

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

**Критерии прочности и разрушения**

по направлению подготовки

**15.04.03 Прикладная механика**

Направленность (профиль) подготовки :

**Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

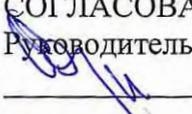
Год приема

**2022**

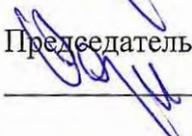
Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.05

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:

- ОПК-8 – Способен осуществлять анализ проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения, подготавливать отзывы и заключения по их оценке;
- ОПК-9 – Способен представлять результаты исследования в области машиностроения в виде научно-технических отчетов и публикаций;
- ОПК-10 – Способен разрабатывать физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области прикладной механики;
- ОПК-12 – Способен создавать алгоритмы цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разрабатывать современные цифровые программы расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 8.1 Знать требования к подготовке отзывов и заключений по оценке проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения.

ИОПК 8.2 Уметь осуществлять анализ и выполнять типовые работы по подготовке отзывов и заключений по оценке проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения.

ИОПК 8.3 Владеть методиками анализа и подготовки отзывов и заключений по оценке проектов стандартов, рационализаторских предложений и изобретений в области машиностроения.

ИОПК 9.1 Знать требования к подготовке научно-технических отчетов и публикаций по результатам выполненных исследований в области машиностроения.

ИОПК 9.2 Уметь применять прикладные компьютерные программы для оформления отчетов, рефератов, публикаций и презентаций.

ИОПК 9.3 Владеть методиками структурного анализа результатов исследования для их представления в формах отчетов, рефератов, публикаций и презентаций.

ИОПК 10.1 Знать современные физико-механические, математические и компьютерные модели при решении актуальных научно-технических задач в области прикладной механики.

ИОПК 10.2 Уметь разрабатывать физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области прикладной механики.

ИОПК 10.3 Владеть методикой разработки физико-механических, математических и компьютерных моделей при решении научно-технических задач в области прикладной механики.

ИОПК 12.1 Знать способы построения алгоритмов цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разработки современных цифровых программ расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации.

ИОПК 12.2 Уметь создавать алгоритмы цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разрабатывать современные цифровые программы расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации.

ИОПК 12.3 Владеть методиками построения алгоритмов цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разработки современных цифровых программ расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат, используемый в современных подходах прикладной механики – критерии прочности, разрушения, долговечности, живучести, надежности машин и конструкций.

– Научиться применять понятийный аппарат прикладной механики для решения практических задач профессиональной деятельности, связанных с определением напряжённо-деформированного состояния и надёжности при статическом и циклическом нагружении.

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

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

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

Второй семестр, экзамен

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: 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 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 10 ч.

-практические занятия: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Критерии сопротивления хрупкому, квазихрупкому и вязкому разрушению.

Содержание предмета, его место в блоке изучаемых дисциплин, связь с другими дисциплинами. Этапы развития исследований по прочности и безопасности. Показатели работоспособности и системы коэффициентов запаса.

Тема 2. Предельные состояния, виды и критерии разрушения.

Напряженно-деформированные состояния и условия нагружения пластины с концентрацией напряжений, без концентратора напряжений, с центральной трещиной. Предельные состояния.

Тема 3. Диаграмма деформирования и характеристики разрушения.

Механические испытания гладких образцов, с концентрацией напряжений, с центральной трещиной. Условные напряжения и деформации. Истинные напряжения и деформации. Механические характеристики материалов. Виды разрушений.

Тема 4. Аппроксимация диаграмм статического деформирования. Функция пластичности. Линейная аппроксимация. Полигональная аппроксимация. Степенное уравнение Рамберга – Осгуда. Дробно-линейная функция. Степенная аппроксимация диаграмм деформирования. Определение параметров диаграмм деформирования. Изменение механических свойств с увеличением площади поперечного сечения детали.

