов измерений**

Получение поля температуры экспериментального объекта.

### **Оформление и представление отчета**

Написание и редактирование отчета.

### **Цифровые трассерные методы измерения полей скорости**

Цифровые трассерные методы измерения полей скорости

### **Теоретические основы цифровых трассерных методов измерения полей скорости**

Научиться готовить комплекс к проведению измерений.

Изучение структуры комплекса и программного обеспечения. Включение и получение рабочих сигналов.

### **Изучение конструкции и интерфейса системы "ПОЛИС" или "FlowMaster3"**

Научиться готовить комплекс к проведению измерений.

Изучение структуры комплекса и программного обеспечения.

### **Настройка системы**

Получение изображений вращающегося диска. Подбор экспозиции и определение масштаба изображения.

### **Калибровка и измерение поля скорости в предложенной "среде"**

Вычисление поля скорости для частиц на поверхности диска. Измерение скорости вращения диска.

### **Измерения и обработка результатов измерений**

Калибровка и измерение поля скорости сплошной среды в лабораторных условиях.

### **Оформление и представление отчета**

Написание и редактирование отчета

**Лазерные доплеровские измерительные системы. Измерение скорости газо-жидкостных потоков.**

Лазерные доплеровские измерительные системы. Измерение скорости газо-жидкостных потоков.

### **Основы метода ЛДИС**

Определение минимальной скорости, которую можно надежно измерять в данной конфигурации экспериментальной установки.

### **Изучение конструкции и интерфейса системы "ЛАД-05и"**

Научиться готовить комплекс к проведению измерений.

Изучение структуры комплекса и программного обеспечения. Включение и получение рабочих сигналов.

### **Настройка системы "ЛАД-05и", измерение скорости вращения диска-теста**

Измерение профиля скорости твердотельного, вращающегося диска. Сравнение и с эталонным измерением.

### **Калибровка и измерение профиля скорости в жидкой среде**

Измерение профиля скорости твердотельного, вращающегося диска. Сравнение и с эталонным измерением.

### **Оформление и представление отчета**

Написание и редактирование отчета

**Экспериментальные методы в гидродинамике. Второй семестр (в данном учебном плане раздел не рассматривается)**

**Лазерные доплеровские измерительные системы. Измерение скорости газо-жидкостных потоков.**

**Измерения и обработка результатов измерений**

**Оформление и представление отчета**

**Измерение температуры и полей температуры с помощью инфракрасной камеры**

**Инфракрасное излучение, способы регистрации**

**Устройство и интерфейс инфракрасной камеры**

**Получение изображений**

**Калибровка и измерение поля температуры предложенных объектов**

**Обработка результатов измерений**

**Оформление и представление отчета**

**Цифровые трассерные методы измерения полей скорости**

**Измерения и обработка результатов измерений**

**Оформление и представление отчета**

## **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. Оптические методы исследования потоков / Ю. Н. Дубнищев, В. А. Арбузов, П. П. Белоусов, П. Я. Белоусов ; под редакцией В. А. Накоряков. — Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2017. — 416 с. — ISBN 978-5-379-02018-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/65280.html>
2. Пергамент М. И. Методы исследований в экспериментальной физике: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Прикладные математика и физика"/М. И. Пергамент.- Долгопрудный:Издательский дом "Интеллект",2010, ISBN 978-5-91559-026-6.-300.-Библиогр. в конце гл.
3. Оптические методы в гидродинамике: учебно-методическое пособие/Министерство образования и науки Российской Федерации, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Кафедра общей физики.-Пермь:ПГНИУ,2016.-36.

### Дополнительная:

1. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль: научное издание/В. П. Вавилов.- Москва:Спектр,2009, ISBN 978-5-904270-05-6.-544.-Библиогр.: с. 517-526 (260 назв.)
2. Кирилловский В. К. Современные оптические исследования и измерения: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Оптехника (бакалавр, магистр)"/В. К. Кирилловский.-Санкт-Петербург:Лань,2010, ISBN 978-5-8114-0989-1.-303.-Библиогр. в конце гл.
3. Клаассен К. Б. Основы измерений. Датчики и электронные приборы:[учебное пособие] : перевод с английского/К. Б. Клаассен ; пер.: Е. В. Воронов, А. Л. Ларин.-Долгопрудный:Издательский дом "Интеллект",2008, ISBN 978-5-91559-001-3.-352.-Библиогр.: с. 345-346

