

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан  
Физико-технический факультет  
  
Ю.Н. РЫЖИК  
« 24 » 06 20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

**Механика контактного взаимодействия и разрушения**

по направлению подготовки

**15.04.03 Прикладная механика**

Направленность (профиль) подготовки :

**Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

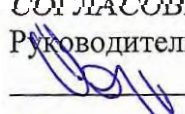
Год приема

**2022**

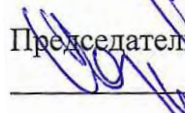
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

  
В.А. Скрипняк

Председатель УМК

  
В.А. Скрипняк

Томск – 2022

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-2 – Способен самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня);

– 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:

ИПК 2.1 Знать: математические и компьютерные модели, программные системы мультидисциплинарного анализа (CAE-системы мирового уровня), используемые для решения поставленных научно-технических задач.

ИПК 2.2 Уметь самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня).

ИПК 2.3 Владеть навыками самостоятельного выполнения научных исследований в области прикладной механики, решения сложных научно-технических задач.

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 аппарат механики контактного взаимодействия и разрушения.

– Научиться применять понятийный аппарат механики контактного взаимодействия и разрушения для решения практических задач профессиональной деятельности.

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

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

Третий семестр, зачет

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Конструкционная прочность и ее физические основы; Критерии прочности и разрушения; Механика композитов и композитных систем.

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 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 16 ч.

-лабораторные: 30 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Основные положения механики контактного взаимодействия, классические контактные задачи теории упругости.

Современные проблемы контактного взаимодействия тел. Содержание курса и его связь с другими дисциплинами. Основные контактные задачи теории упругости. Действие сосредоточенной силы на острие клина (задача Мичелла), к точке прямолинейного края полубесконечной пластинки (задача Фламана), и на полупространство (задача Буссинеска). Действие равномерно распределённой нормальной нагрузки по площади круга на полупространство.

Тема 2. Теория Герца.

Вдавливание абсолютно жёсткого шара в упругое полупространство. Задача об упругом смятии шаров. Обобщение теории Герца сжатия упругих соприкасающихся тел. Задачи с множественным контактом.

Тема 3. Плоские контактные задачи теории упругости.

Давление штампа на полу-плоскость при отсутствии сил трения и при наличии сил трения. Давление движущегося штампа на полуплоскость. Контактные задачи при наличии износа и тепловыделения. Контактные задачи с учётом смазки.

Тема 4. Численное моделирование контактных задач.

Моделирование контактных задач в пакете ANSYS. Типы контактных пар, выбор специальных конечных элементов для двумерных и трёхмерных задач. Использование «мастера контактов». Решение задачи о вдавливании полусферы в опору. Моделирование контактных задач методами молекулярной динамики и подвижных клеточных автоматов.

Тема 5. Введение в механику разрушения.

Характерные масштабы деформирования и разрушения. Оценка теоретической прочности. Обзор элементарных дефектов. Классические критерии прочности. Простейшие задачи определения концентрации напряжений. Сферическая пора и сферическое включение иной фазы при всестороннем растяжении.

Тема 6. Линейная механика разрушения.

Напряжённое состояние у вершины трещины. Полубесконечная трещина. Метод комплексных потенциалов. Три типа трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений. Методы расчётов коэффициентов интенсивности напряжений в упругих телах при различных условиях нагружения. Принцип суперпозиции решений. Силовой критерий локального разрушения. Вязкость разрушения (трещиностойкость) материала. Поток

энергии в вершину трещины. Энергетический критерий локального разрушения. Эквивалентность силового и энергетического критериев. Устойчивость и неустойчивость роста трещин. Траектория развития трещины. Трещины вблизи концентраторов напряжений. Остановка трещины.