Тема 5. Напряженно-деформированные состояния в зонах концентрации. Теоретический коэффициент концентрации напряжений. Коэффициент концентрации деформаций. Местные напряжения. Местные деформации. Формула Нейбера.

Тема 6. Деформации, напряжения и перемещения в зонах трещин в упругой и упруго-пластической области. Коэффициент интенсивности напряжений. Напряжения и деформации в вершине трещины в упругой стадии. Пластины с эллиптической щелью. Решение Ирвина. Метод сечений для приближенного расчета коэффициента интенсивности напряжений. Деформированное состояние в вершине трещины. Упруго-пластическое напряженно-деформированное состояние в вершине трещины. Модель Леонова-Панасюка-Дагдейла.

Тема 7. Силовые критерии разрушения. Схема деформирования пластины с трещиной. Диаграмма разрушения хрупкого материала. Зависимость разрушающих напряжений от длины трещины. Поправка на пластическую зону. Предел трещиностойкости. Зависимость предела трещиностойкости от длины трещины. Силовые критерии при расчетах на хрупкую прочность.

Тема 8. Деформационные критерии разрушения. Концепция критического раскрытия трещины. Критерий Уэльса. Коэффициент интенсивности деформаций. Протяженность пластической зоны. Деформации в упруго-пластической зоне. Концепция квазихрупкого разрушения.

Тема 9. Энергетические критерии разрушения. Энергия деформаций в вершине трещины. Уравнение Гриффитса и Орована. Определение  $J$  – интеграла. Критерий Черепанова – Райса.

Тема 10. Экспериментальные методы определения критериев разрушения. Основные типы образцов и схемы нагружения. Зависимость раскрытия трещины от величины нагрузки. Выбор размера образцов для хрупких и пластичных материалов. Экспериментальное определение  $J$  – интеграла. Полная диаграмма разрушений.

Тема 11. Расчеты на прочность при статическом нагружении. Проверка статической прочности конструкции на основе базового уравнения механики разрушения. Коэффициент запаса по критическому коэффициенту интенсивности напряжений. Кривые разрушающих критических и допускаемых напряжений. Коэффициент запаса по критическому размеру дефекта. Построение области безопасных состояний. Расчеты на прочность с учетом температурного фактора.

Тема 12. Расчеты на прочность при циклическом нагружении. Коэффициенты запасов по разрушающим напряжениям и долговечности. Кривые усталости. Диаграммы циклических разрушений. Скорость развития трещин. Зависимость длины трещины от долговечности. Диаграмма циклического разрушения. Уравнение Пэриса. Уравнения Формана и Яремы.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

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

Основное изучение теоретического материала происходит на лекциях, самостоятельное углублённое освоение изложенного на лекциях теоретического материала, закрепление и расширение полученных знаний производится с использованием указанной основной и дополнительной учебной и научной литературы.

Закрепление теоретического материала, формирование умений и навыков решения практических задач происходит посредством практических занятий, а также внеаудиторного выполнения индивидуальных заданий (рефератов).

Текущий контроль на занятиях производится путём частичного опроса обучающихся и разбора вызывающих трудность в понимании вопросов с использованием активных и интерактивных форм обучения во время коллоквиумов и практических занятий.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в пятом семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей, проверяющих сформированность компетенций из п.1. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть содержит один вопрос. Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

Вторая часть содержит один вопрос. Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

Третья часть содержит 1 вопрос и оформлены в виде практических задач. Ответы на вопросы третьей части предполагают решение задач и выбор из предоставленных ответов.