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

<https://tsagi.ru/research/measurements/ofi/> Оптико-физические методы-Измерения-Исследования-ЦАГИ

<https://www.dissercat.com/content/rasshirenje-vozmozhnostei-tenevykh-i-interferentsionnykh-metodov-issledovaniya-gazovykh-poto> Расширение возможностей теневых и интерференционных методов исследования газовых потоков

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

Образовательный процесс по дисциплине **Экспериментальные методы в гидродинамике** 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:

- Пакет Microsoft Windows Professional Rus + Service Pack 2 OEM software;
- Microsoft Office Pro 2003 Win32 Rus + Service Pack 2 OEM software;
- Исполняемые модули программ для ЛАД-05;
- Пакет Actual Flow.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**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. Лабораторные занятия.

Лаборатория «Оптических методов в гидродинамике», оснащенная специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспорте лаборатории.

2. 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 компьютерами 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  
Экспериментальные методы в гидродинамике**

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

**ПК.1**

**Способен использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики**

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1.3</b> Дает критическую оценку и интерпретацию полученного в эксперименте результата при решении поставленных задач в области физики</p>	<p>Знать физические основы функционирования измерительных комплексов "ПОЛИС", "ЛАД 05" и "JADE LW CEDIP ". Уметь критически оценить и интерпретировать полученные с помощью этих комплексов результаты измерений в физическом эксперименте.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает физических основ работы измерительных комплексов. Не умеет настраивать и калибровать измерительные комплексы "ПОЛИС", "ЛАД 05", "JADE LW CEDIP". Не умеет оценивать применимость комплексов к конкретным измерениям в физической задаче. Не способен самостоятельно найти причину неверных измерений. Не умеет рассчитывать погрешность измерений.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Знает физические основы работы и устройство измерительных комплексов. Умеет настраивать и калибровать измерительные комплексы "ПОЛИС", "Лад 05", "JADE LW CEDIP".</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Знает физические основы работы и устройство измерительных комплексов. Умеет настраивать и калибровать измерительные комплексы "ПОЛИС", "ЛАД 05", "JADE LW CEDIP". Умеет оценить погрешность измерений.</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Знает физические основы работы и устройство измерительных комплексов. Умеет настраивать и калибровать измерительные комплексы "ПОЛИС", "ЛАД 05", "JADE LW CEDIP". Умеет оценить погрешность измерений. Самостоятельно находит причину неверных измерений. Умеет оценить применимость комплексов к конкретным измерениям в физической задаче.</p>

## ПК.2

### Способен принимать участие в разработке новых задач, методов и подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.2.1</b> Проводит анализ и оценку результата измерений физических величин и характеристик технологических процессов</p>	<p>На основе знания устройства и физических принципов работы измерительных комплексов проводит анализ полученных результатов измерений. Способен оценить погрешности измерений с учетом характеристик технологических процессов.</p>	<p><b>Неудовлетворител</b> Не знает последовательность операций для получения результата измерений. Не знает и не умеет проверять достоверность полученного результата альтернативным методом измерений. Не умеет, зная технологический процесс оценить значение измеряемой физической величины. Не владеет способами поиска источников ошибок измерений.</p> <p><b>Удовлетворительн</b> Знает последовательность операций для получения результата измерений. Не знает и не умеет проверять достоверность полученного результата альтернативным методом измерений. Не умеет, зная технологический процесс оценить значение измеряемой физической величины. Не владеет способами поиска источников ошибок измерений.</p> <p><b>Хорошо</b> Знает последовательность операций для получения результата измерений. Знает и умеет проверять достоверность полученного результата альтернативным методом измерений. Не умеет, зная технологический процесс оценить значение измеряемой физической величины. Не владеет способами поиска источников ошибок измерений.</p> <p><b>Отлично</b> Знает последовательность операций для получения результата измерений. Знает и умеет проверять достоверность полученного результата альтернативным методом измерений. Умеет, зная технологический процесс оценить значение измеряемой физической величины. Владеет способами поиска источников ошибок измерений.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : новая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**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 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Инфракрасное излучение, способы регистрации <b>Входное тестирование</b>	Электромагнитное излучение оптического диапазона. Законы геометрической оптики. Лазеры. Элементы статистики (корреляционные функции и т.д.). Способы оценки погрешности измерения.
<b>ПК.1.3</b> Дает критическую оценку и интерпретацию полученного в эксперименте результата при решении поставленных задач в области физики <b>ПК.2.1</b> Проводит анализ и оценку результата измерений физических величин и характеристик технологических процессов	Оформление и представление отчета <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Свойства инфракрасного излучения, особенности метода регистрации температуры инфракрасной камерой, ограничения метода, устройство и интерфейс инфракрасной камеры, настройка и калибровка ИК камеры, получение камерой и сохранение поля температуры, методы обработки и представления полученного поля температуры, оценка погрешности измерений ИК камерой температуры, оформление отчета.

