

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан ФТФ  
  
Ю.Н. Рыжих  
06 \_\_\_\_\_ 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

**Конструкционная прочность и ее физические основы**

по направлению подготовки

**15.04.06 Мехатроника и робототехника**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Моделирование робототехнических систем**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2022**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.06

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

  
Г.Р. Шрагер

Председатель УМК

  
В.А. Скрипняк

Томск – 2022

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-1 – Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности;
- ПК-1 – Способность и готовность разрабатывать математические модели составных частей объектов профессиональной деятельности методами теории автоматического управления.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Знать теорию и основные законы в области естественнонаучных и инженерных дисциплин.

ИОПК 1.2 Уметь применять методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.

ИОПК 1.3 Уметь применять методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.

ИПК 1.1 Знать принципы построения моделей математического описания составных частей мехатронных и робототехнических систем (информационных, электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники).

ИПК 1.2 Уметь реализовывать модели средствами вычислительной техники и определять характеристики объектов профессиональной деятельности по разработанным моделям.

ИПК 1.3 Иметь навыки применения методов, способов и средств получения, хранения, переработки информации в области машиностроения.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат прогнозирования механических свойств конструкционных материалов в зависимости от параметров микроструктуры.

– Научиться применять понятийный аппарат физики прочности и материаловедения для решения практических задач профессиональной деятельности.

– Получить навыки формирования данных о свойствах материалов при подготовке модели для решения задач компьютерного инжиниринга с применением пакета WB ANSYS.

## **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, экзамен

## **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: Методы оптимизации.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

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

-лекции: 24 ч.

-практические занятия: 24 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Конструкционная прочность материалов. Методы и приборы для определения параметров конструкционной прочности.

Тема 2. Классификация методов механических испытаний материалов.

Тема 3. Физические механизмы пластической деформации металлов.

Дислокационные механизмы пластичности. Двойникование в металлах и сплавах. Мартенситные фазовые переходы при деформации сплавов..

Тема 4. Современные подходы и методы оценки прочности, долговечности и надежности машин и конструкций. Модели механического поведения конструкционных материалов учитывающие эволюцию микроструктуры. Механические свойства наноструктурных и ультрамелкозернистых конструкционных материалов. Теоретическая и реальная прочность. Механизмы разрушения тел. Модели и подходы к оценке идеальной прочности кристаллических тел. Подход молекулярной динамики.

Тема 5. Экспресс методы определения прочности материалов. Твердость металлов. Связь твердости металлов с характеристиками пластичности и прочности. Параметр Тейбора.

Тема 6. Усталостные испытания материалов. Малоцикловая, многоцикловая и гигацикловая усталость. Методы испытаний. Параметры моделей усталостной долговечности.

Тема 7. Численное решение задач теории пластичности средствами пакета WB ANSYS.

Тема 8. Критерии малоциклового разрушения.

Тема 9. Прочность полимерных материалов. Влияние микроструктуры полимерных материалов на характеристики конструкционной прочности.

Тема 10. Конструктивные и технологические мероприятия, направленные на повышение прочности конструкций. Вязкое и хрупкое разрушение. Фрактографические методы исследования характера разрушения.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

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**

Экзамен в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть представляет собой тест из 5 вопросов, проверяющих ИОПК –1.1, ИПК–1.1. Ответы на вопросы первой части даются путем выбора из списка предложенных.

Вторая часть содержит два вопроса, проверяющих ИОПК-1.2, ИОПК – 1.3. Ответ на вопросы второй части даются в развернутой форме.

Третья часть содержит 2 вопроса, проверяющих ИПК-1.2, ИПК-1.3 и оформленные в виде практических задач. Ответы на вопросы третьей части предполагают решение задач и краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Определение конструкционной прочности.
  2. Характеристики механических свойств.
  3. Упругие модули.
  4. Механизмы пластической деформации.
  5. Деформационное упрочнение сплавов.
  6. Ползучесть; сверхпластичность.
  7. Пластическая деформация неметаллических материалов.
  8. Теория разрушения.
  9. Вязкое, хрупкое разрушение.
  10. Хладноломкость; замедленное разрушение.
  11. Усталостное разрушение. Диаграмма Вёлера.
  12. Изнашивание и износостойкость материалов.
  13. Физические основы повышения сопротивления разрушению.
  14. Соотношение Холла-Петча.
  15. Методы динамических испытаний.
  16. Эффект Баушингера.
  17. Вязкость разрушения.
  18. Трещиностойкость.
  19. Характеристики циклической прочности.
  20. Характеристики износостойкости.
  21. Характеристики сопротивления релаксации напряжений, ползучести.
- Примеры задач третьей части экзамена.

1. Задача 1.

Дано: Указана марка материала для изготовления элемента конструкции.

Требуется: Выполнить формирование расчетной модели для проведения статического анализа для этого элемента конструкции. Подготовить Engineering data для выполнения инженерного анализа с учетом упругопластического поведения материала.

2. Задача 2.

Дано: Эскиз элемента конструкции. Указана марка материала для изготовления элемента конструкции.