Примерный перечень теоретических вопросов:

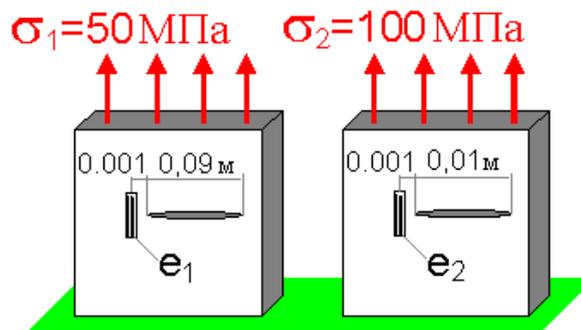
1. Предмет и задачи критериев прочности и разрушения, ее связь с другими областями механики.
2. Перечислите этапы развития исследований по прочности и безопасности.
3. Характеристики прочности при растяжении.
4. Характеристики пластичности при растяжении.
5. Отличие диаграммы нагружения в условных и истинных напряжениях и деформациях.
6. Виды аппроксимации диаграмм деформирования.
7. Перераспределение напряжений и деформаций при возникновении упругопластических местных деформаций в зонах концентрации.
8. Уравнения для определения местных напряжений и деформаций, и коэффициентов концентрации напряжений и деформаций для степенной аппроксимации диаграмм деформирования.
9. Коэффициент интенсивности напряжений для растягиваемой пластины с трещиной.
10. Плоское напряженное состояние упругой пластины с трещиной.
11. Интенсивность напряжений в окрестности трещин.
12. Модели нагружения и перемещений в зонах трещин.

13. Главные напряжения в окрестности трещины.
14. Упругие деформации в зоне трещины для плоского напряженного состояния.
15. Типы трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений.
16. Вязкость разрушения (трещиностойкость) материала.
17. Характеристики для оценки предельных состояний.
18. Особенности усталостного деформирования и разрушения.
19. Рост трещин при циклическом нагружении.
20. Теоретические зависимости роста усталостных трещин. Усталостная долговечность.
21. Экспериментальные методы определения вязкости разрушения (трещиностойкости) материала.

Примеры задач:

Задача 1.

Два тензодатчика помещены на равное расстояние от вершин трещины. Для какого случая деформация растяжения ( $\epsilon$ ) максимальна?

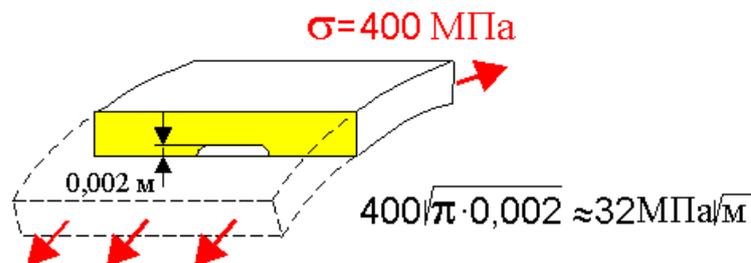


Варианты ответа:

- A.  $\epsilon_1 > \epsilon_2$
- B.  $\epsilon_1 < \epsilon_2$
- C.  $\epsilon_1 = \epsilon_2$

Задача 2.

Периодический неразрушающий контроль может выявить поверхностные дефекты с размером трещины **0.002 м** или больше в сосуде давления. Выберите лучший материал для сосуда давления.

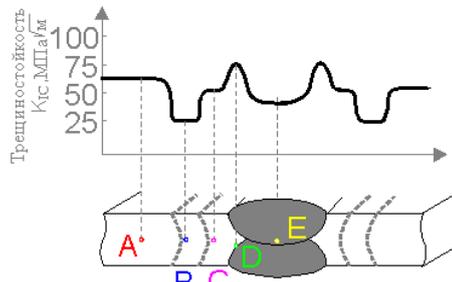


Варианты ответа:

- A. Низко углеродистая сталь,  $K_{IC} = 33 \text{ МПа м}^{1/2}$ , цена: \$ 250/м<sup>2</sup>
- B. Углеродистая сталь,  $K_{IC} = 66 \text{ МПа м}^{1/2}$ , цена: \$ 500/м<sup>2</sup>
- C. Легированная сталь,  $K_{IC} = 120 \text{ МПа м}^{1/2}$ , цена: \$ 1500/м<sup>2</sup>

Задача 3.