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Мероприятие текущего контроля</b>	<b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>
<p><b>ПК.1.3</b> Дает критическую оценку и интерпретацию полученного в эксперименте результата при решении поставленных задач в области физики</p> <p><b>ПК.2.1</b> Проводит анализ и оценку результата измерений физических величин и характеристик технологических процессов</p>	<p>Оформление и представление отчета</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>основы трассерных методов получения полей скорости PIV и PTV, система PIV структура и конструктивные особенности, программа "ПОЛИС" интерфейс и пользовательские возможности, настройка системы(оценка времени задержки лазерных импульсов, масштаба, размера окна допроса), обработка и сохранение полученных данных, способы представления результатов обработки, оформление отчета.</p>
<p><b>ПК.1.3</b> Дает критическую оценку и интерпретацию полученного в эксперименте результата при решении поставленных задач в области физики</p> <p><b>ПК.2.1</b> Проводит анализ и оценку результата измерений физических величин и характеристик технологических процессов</p>	<p>Оформление и представление отчета</p> <p><b>Итоговое контрольное мероприятие</b></p>	<p>основы метода ЛДИС, конструкция и интерфейс системы ЛАД-05, работа с координатным устройством, настройка системы ЛАД-05, калибровка системы, измерение скорости в точке, получение профиля скорости, оформление отчета</p>

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **Инфракрасное излучение, способы регистрации**

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

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

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

Проходной балл: **0**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знает законы геометрической оптики и умеет применять их на практике.	5
Умеет оценить погрешность измерения физической величины	5
Знает свойства электромагнитного излучения оптического диапазона.	5
Знает как рассчитать корреляционную функцию для конкретного случая.	5

#### **Оформление и представление отчета**

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
оформление отчета	6
умеет настраивать и калибровать ИК камеры	5
умеет оценивать погрешности измерений ИК камерой температуры	5
знает методы обработки и представления полученного поля температуры	5
знает устройство и интерфейс инфракрасной камеры	5
знает особенности метода регистрации температуры инфракрасной камерой, ограничения метода	4
знает свойства инфракрасного излучения	3
умеет работать с камерой получать сохранять поля температуры	3

### Оформление и представление отчета

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

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

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

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
знает и умеет проводить настройку системы(оценка времени задержки лазерных импульсов, масштаба, размера окна допроса)	10
оформление отчета (введение, описание установки, методика измерений, результаты измерений и заключение)	7
владеет способами представления результатов обработки (поля скорости, профили, анимации и т.д.)	5
знает основы трассерных методов получения полей скорости PIV и PTV	5
знает структуру системы PIV и конструктивные особенности	5
умеет проводить обработку (подбор параметров счета, итерации и т.д.) и сохранение полученных данных	5
знает пользовательские возможности программы "ПОЛИС"	2
знает интерфейс программы "ПОЛИС"	2

### Оформление и представление отчета

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
оформление отчета	7
умеет проводить настройку системы ЛАД-05	5
умеет проводить калибровку системы	5
умеет проводить измерение скорости в точке	5
знает основы метода ЛДИС	

	5
знает конструкцию системы ЛАД-05	3
знает интерфейс системы ЛАД-05	3
умеет работать с координатным устройством	3
знает и умеет получать профили скорости в заданных локализациях	3