

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Экспериментальные методы исследования механических свойств  
материалов

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
01.04.03 - Механика и математическое моделирование

---

Направленность образовательной программы  
Информационное и программное обеспечение. Инженерия

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.10 Экспериментальные методы исследования механических свойств материалов относится к обязательной части образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
УК-6: Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1: Знать принципы планирования и определения приоритетов собственной деятельности УК-6.2: Уметь реализовывать приоритеты собственной деятельности на основе планирования УК-6.3: Владеть способами совершенствования собственной деятельности на основе самооценки	УК-6.1: Знать основные направления современных исследований в области изучения динамических свойств материалов и процессов высокоскоростного взаимодействия деформируемых твердых тел.  УК-6.2: Уметь выбирать направления исследований и планировать проведение экспериментальных исследований в области динамических воздействий в механике деформируемого твердого тела.  УК-6.3: Владеть навыками реализации экспериментальных методов исследований динамических воздействий в механике деформируемого твердого тела	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ОПК-1: Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики	ОПК-1.1: Знает основы фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук ОПК-1.2: Умеет формулировать, анализировать и решать	ОПК-1.1: Знать основы механики деформируемого твердого тела и механики разрушения, необходимые при решении задач экспериментального исследования динамических	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	<p>профессиональные задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук</p> <p>ОПК-1.3: Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики</p>	<p>свойств материалов.</p> <p>ОПК-1.2: Уметь применять и модифицировать известные методы экспериментальных исследований для определения параметров математических моделей, определяющих динамические свойства материалов, а также экспериментальные методы, используемые для верификации математических моделей.</p> <p>ОПК-1.3: Владеть подходами, применяемыми при разработке новых методик динамических исследований материалов.</p>		
ОПК-3: Способен разрабатывать новые методы экспериментальных исследований и применять современное экспериментальное оборудование в профессиональной деятельности	<p>ОПК-3.1: Знает основные положения, терминологию и методологию в области физического моделирования, а также основы теории эксперимента в механике</p> <p>ОПК-3.2: Умеет выбирать, использовать и разрабатывать необходимые методы физического моделирования и экспериментальных исследований в зависимости от поставленных задач</p> <p>ОПК-3.3: Имеет практический опыт применения методов физического моделирования и современного экспериментального оборудования для решения профессиональных задач</p>	<p>ОПК-3.1: Знать физические основы существующих методов экспериментальных исследований динамических свойств материалов.</p> <p>ОПК-3.2: Уметь обоснованно выбирать необходимые методы экспериментальных исследований динамических свойств материалов, с помощью которых достигаются наиболее достоверные результаты.</p> <p>ОПК-3.3: Имеет практический опыт техническими средствами, реализующими различные методы экспериментальных исследований динамических свойств материалов.</p>	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ОПК-6: Способен к организации и ведению инновационно-исследовательской	ОПК-6.1: Знает теоретические основы организации и ведения инновационно-исследовательской	ОПК-6.1: Знает основы инновационно-исследовательской деятельности экспериментальных	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

деятельности	<p>деятельности</p> <p>ОПК-6.2: Умеет использовать полученные фундаментальные и специальные знания в инновационно-исследовательской деятельности</p> <p>ОПК-6.3: Владеет навыками инновационно-исследовательской деятельности</p>	<p>исследований динамических свойств материалов.</p> <p>ОПК-6.2: Умеет использовать полученные знания в инновационно-исследовательской деятельности.</p> <p>ОПК-6.3: Владеет навыками инновационно-исследовательской деятельности в экспериментальных исследованиях динамических свойств материалов.</p>		
--------------	---	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>59</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы	Всего	