График показывает экспериментальные данные трещиностойкости для сварного шва. Имеются пять дефектов в сварном соединении. Коэффициент интенсивности напряжений  $K_I$  для каждого дефекта был рассчитан и показан ниже. Для какой области запас прочности будет наименьшим?

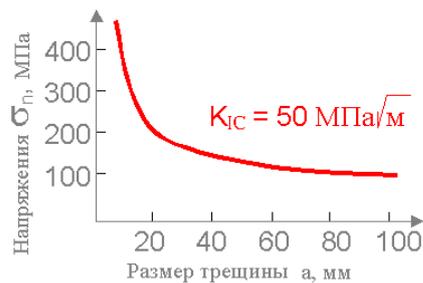


1.

2. Варианты ответа:
3. А.  $K_I = 30 \text{ МПа м}^{1/2}$
4. В.  $K_I = 20 \text{ МПа м}^{1/2}$
5. С.  $K_I = 30 \text{ МПа м}^{1/2}$
6. D.  $K_I = 40 \text{ МПа м}^{1/2}$
7. E.  $K_I = 10 \text{ МПа м}^{1/2}$

Задача 4.

Трещиностойкость стали равна  $50 \text{ МПа м}^{1/2}$ . Какая комбинация **напряжение - длина трещины** приведет к отказу?



Варианты ответа:

- A. 20 МПа – 100 мм
- B. 100 МПа – 60 мм
- C. 200 МПа – 40 мм
- D. 250 МПа – 10 мм
- E. 400 МПа – 1 мм

Задача 5.

Корпус клапана с заглушкой. Неразрушающим контролем была обнаружена полуэллиптическая трещина. Специалисты считают, что коэффициент интенсивности напряжений равен  $40 \text{ МПа м}^{1/2}$  при рабочем давлении. Трещиностойкость материала  $57 \text{ МПа м}^{1/2}$ . Номинальное напряжение  $200 \text{ МПа}$ . Возможно ли увеличить давление при испытании до  $2 \text{ МПа}$ ? Обоснуйте ответ



Варианты ответа:

А. Да

В. Нет

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

Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания:

Форма контроля	Критерии оценивания			
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.
экзамен	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <http://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24748>

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

в) Темы рефератов по дисциплине:

1. Основоположники динамики и прочности машин.
2. Методы для анализа напряжений и деформаций материалов.
3. Расчеты на прочность при длительном статическом нагружении.
4. Расчеты на прочность при длительном циклическом нагружении.
5. Методология исследований силовых систем по критериям усталости и износостойкости.
6. Методы износоусталостных испытаний и оценки повреждений.
7. Фреттинг-усталость.
8. Фрикционно-механическая усталость.

9. Коррозионно-механическая усталость.
10. Контактно-механическая усталость.
11. Исследования композитных материалов на макроуровне с учетом структуры.
12. Физико-механические исследования структурно-неоднородных материалов с учетом воздействия сред и полей.
13. Исследование и разработка методов и технологий упрочнения материалов.
14. Исследования сопротивления усталости материалов и деталей машин.

г) Перечень требований для реферата: 1) Глубина и комплексность исследования, полнота освещения излагаемых вопросов; 2) Четкость построения, логическая последовательность изложения материала; 3) Убедительность аргументации, полнота, краткость и точность формулировок; 4) Тщательность, грамотность оформления текстовой и графической части работы; 5) Конкретность изложения, доказательность выводов. .

д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов. Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов состоит в проработке лекционного материала и дополнительного по заданию преподавателя материала из литературы, а также в подготовке и выполнении индивидуальных заданий (расчётно-графических работ) и написании рефератов. Расчётно-графическая работа “Аппроксимация диаграмм статического деформирования“ охватывает основные разделы курса и включает изучение методов обработки диаграмм статического деформирования материалов из учебных пособий и монографий:

1. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Ч. 1. — Новосибирск: Наука, 2005. — 494 с.
2. Баранникова С.А. Критерии прочности и разрушения. Методы обработки диаграмм статического деформирования ГЦК, ОЦК и ГПУ металлов. Учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2012. — 56 с. — (в печати).
3. Баранникова С.А. Сопротивление материалов. Физические основы прочности конструкционных материалов. Учебное пособие. — Томск: Изд-во гос.архит.-строит. ун-та, 2010. — 196 с.