Требуется: Выполнить формирование расчетной модели для проведения модального анализа для этого элемента конструкции. Подготовить Engineering data для выполнения модального анализа с учетом упругопластического поведения материала.

3. Задача 3.

Дано: Эскиз элемента конструкции. Указана марка материала для изготовления элемента конструкции.

Требуется: Выполнить формирование расчетной модели для проведения модального анализа для этого элемента конструкции. Подготовить Engineering data для выполнения гармонического анализа с учетом механического поведения материала.

Темы для самостоятельного освоения:

1. Анализ местных напряжений в деформируемых конструкциях с применением конечно-элементного моделирования в программном комплексе ANSYS. Моделирование трехточечного изгиба образцов с надрезом с помощью пакета ANSYS.
2. Определение характеристик ползучести и длительной прочности. Расчет ползучести трубы, находящейся под давлением при повышенной температуре, с использованием пакета ANSYS.

3. Разрушение при длительных нагрузках. Расчет ползучести полимерных элементов конструкций при повышенной температуре с использованием пакета ANSYS.
4. Основы гармонического анализа конструкций в пакете ANSYS.
5. Расчет конструкций при нагружении в малоцикловой области с использованием пакета ANSYS
6. Определение параметров моделей гиперупругих материалов с использованием сервисных программ пакета ANSYS.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка	Уровень владения темой
неудовлетворительно	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ грубые ошибки в знании основных положений и понятий в области конструкционной прочности, направленности профессионального образования (прикладная механика);</li> <li>○ отсутствие знаний основных положений физических основ области конструкционной прочности, умения оперировать ими;</li> <li>○ недостаточное владение научным стилем речи;</li> <li>○ не умение защитить ответы на основные вопросы.</li> </ul>
удовлетворительно	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ удовлетворительные знания основных понятий в области физических основ области конструкционной прочности компьютерного инжиниринга, умение оперировать ими, умение оперировать ими, неточности знаний;</li> <li>○ удовлетворительная степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов теории пластичности, раскрытия темы;</li> <li>○ посредственные ответы на вопросы.</li> </ul>
хорошо	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ хорошие знания основных положений в области физических основ области конструкционной прочности, умение оперировать ими, демонстрируются единичные неточности;</li> <li>○ достаточная степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов , раскрытия темы, демонстрируются единичные неточности;</li> <li>○ единичные (негрубые) стилистические и речевые погрешности;</li> <li>○ умение защитить ответы на основные вопросы;</li> <li>○ хорошее владение научным стилем речи</li> </ul>
отлично	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ глубокие знания основных понятий в области физических основ области конструкционной прочности, умение оперировать ими;</li> <li>○ высокую степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов, раскрытия темы;</li> <li>○ отличное умение представить основные вопросы в научном контексте;</li> <li>○ отличное владение научным стилем речи</li> </ul>

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <http://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22421>

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

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Нарисава И. Прочность полимерных материалов Москва : Химия, 1987. <http://elibr.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUbooks148971>
2. Зуев Л. Б. Физические основы прочности материалов : [учебное пособие] / Л. Б. Зуев, В. И. Данилов ; отв. ред. Б. Д. Аннин. – Долгопрудный : Интеллект, 2013. – 373 с.
3. [Блюменауэр Х. Испытание материалов. Справочник](#) М. Металлургия, 1979. – 448 с.
4. Вильдеман В.Э. (ред.) Экспериментальные исследования свойств материалов при сложных термомеханических воздействиях М.: Физматлит, 2012. — 204 с. [https://www.studmed.ru/vildeman-v-e-red-eksperimentalnye-issledovaniya-svoystv-materialov-pri-slozhnyh-termomehanicheskikh-vozdeystviyah\\_5c29b138981.html](https://www.studmed.ru/vildeman-v-e-red-eksperimentalnye-issledovaniya-svoystv-materialov-pri-slozhnyh-termomehanicheskikh-vozdeystviyah_5c29b138981.html)
5. Дж. Ф. Белл Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел часть 11 Конечные деформации М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. -600 с.
6. Дж. Ф. Белл Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел часть II. Конечные деформации М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. -432 с.
7. Кобаяси А. Экспериментальная механика: Пер. с англ. Том 1 Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 616 с. [https://www.studmed.ru/kobayasi-a-eksperimentalnaya-mehanika-per-s-angl-tom-1\\_7a658106a0c.html](https://www.studmed.ru/kobayasi-a-eksperimentalnaya-mehanika-per-s-angl-tom-1_7a658106a0c.html)
8. [Кобаяси А. Экспериментальная механика: Пер. с англ. Том 2](#). Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 552с

б) дополнительная литература:

1. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. - М.: Металлургия, 1979. - 495 с.
2. Брок Д. Основы механики разрушения. - М.: Высшая школа, 1980. -268 с.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. - М.: Машиностроение, 1998. -328 с.
4. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. - М.: Мир, 1984. . 620 с.
5. Григорович В.К. Твердость и микротвердость. - М.: Наука, 1976. - 230 с.
6. Гудкой А. А., Славский Ю.И. Методы измерения твердости металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1982. - 168 с.
7. Зарапин Ю.Л., Попов В.Д., Чиченев Н.А. Стали и сплавы в металлургическом машиностроении. - М.: Металлургия, 1980. -143 с.
8. Карпенко Г .В., Василенко И. И. Коррозионное растрескивание сталей. - Киев: Техника, 1971. - 192 с.
9. Кишкин Б.П. Конструкционная прочность материалов. - М.: МГУ, 1976. - 184 с.
10. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник. - М.: Машиностроение, 1985. - 224 с.
11. Конструкционная прочность материалов и деталей газотурбинных двигателей /И.А.Биргер, Б.Ф.Шорр, Б.Ф.Балашов и др. - М.: Машиностроение, 1981.- 222 с.
12. Конструкционные материалы: Справочник / Б.Н.Арзамасов, В.А.Брострем, Н.А.Бушев и др. М.: Машиностроение, 1990. . 688 с. (Основы конструирования машин).
13. Костецкий Б. И. Износостойкость металлов. - М.: Машиностроение. 1980. - 52 с.

14. Костин П.П. Физико-механические испытания материалов, сплавов и неметаллических материалов. - М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.
15. Криштал М.А., Головин С. А. Внутреннее трение и структура металлов. - М.: Машиностроение, 1976. - 375 с.
16. Лившиц Б. Г., Крапошкин В. С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. - М.: Metallurgy. 1983. - 319 с.
17. Марочник сталей и сплавов /Под ред. В.Г.Сорокина.- М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.
18. Масленков С.Б. Жаропрочные стали и сплавы. - М.: Metallurgy, 1983.- 192 с.
19. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. В 3-кн. - Т,1. Методы испытаний и исследований /Под ред. Бернштейна М.Н., Рахштадта А.Г. - М.: Metallurgy, 198а. -352 с.
20. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. Справочное пособие в 3-х т. /Под общей ред. А.Т.Туманова. - М.: Машиностроение. 1974.
21. Михайлов-Михеев П.Б. Справочник по металлическим материалам турбино. и моторостроения. - М.:Л.: Машгиз, 1961. - 648 с.
22. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: практическое пособие /В.Г. Герасимов. А.Д. Покровский, В.В. Сухорьков / Под ред. В.В.Сухорькова. - М— Высшая школа, 1992. - 312 с.
23. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) / Госатомэнергонадзор СССР. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 525 с. (Правила и Нормы в атомной энергетике).
24. Общетехнический справочник /Под ред. Е.А.Скороходова. - М.: Машиностроение, 1982. -415 с.
25. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х томах. Т.1. -М.: Машиностроение, 1988. - 560 с.
26. Основы материаловедения /Под ред. И.М. Сидорина. - М.: Машиностроение. 1976. - 440 с.
27. Пластики конструкционного назначения (реактопласты). /Под ред. Е.Б. Тростянской. - М.: Химия, 1974. - 304 с.
28. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. - М.: Наука, 1979. -743 с.
29. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность: Справочное пособие. - М.: Машиностроение, 1975.- 488 с.
30. Тайра С., Отани Р. Теория высокотемпературной прочности материалов. - М.: Metallurgy, 1986. -280 с.
31. Термопласты конструкционного назначения. /Под ред. Е.В. Тростянской. - М: Химия. 1975. - 240 с.
32. Термопрочность деталей машин /Под ред. И.А.Биргера и Б.Ф.Шорра. -М.: Машиностроение, 1975. -455 с.
33. Усталость материалов при высокой температуре.- М.: Metallurgy, 1988.-342 с.
34. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. - М.: Metallurgy, 1978.
35. Черепин В .Т. Экспериментальная техника в физическом металловедении. - Киев: Техника. 1968. - 280 с.
36. Фрост Г.Дж., Эшби М.Ф. Карты механизмов деформации. Монография. — Пер. с англ. — Челябинск: Metallurgy, 1989. — 328 с.
37. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: МИСИС, 1998. -400 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. 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>

2. 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/>
3. Руководство по основным методам проведения анализа в программе ANSYS [Электронный ресурс] // Studfiles : файловый архив студентов. – Электрон. дан. – [Б. м., б. г.]. – URL: <http://www.studfiles.ru/preview/2557944/>
4. ANSYS [Electronic resource] / ANSYS, Inc. All rights reserved. – Electronic data. – Canonsburg, USA, 2016. – URL: <http://www.ansys.com/>

### 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); программные комплексы WB ANSYS, SolidWorks, TFEX.

– 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/>

в) профессиональные базы данных (*при наличии*):

– Университетская информационная система РОССИЯ – <https://uisrussia.msu.ru/>

– Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) – <https://www.fedstat.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, оснащенные компьютерной техникой с установленным лицензионным программным обеспечением, для проведения практических и лабораторных занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

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

### 15. Информация о разработчиках

Скрипняк Владимир Альбертович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра механики деформируемого твердого тела, заведующий кафедрой;

Скрипняк Евгения Георгиевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра механики деформируемого твердого тела, доцент.