


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

Ю.Н. Рыжих
« 28 » 06 20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

Экспериментальная физика ударных волн

по направлению подготовки

15.04.03 Прикладная механика

Направленность (профиль) подготовки :

Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

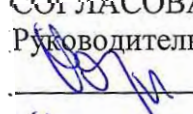
Год приема

2022

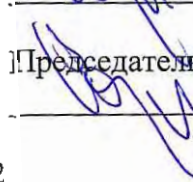
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.04.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП


Е.А. Скрипняк

Председатель УМК


Е.А. Скрипняк

Томск – 2022

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК-1 – Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследований;

– ПК-3 – Готов овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу конструкций, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов;

– ПК-4 – Способен применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Знать современные проблемы и задачи прикладной механики, приоритетные направления научных и прикладных работ в области прикладной механики, подходы и методы формулировки критериев оценки решения задач в области прикладной механики.

ИОПК 1.2 Уметь формулировать цели и задачи исследования при решении приоритетных задач прикладной механики, выбирать и создавать критерии оценки решений задач прикладной механики.

ИОПК 1.3 Владеть навыками формулировки целей и задач исследования при решении приоритетных задач прикладной механики, выбирать и создавать критерии оценки решений задач прикладной механики.

ИПК 3.1 Знать современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по динамике, прочности, устойчивости, надежности, трению и износу конструкций.

ИПК 3.2 Уметь овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу конструкций.

ИПК 3.3 Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов.

ИПК 3.4 Владеть навыками использования современных методов и средств проведения экспериментальных исследований, навыками обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов.

ИПК 4.1 Знать физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования, применяемые в процессе профессиональной деятельности.

ИПК 4.2 Уметь применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

ИПК 4.3 Владеть навыками применения физико-математического аппарата, теоретических, расчетных и экспериментальных методов исследования, методов математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить научно-методические основы экспериментальной физики ударных волн.

– Научиться применять понятийный аппарат экспериментальной физики ударных волн для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Третий семестр, зачет с оценкой

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Численное моделирование высокоскоростных явлений; Конструкционная прочность и ее физические основы.

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лабораторные: 34 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Основные закономерности формирования, распространения и взаимодействия ударных волн.

Основное содержание курса и место физики ударных волн в механике сплошной среды и связь с другими дисциплинами.

Понятие ударной волны и волны разрежения. Отличие ударной волны от акустических волн. Правила распространения волн сжатия и разрежения. Основные характеристики ударной волны.

Тема 2. Методы генерации ударных волн. Основные способы генерации ударных волн в твердых телах с помощью энергии ВВ. Способы отработки метания ударника с помощью взрывных устройств. Необходимые условия при взрывном метании платин. Особенности конструкций «взрывных пушек». Метание тонких фольг ударной волной. Параметры ударников и диапазон их скоростей при взрывном метании. Ограничения взрывного метания ударников.

Характеристики и типы лабораторных баллистических установок для генерации ударных волн. Пневматические и пороховые пушки. Одноступенчатые и многоступенчатые легкогазовые пушки. Параметры метаемых ударников. Особенности и недостатки баллистических установок. Диагностика ударников. Применение генераторов импульсных ионных и электронных пучков для ударно-волнового нагружения конденсированных сред. Конструкции и параметры источников импульсного излучения. Формирование ударной волны при взаимодействии импульсных пучков частиц с мишенью.

Лазерные ударные волны. Длительность и мощность импульса сжатия. Недостатки и преимущества корпускулярных пучков.

Тема 3. Регистрация параметров течения в динамических экспериментах. -и и t-x анализ взаимодействий ударных волн и волн разрежения. Определение состояния вещества за ударной волной. Примеры и задачи волновых взаимодействий в материалах с различной жесткостью.

Сжимаемость твердых тел, методы определения ударных адиабат. Измеряемые параметры на фронте ударной волны. Виды ударных адиабат.