	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение. Роль и место экспериментальных методов в механике деформируемого твердого тела.	4	2		2	2
Нагружающие устройства. Пороховые разгонные устройства. Легкогазовые метательные установки, параметры, влияющие на эффективность разгона.	16	4	2	6	10
Распространение волн в стержневых системах, геометрическая дисперсия. Метод Кольского (РСГ), его предпосылки и ограничения. Модификации метода РСГ для исследования динамических свойств материалов в различных условиях.	20	6	4	10	10
Ударные волны в твердых телах. Основные соотношения на фронте волны. Методы измерения параметров ударных волн.	20	6	4	10	10
Явление откола при выходе ударной волны на свободную поверхность. Откольная прочность. Методы определения скорости свободной поверхности при выходе на нее ударной волны.	16	4	2	6	10
Методы исследования ударного взаимодействия твердых и деформируемых тел с преградами различной физической природы.	20	6	4	10	10
Использование прикладного программного обеспечения в экспериментальных исследованиях. Среда графического программирования Labview.	11	4		4	7
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	16	49	59

### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Роль и место экспериментальных методов в механике деформируемого твердого тела.
2. Нагружающие устройства. Пороховые разгонные устройства. Легкогазовые метательные установки, параметры, влияющие на эффективность разгона.
3. Распространение волн в стержневых системах, геометрическая дисперсия. Метод Кольского (РСГ), его предпосылки и ограничения. Модификации метода РСГ для исследования динамических свойств материалов в различных условиях.
4. Ударные волны в твердых телах. Основные соотношения на фронте волны. Методы измерения параметров ударных волн.
5. Явление откола при выходе ударной волны на свободную поверхность. Откольная прочность. Методы определения скорости свободной поверхности при выходе на нее ударной волны.
6. Методы исследования ударного взаимодействия твердых и деформируемых тел с преградами различной физической природы.
7. Использование прикладного программного обеспечения в экспериментальных исследованиях. Среда графического программирования Labview.

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы

1. повторение пройденного на занятиях материала,
2. самостоятельное изучение отдельных вопросов программы,
3. подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам).

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции УК-6:**

1. Метод Кольского. Основные соотношения.
2. Варианты метода Кольского для испытания материалов в различных условиях динамического нагружения
3. Интерферометр Майкельсона. Интерферометр PDV как дальнейшее его развитие.
4. Обработка экспериментальной информации в среде Labview. Понятие о виртуальных приборах.

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

1. Дисперсия волн в стержневых системах
2. Предположения, лежащие в основе метода РСГ.
3. Основные соотношения на разрыве. Ударная адиабата.
4. ПВДФ датчики для измерения импульсных давлений.
5. Эффект Доплера - физическая основа интерферометрических методов измерения скорости свободной поверхности.
6. Радиоинтерферометрический метод измерения перемещения и его использование в плосковолновых и баллистических экспериментах.
7. Акселерометрия и ее использование в прямых и обращенных баллистических экспериментах.
8. Метод мерного стержня в обращенном баллистическом эксперименте.

#### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-3:**

1. Метод Кольского. Основные соотношения.
2. Варианты метода Кольского для испытания материалов в различных условиях динамического нагружения.

3. Метод определения скорости ударной волны с использованием электроконтактных датчиков.
4. Применение пьезоэлектрических датчиков давления в плосковолновых экспериментах.
5. Диэлектрический датчик давления.
6. Определение напряжений в плоских волнах нагрузки манганиновым датчиком.
7. ПВДФ датчики для измерения импульсных давлений.
8. Устройства для создания импульсных нагрузок.
9. Явление откола. Методы определения откольной прочности.
10. Интерферометр Майкельсона. Интерферометр PDV как дальнейшее его развитие.
11. Дифференциальные интерферометры.
12. Емкостной метод измерения перемещения свободной поверхности.
13. Электроконтактный метод и его использование в плосковолновых и баллистических экспериментах.
14. Радиоинтерферометрический метод измерения перемещения и его использование в плосковолновых и баллистических экспериментах.
15. Акселерометрия и ее использование в прямых и обращенных баллистических экспериментах.
16. Метод мерного стержня в обращенном баллистическом эксперименте.
17. Высокоскоростная киносъемка и ее применение при изучении ударного взаимодействия твердых тел с преградами различной физической природы.

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-6:**

1. Емкостной метод.
2. Электроконтактный метод.
3. Обработка экспериментальной информации в среде Labview. Понятие о виртуальных приборах.
4. Радиоинтерферометрический метод измерения перемещения

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих

Оценка	Критерии оценивания
	вопросах преподавателя.