#### Тема 7. Нелинейная механика разрушения.

Структура конца упруго-идеально-пластической трещины. Концепция квазихрупкого разрушения. Поправка Ирвина на пластическую деформацию. Другие критерии локального разрушения. Силы сцепления. Модель трещины Христиановича-Баренблата. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла. Модификация в модели Дагдейла. Влияние упрочнения. Инвариантный J-интеграл Эшелби-Черепанова-Райса. Экспериментальные методы определения вязкости разрушения (трещиностойкости) материала. Двухпараметрические критерии разрушения. Предел трещиностойкости материала. Особенности процесса ползучести, накопления поврежденности и развития трещин в условиях ползучести. Параметр поврежденности, модель Качанова-Работнова. Определяющие соотношения связанной и несвязанной постановок краевых задач в теории ползучести с поврежденностью. Особенности усталостного деформирования и разрушения. Многоцикловая и малоцикловая усталость. Рост трещин при циклическом нагружении. Эмпирическая формула Париса. Теоретические зависимости роста усталостных трещин. Усталостная долговечность.

#### Тема 8. Численные методы в механике разрушения.

Определение коэффициента интенсивности напряжений методом конечных элементов. Решение задач механики разрушения в пакете ANSYS. Использование параметра поврежденности при численном решении задач МДТТ с учётом разрушения. Эрозионная модель разрушения. Моделирование разрушения в дискретных методах (молекулярная динамика, метод мезочастиц, метод подвижных клеточных автоматов).

### 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, частичного опроса обучающихся и разбора вызывающих трудность в понимании вопросов с использованием активных и интерактивных форм обучения во время семинарских занятий, выполнении индивидуальных заданий (рефератов) и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

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

**Зачет** проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит расчётно-графическую работу. Продолжительность зачета 1 час.

Примеры расчётно-графических работ:

1. Решение задачи о вдавливании полусферы в опору в пакете ANSYS.
2. Решение задачи о вдавливании штампа методом подвижных клеточных автоматов.
3. Решение задачи о трении методом подвижных клеточных автоматов.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «незачтено».

**Экзамен** проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть содержит один вопрос, проверяющий ИПК-5.1. Ответ на вопрос первой части дается в развернутой форме.

Вторая часть содержит один вопрос, проверяющий ИПК-7.1. Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Действие сосредоточенной силы на полупространство (задача Буссинеска).
2. Вдавливание абсолютно жёсткого шара в упругое полупространство.
3. Контактные задачи с учётом смазки.
4. Напряжённое состояние у вершины трещины в линейной механике разрушения.
5. Силовой критерий локального разрушения.
6. Энергетический критерий локального разрушения.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «незачтено». В случае зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Формальные критерии итоговой оценки результатов обучения:

- текущий контроль – 5 баллов;
- индивидуальное задание в форме расчетно-графических работ – 25 баллов;
- контрольные работы – 20 баллов;
- экзамен – 50 баллов.

неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
0 – 59 баллов	60 – 73 баллов	74 – 87 баллов	88 – 100 баллов

В случае зачета, оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» соответствуют «зачтено», «неудовлетворительно» - «незачтено».

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=938>

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

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Попов В.Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений. — М.: Физматлит, 2013.— 352 с.
- Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. — М.: Физматлит, 2006. — 328 с.
- Колесников Е.В. Механика контактного разрушения / Ю. В. Колесников, Е. М. Морозов. – М: ЛКИ, 2013. – 224 с.
- Черепанов Г.П. Механика разрушения / Г.П. Черепанов. – М: ИКИ, 2012. – 872 с.

б) дополнительная литература:

- Лукьянова А.Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS: учеб.-метод. пособие. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. — 52 с.
- Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: механика разрушения. Изд. 2-е испр. — М: ЛЕНАНД, 2010. — 456 с.

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>).  
– [TriboNet – https://www.tribonet.org/](https://www.tribonet.org/)

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Программа Elastica (<http://www.asmes.de/en/analysis-software/elastica>);
- Программный комплекс ANSYS.

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>

### 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.

Для проведения семинарских занятий и выполнения индивидуального расчетного задания требуется компьютерный класс ПЭВМ с микропроцессором не ниже Intel Core i3, объемом ПЗУ не меньше 200 Гб, объемом ОЗУ не меньше 2 Гб.

### 15. Информация о разработчиках

Смолин Алексей Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры механики деформируемого твердого тела ТГУ.