Базовые методы определения волновых скоростей. Электроконтактные датчики – конструкции и способы их применения для регистрации волновых скоростей. Точность измерения и источники ошибки измерения.

Метод вспыхивающих зазоров и лазерный метод волновых скоростей. Физические основы методов и схемы их применения в ударно-волновых экспериментах.

Пьезоэлектрические кварцевые датчики давления в ударной волне. Диапазон и схема применения, точность измерения и недостатки.

Диэлектрические и сегнетоэлектрические датчики, конструкция и диапазон применения в ударных волнах.

Пьезорезистивный манганиновый датчик давления. Физическая основа применения манганина для регистрации давления ударного сжатия. Конструкции и диапазон применения манганинового датчика. Калибровочная зависимость. Пространственно-временное разрешение и точность измерения давления.

Магнитоэлектрический метод регистрации профилей массовой скорости. Схема измерения, особенности, точность и диапазон измерений. Емкостной датчик, принцип действия, конструкция. Способы применения в ударно-волновых экспериментах, точность измерения, ограничения по применению. Яркостный метод регистрации волновых профилей. Принцип работы, временное разрешение и точность измерения скорости.

Лазерные методы измерения скорости свободных и контактных поверхностей. Принцип действия, преимущества и недостатки применения интерферометров в ударно-волновых измерениях. Определение постоянной интерферометра. Способы обработки экспериментальных интерферограмм.

Лазерный интерферометр Фабри-Перо. Схема интерферометра, точность измерений и пространственно-временное разрешение.

Лазерный дифференциальный интерферометр. Схема интерферометра, точность измерений и пространственно-временное разрешение.

Оптически-симметричный лазерный интерферометр. Схема интерферометра, точность измерений и пространственно-временное разрешение.

Лазерный измеритель скорости с оптической регистрацией. Схема интерферометра, точность измерений и пространственно-временное разрешение. Преимущества и недостатки по сравнению с оптически симметричным интерферометром.

Тема 4. Моделирование распространения ударных волн в конденсированных средах.

Уравнения одномерного движения в дифференциальной форме. Инварианты Римана. Напряженно-деформированное состояние сплошной среды за плоской ударной волной. Уравнение Ренкина-Гюгонно. Понятие уравнения состояния. Динамическая жесткость материала.

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Понятие ударной волны и волны разрежения. Отличие ударной волны от акустических волн.
2. Правила распространения волн сжатия и разрежения. Основные характеристики ударной волны.

3. Уравнения одномерного движения в дифференциальной форме. Инварианты Римана.
4. Напряженно-деформированное состояние сплошной среды за плоской ударной волной.
5. Уравнения Ренкина-Гюгонио. Понятие уравнения состояния. Динамическая жесткость материала.
6. Волны сжатия и разрежения в упругопластическом материале.
7. Упругий предвестник. Затухание упругого предвестника.
8. Динамический предел текучести материала.
9. Структура ударных волн в среде с фазовыми превращениями. Распад разрыва при фазовом превращении.
10. P-u и t-x анализ взаимодействий ударных волн и волн разрежения – задача из 2-х, 3-х и 4-х составной мишеней из разно-жестких слоев.
11. Определение состояния вещества за ударной волной.
12. Задачи волновых взаимодействий в материалах с различной жесткостью..
13. Параметры ударников и диапазон их скоростей при взрывном метании
14. Основные способы генерации ударных волн в твердых телах с помощью энергии ВВ.
15. Способы отработки метания ударника с помощью взрывных устройств.
16. Необходимые условия при взрывном метании платин.
17. Конструкции «взрывных пушек».
18. Метание тонких фольг ударной волной.
19. Характеристики и типы лабораторных баллистических установок для генерации ударных волн.
20. Пневматические и пороховые пушки. Одноступенчатые и многоступенчатые легкогазовые пушки.
21. Особенности и недостатки баллистических установок. Диагностика ударников.
22. Применение генераторов импульсных ионных и электронных пучков генерации ударных волн.
23. Формирование ударной волны при взаимодействии импульсных пучков частиц с мишенью.
24. Лазерные ударные волны. Длительность и мощность импульса сжатия.
25. Недостатки и преимущества корпускулярных пучков.
26. Сжимаемость твердых тел, методы определения ударных адиабат.
27. Измеряемые параметры на фронте ударной волны. Виды ударных адиабат.
28. Базовые методы определения волновых скоростей.
29. Электроконтактные датчики – конструкции и способы их применения для регистрации волновых скоростей.
30. Точность измерения и источники ошибки измерения при использовании электроконтактных датчиков.
31. Метод вспыхивающих зазоров и лазерный метод волновых скоростей.
32. Физические основы метода вспыхивающих зазоров и лазерного метода волновых скоростей и схемы их применения в ударно-волновых экспериментах.
33. Пьезоэлектрические кварцевые датчики давления в ударной волне. Диапазон и схема применения, точность измерения и недостатки.
34. Диэлектрические и сегнетоэлектрические датчики, конструкция и диапазон применения в ударных волнах.
35. Физическая основа применения манганина для регистрации давления ударного сжатия.
36. Конструкции и диапазон применения манганинового датчика. Калибровочная зависимость.
37. Пространственно-временное разрешение и точность измерения давления в ударной волне манганиновыми датчиками.
38. Магнитоэлектрический метод регистрации профилей массовой скорости.
39. Схема измерения, особенности, точность и диапазон измерений магнитоэлектрическим методом.

