

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан  
Ю.Н. Рыжих

Рабочая программа дисциплины

**Динамическое разрушение твердых тел**

по направлению подготовки

**15.04.03 Прикладная механика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Компьютерный инжиниринг конструкций, биомеханических систем и материалов**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОПОП  
В.А. Скрипняк  
Е.С. Марченко

Председатель УМК  
В.А. Скрипняк

Томск 2025

## **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 критерии 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 принципы и методы планирования ударно-волновых экспериментов по определению прочностных характеристик при отколе, физические основы прочности материалов и конструкций, физические основы процессов, определяющих влияние

конструктивных и технологических факторов, а также внешних воздействий на прочность и долговечность элементов защитных конструкций и систем.

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

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Профессиональный модуль №1 «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг».

### **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 компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Динамические задачи прикладной механики.

### **6. Язык реализации**

Русский

### **7. Объем дисциплины**

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

-лабораторные: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

### **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Основные понятия экспериментальной физики ударных волн.

Основное содержание курса и место физики динамического разрушения в механике сплошной среды и связь с другими дисциплинами. Понятие ударной волны и волны разрежения. Правила распространения волн сжатия и разрежения. Основные характеристики ударной волны. Уравнения одномерного движения в дифференциальной форме. Инварианты Римана. Уравнения Ренкина-Гюгонио. Понятие уравнения состояния. Динамическая жесткость материала. Структура ударных волн в упругопластическом материале и в среде с фазовыми превращениями. Р-и и т-х анализ взаимодействий ударных волн и волн разрежения.

Тема 2. Методы генерации ударных волн и регистрации параметров ударно-сжатых материалов.

Основные способы генерации ударных волн в твердых телах с помощью баллистических установок, энергии ВВ и импульсных пучков. Дискретные методы измерения волновых и массовых скоростей. Методы регистрации давления ударного сжатия. Непрерывные методы регистрации эволюции ударных волн.

Тема 3. Основные понятия откольного разрушения твердых тел.

Специфика экспериментов с плоскими ударными волнами. Понятие откольного разрушения. Выход треугольной волны сжатия на свободную поверхность. Условия возникновения откольного разрушения в твердом теле. Акустическое приближение откола. Р-и и т-х анализ волновых взаимодействий ударных волн и волн разрежения при

отколе. Эволюция профиля скорости свободной поверхности при откольном разрушении. Р-и диаграмма откольного разрушения упруго-пластического тела. Приближение к идеальной прочности твердого тела.

#### Тема 4. Методы измерений откольной прочности.

Металлографическое изучение зоны откольного разрушения в сохраненных образцах. Измерение толщины откольной пластины и моделирование процесса разрушения. Суть метода и источники погрешности. Метод искусственного откола, понятие критической скорости. Оценка накопления повреждений из металлографического анализа зоны откола. Инструментальные методы измерения разрушающих напряжений. Метод регистрации волновых профилей давления на границе с мягким материалом. Регистрация профилей скорости свободной поверхности.

#### Тема 5. Полный анализ волнового профиля при отколе.

Эволюция волнового профиля при откольном разрушении твердых тел. Определение величины растягивающих напряжений в плоскости откола в акустическом приближении. Искажение волнового профиля вследствие упругопластического характера поведения материала. Поправка на искажение волнового профиля. Определение толщины откольной пластины. Источники погрешности определения откольной прочности из анализа волновых профилей.

#### Тема 6. Определяющие факторы откольного разрушения металлов.

Влияние условий нагружения – длительности и амплитуды ударного сжатия на сопротивление металлов откольному разрушению. Температурные эффекты при откольном разрушении металлов. Влияние структурных факторов на разрушающие откольные напряжения. Откольная прочность поликристаллических, субмикрокристаллических и монокристаллических металлов и сплавов. Влияние динамической деформации на упрочнение металлов.

#### Тема 7. Хрупкое разрушение твердых тел в ударных волнах

Особенности хрупкого разрушения твердых тел в ударных волнах. Волновые профили при хрупком разрушении. Критерий Гриффитса. Волна разрушения в ударно-сжатых хрупких материалах. Критерий формирования и особенности распространения волны разрушения в стекле. Откольная прочность хрупких материалов – стекол, монокристаллов и керамических материалов.

#### Тема 8. Критерии и модели откольного разрушения.

Эмпирические критерии откольного разрушения. Энергетический критерий. Работа откольного разрушения. Краевые эффекты при отколе. Кинетические модели откольного разрушения. Модель зарождение и роста микроповреждений в зоне откола. Кинетическая модель откольного разрушения на основе временной зависимости.

### 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестре.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Зачет с оценкой в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность зачета с оценкой 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «iDO» - <http://lms.tsu.ru/course/view.php?id=22429>

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

в) Методические указания по проведению лабораторных работ.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

– Высокоскоростной удар. Моделирование и эксперимент / под ред. А.В. Герасимова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2016. - 568 с.

– Скрипняк В.А., Скрипняк Е.Г., Разоренов С.В. Ударные волны в конденсированных средах. Томск. Изд-во НТЛ, 2007. – 168 с.

– Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. - Изд. 3-е, переработанное. - В 2 т. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 1488 с.

– Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. –М.: Янус-Ю. 1996. – 409 с.

– Динамика удара / Под ред. Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф. -М.: Мир, 1985. -286 с.

б) дополнительная литература:

– Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 784 с.

– Селиванов В.В., Новиков С.А., Кобылкин И.Ф. Взрывные технологии. – М.: МГТУ им. Баумана, 2008. – 648 с.

– Kanel G.I., Razorenov S.V., Fortov V.E. Shock-Wave Phenomena and Properties of Condensed Matter. 2004. Springer. 321 p.

– Antoun T., Seaman L., Curran D.R., Kanel G.I., Razorenov S.V., Utkin A.V. Spall Fracture. Springer. 2003. 404 p.

– Жерноклетов М.В. Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках. Саров: 2003. 403 с.

– Канель Г.И., Разоренов С.В., Фортов В.Е. Волны разрушения в ударно-сжатом стекле. Успехи механики, 2005, Т.3, №3, С.9-57.

– Канель Г.И., Фортов В.Е., Разоренов С.В. Ударные волны в физике конденсированного состояния. УФН, 2007, т.177, №8, С.809-830.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы

– электронная библиотека «EqWorld – Мир математических уравнений» в Институте проблем механики РАН <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm>

– <http://strelka.ftf2.tsu.ru/school/>

## **13. Перечень информационных технологий**

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
- Microsoft Office Standard 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.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»). Лаборатория механики деформируемого тела.

## **15. Информация о разработчиках**

Авторы:

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

Зелепугин Сергей Алексеевич, доктор физико-математических наук, ст.н.с., кафедра механики деформируемого твёрдого тела, профессор.