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач



### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции УК-6

1. Метод Кольского. Основные соотношения.
2. Варианты метода Кольского для испытания материалов в различных условиях динамического нагружения.
3. Метод определения скорости ударной волны с использованием электроконтактных датчиков.
4. Применение пьезоэлектрических датчиков давления в плосковолновых экспериментах.
5. Устройства для создания импульсных нагрузок.
6. Явление откола. Методы определения откольной прочности.
7. Интерферометр Майкельсона. Интерферометр PDV как дальнейшее его развитие.
8. Обработка экспериментальной информации в среде Labview. Понятие о виртуальных приборах.

#### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Дисперсия волн в стержневых системах.
2. Предположения, лежащие в основе метода РСГ.
3. Основные соотношения на разрыве. Ударная адиабата.
4. ПВДФ датчики для измерения импульсных давлений.
5. Эффект Доплера - физическая основа интерферометрических методов измерения скорости свободной поверхности.

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

1. Метод Кольского. Основные соотношения.
2. Варианты метода Кольского для испытания материалов в различных условиях динамического нагружения.
3. Метод определения скорости ударной волны с использованием электроконтактных датчиков.
4. Применение пьезоэлектрических датчиков давления в плосковолновых экспериментах.
5. Диэлектрический датчик давления.
6. Определение напряжений в плоских волнах нагрузки манганиновым датчиком.
7. ПВДФ датчики для измерения импульсных давлений.
8. Устройства для создания импульсных нагрузок.
9. Явление откола. Методы определения откольной прочности.
10. Интерферометр Майкельсона. Интерферометр PDV как дальнейшее его развитие.
11. Дифференциальные интерферометры.
12. Емкостной метод.
13. Электроконтактный метод.
14. Радиоинтерферометрический метод измерения перемещения

### 5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-6

1. Емкостной метод.
2. Электроконтактный метод.
3. Обработка экспериментальной информации в среде Labview. Понятие о виртуальных приборах.
4. Радиоинтерферометрический метод измерения перемещения

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

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

Основная литература:

1. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. - Москва : Физматлит, 2008., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634854&idb=0>.
2. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях / под ред. Н. А. Златина и Г. И. Мишина. - М. : Наука, 1974. - 344 с. : ил. - 2.22., 2 экз.

3. Брагов Анатолий Михайлович. Использование метода Кольского для исследования процессов высокоскоростного деформирования материалов различной физической природы : монография / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2017. - 148 с. - ISBN 978-5-91326-420-6 : 64.19., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах / пер. с англ. В. С. Ленского. - М. : Изд-во иностр. лит., 1955. - 192 с., 2 л. ил. - 9.80., 3 экз.
2. Калитеевский Николай Иванович. Волновая оптика = Wave Optics : учеб. пособие по физике для студентов вузов, обучающихся по направлениям 510000 "Естеств. науки и математика", 550000 "Техн. науки", 540000 "Пед. науки". - Изд. 4-е, стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2006. - 480 с. - (Классическая учебная литература / ред. совет: Ж. И. Алферов (пред.) [и др.]) (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 5-8114-0666-5 : 313.06., 2 экз.
3. Калитеевский Николай Иванович. Волновая оптика : учеб. пособие для вузов по направлению "Физика" и специальность "Оптика". - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1995. - 462, [1] с. : ил. - 25.00., 14 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Среда программирования LabView (trial версия (30 дней)) [www.ni.com](http://www.ni.com)

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Для демонстраций при проведении лабораторных работ используется следующее оборудование:

1. Экспериментальные установки, реализующие различные варианты метода Кольского.
2. Экспериментальная установка, реализующая метод исследования ударной сжимаемости вещества в плоских волнах нагрузки.
3. Методика исследования откольной прочности материалов при выходе ударной волны на свободную поверхность тела.
4. Методика исследования процессов ударного взаимодействия с использованием высокоскоростной киносъемки.
5. Методика мерного стержня для определения интегральных сил сопротивления, действующих на проникающее в преграду тело в обращенном эксперименте.
6. Ультразвуковой дефектоскоп Masterscan 380.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.03 - Механика и математическое моделирование.

Автор(ы): Баландин Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.