40. Емкостной датчик, принцип действия, конструкция. Способы применения в ударно-волновых экспериментах, точность измерения, ограничения по применению.
41. Яркостный метод регистрации волновых профилей. Принцип работы, временное разрешение и точность измерения скорости.
42. Лазерные методы измерения скорости свободных и контактных поверхностей.
43. Принцип действия, преимущества и недостатки применения интерферометров в ударно-волновых измерениях.
44. Определение постоянной интерферометра. Способы обработки экспериментальных интерферограмм.
45. Лазерный интерферометр Фабри-Перо. Схема интерферометра, точность измерений и пространственно-временное разрешение.
46. Лазерный дифференциальный интерферометр. Схема интерферометра, точность измерений и пространственно-временное разрешение.
47. Оптически-симметричный лазерный интерферометр. Схема интерферометра, точность измерений и пространственно-временное разрешение.
48. Лазерный измеритель скорости с оптической регистрацией. Схема интерферометра, точность измерений и пространственно-временное разрешение. Преимущества и недостатки по сравнению с оптически симметричным интерферометром.

Примеры задач:

Задача 1.

Дано: Параметры ударных адиабат для двух материалов.

Требуется: Определить амплитуды ударных волн в результате воздействия падающей ударной волны на границу раздела материалов.

Задача 2.

Дано: Параметры ударных адиабат для материала. Величину массовой скорости в ударном импульсе.

Требуется: Определить давление в ударной волне, распространяющейся в материале.

Задача 2.

Дано: Параметры ударной адиабаты для материала, величина продольной скорости звука в материале, значения коэффициента Пуассона для материала, массовая плотность материала, величина массовой скорости в упругом предвестнике.

Требуется: Определить величину Гюгониевского предела упругости в материале, определить величину динамического предела текучести.

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка	Уровень владения темой
неудовлетворительно	<ul style="list-style-type: none"> ○ грубые ошибки в знании основных положений и понятий в области экспериментальной физики ударных волн, направленности профессионального образования (прикладная механика); ○ отсутствие знаний основных положений экспериментальной физики ударных волн, умения оперировать ими; ○ недостаточное владение научным стилем речи; ○ не умение защитить ответы на основные вопросы.
удовлетворительно	<ul style="list-style-type: none"> ○ удовлетворительные знания основных понятий в области экспериментальной физики ударных волн, умение оперировать ими, умение оперировать ими,