Каждый студент имеет свои варианты расчётно-графических работ и рефератов. Защита работ проводится в часы консультаций. Указанные пособия и монографии используются также для самостоятельной работы студентов. Обсуждение рефератов “Технологические методы обеспечения надежности конструкционных материалов и экспериментальные методы определения напряжений и деформаций“ проводится на семинарских занятиях.

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

а) основная литература:

1. Махутов Н.А. Прочность, ресурс, живучесть и безопасность машин. — М.: Книжный дом “Либроком“, 2008. — 576 с.
2. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Ч. 1. — Новосибирск: Наука, 2005. — 494 с.
3. Москвичев В.В. Основы конструкционной прочности технических систем и инженерных сооружений. Ч. 1. Постановка задач и анализ предельных состояний. — Новосибирск: Наука, 2002. — 106 с.
4. Степнов М.Н. Вероятностные методы оценки характеристик механических свойств материалов и несущей способности элементов конструкций. — Новосибирск: Наука, 2005. — 342 с.

5. Доронин С.В., Лепихин А.М., Москвичев В.В., Шокин Ю.И. Моделирование прочности и разрушения несущих конструкций технических систем. — Новосибирск: Наука, 2005. —
6. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. — М.: Физматлит, 2006. — 328 с.
7. Баранникова С.А. Критерии прочности и разрушения. Методы обработки диаграмм статического деформирования ГЦК, ОЦК и ГПУ металлов: Учебное пособие.— Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2012. — 56 с.

б) дополнительная литература:

1. Москвичев В.В., Махутов Н.А., Черняев А. П. Трещиностойкость и механические свойства конструкционных материалов технических систем. — Новосибирск: Наука, 2002. — 334 с.
2. Лепихин А.М., Махутов Н.А., Москвичев В.В., Черняев А. П. Вероятностный риск-анализ конструкций технических систем. — Новосибирск: Наука, 2003. — 174 с.
3. Пестриков В.М., Морозов Е.М. Механика разрушения твердых тел: курс лекций. — СПб.: Профессия, 2002. — 320 с.
4. Котречко С.А., Мешков Ю.А. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции. — К.: Наук. думка. 2008. — 296 с.
5. Кукуджанов В.Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций: Учебное пособие. —М.: МФТИ, 2008. — 215 с.
6. **Металлы и сплавы: Справочник / Под ред. Ю.П. Солнцева - СПб.: НПО "Профессионал", 2007. — 1092 с.**
7. Николаев О.С. Прочность металлов: Новые методы определения. —М.: Либроком, 2009. — 288 с.
8. Буров А.Е., Кокшаров И.И., Москвичев В.В. Моделирование разрушения и трещиностойкости волокнистых металлокомполитов. — Новосибирск: Наука, 2003. — 173 с.
9. Lemaitre J., Desmorat R. Engineering damage mechanics. — Berlin: Springer-Verlag, 2005. — 402 p.
10. Баранникова С.А. Сопротивление материалов. Физические основы прочности конструкционных материалов: Учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского гос.архит.-строит. ун-та, 2010. — 196 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Программы: Maple, Mathematica, Matlab в электронной библиотеке «EqWorld – Мир математических уравнений» в Институте проблем механики РАН <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/software.htm#matlab>
2. Учебники, книги и журналы по механике в электронной библиотеке «EqWorld – Мир математических уравнений» в Институте проблем механики РАН <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm>

### 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/>
- 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.

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»).

#### **15. Информация о разработчиках**

Баранникова Светлана Александровна, доктор физико-математических наук, профессор; кафедра механики деформируемого твердого тела Физико-технического факультета, профессор