	<p>неточности знаний;</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ удовлетворительная степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов экспериментальной физики ударных волн, раскрытия темы; ○ посредственные ответы на вопросы.
хорошо	<ul style="list-style-type: none"> ○ хорошие знания основных положений в области экспериментальной физики ударных волн, умение оперировать ими, демонстрируются единичные неточности; ○ достаточная степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов, раскрытия темы, демонстрируются единичные неточности; ○ единичные (негрубые) стилистические и речевые погрешности; ○ умение защитить ответы на основные вопросы; ○ хорошее владение научным стилем речи
отлично	<ul style="list-style-type: none"> ○ глубокие знания основных понятий в области экспериментальной физики ударных волн, умение оперировать ими; ○ высокую степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов, раскрытия темы; ○ отличное умение представить основные вопросы в научном контексте; ○ отличное владение научным стилем речи

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Методические указания по проведению лабораторных работ.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Андреев С. Г. Экспериментальные методы физики взрыва и удара : [учебник] / С. Г. Андреев, М. М. Бойко, В. В. Селиванов ; под ред. В. В. Селиванова. – М. : Физматлит, 2013. – 751 с. – Режим доступа ЭБС Лань: https://e.lanbook.com/book/59748#book_name
2. Зельдович Я. Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. – Изд. 3-е, испр. – М. : Физматлит, 2008. – 652 с. – Режим доступа ЭБС Лань: https://e.lanbook.com/book/2373#book_name
3. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. - Изд. 3-е, переработанное. - В 2 т. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 1488 с.
4. Физика взрыва : [в 2 т. / С. Г. Андреев, А. В. Бабкин, Ф. А. Баум и др.] ; под ред. Л. П. Орленко. – Изд. 3-е, испр. – М. : Физматлит, 2004. – Т. 1. – 823 с. ; Т. 2. – 644 с.
5. Орленко Л. П. Физика взрыва и удара : [учебное пособие] / Л. П. Орленко. – М. : Физматлит, 2006. – 303 с.

6. Скрипняк В. А. Ударные волны в конденсированных средах : [учебное пособие] / В. А. Скрипняк, С. В. Разоренов, Е. Г. Скрипняк ; Том. гос. ун-т. – Томск : Изд-во НТЛ, 2007. – 166 с.

б) дополнительная литература:

1. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. - Изд. 3-е, переработанное. - В 2 т. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 1488 с.
2. Скрипняк В.А., Скрипняк Е.Г., Разоренов С.В. Ударные волны в конденсированных средах. Томск. Изд-во НТЛ, 2007. – 168 с.
3. Ионов В.Н., Огибалов П.М. Прочность пространственных элементов конструкций. Ч. 1. Основы механики сплошной среды. - М.: Высшая школа, 1979. - 384 с.
4. Уилкинс М.Л. Расчет упруго-пластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике / Под ред. Б. Олдера, С. Фернбаха, М. Ротенберга. - М.: Мир, 1967. - С. 212 - 263.
5. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1, 2. - М.: Наука, 1973. - 1112 с.
6. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 784 с.
7. Динамика удара/ Под ред. Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф. -М.: Мир, 1985. - 286 с.
8. Селиванов В.В., Новиков С.А., Кобылкин И.Ф. Взрывные технологии. – М.: МГТУ им. Баумана, 2008. – 648 с..
9. Высокоскоростное взаимодействие тел / В.М. Фомин, А.И. Гулидов, Г.А. Сапожников и др. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. - 600 с.
10. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. –М.: Янус-Ю. 1996. – 409 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы;

– EqWorld : мир математических уравнений [Электронный ресурс] / под ред.

А. Д. Полянина. – Электрон. дан. – [Б. м.], 2004-2016. –

URL: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library.htm>.

Библиотека научной литературы LIB.org.by [Электронный ресурс] : книги, журналы, статьи / Белорусская научная библиотека. – Электрон. дан. – [Б. м., б. г.]. – URL: <http://lib.org.by>.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –

<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –

<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Разоренов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра механики деформируемого твердого тела, профессор.