

Белорусский государственный университет

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

  
О.Г. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД – 12178/уч.

*Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики  
деформируемого твердого тела*

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

**1-31 03 02 Механика и математическое моделирование**

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2021, типового учебного плана № G31-1-025/пр-тип. от 30.06.2021 г., учебных планов БГУ: №G31-1-029/уч. от 30.06.2021г., №G31-1-029/уч.- СИБД от 30.06.2021г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

С.С. Щербаков, профессор кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

А.В. Богданович, профессор кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор технических наук, профессор

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

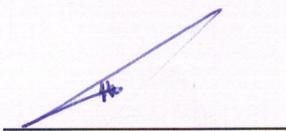
Еловой О.М., заместитель генерального директора ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» по научной работе и инновационной деятельности, кандидат технических наук.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 17.05.2023)

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 7 от 30.05.2023)

Заведующий кафедрой



М.А. Журавков



## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Интенсивное развитие техники, рост скоростей и удельных нагрузок на несущие детали транспортных средств, сооружений, конструкций приводят к увеличению их статической и динамической нагруженности. Как следствие, весьма актуальными сегодня являются вопросы проектирования, расчета, испытаний и эксплуатации таких деталей, конструкций и сооружений с учетом динамики, колебаний, трения и износа, а также повреждений ими обусловленных.

В рамках изучения учебной дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики деформируемого твердого тела» студенты знакомятся с методами построения механико-математических моделей в механике износоусталостного повреждения. Построение моделей производится на примере силовых систем, т.е. таких систем, в которых одновременно реализуется контактное взаимодействие с трением (качения, скольжения) между твердыми деформируемыми телами и неконтактное (объемное) деформирование по крайней мере одного из элементов силовой системы. Спецкурсом также предусмотрено изучение студентами основ расчета деталей машин, элементов конструкций, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения и износа, а также овладение ими соответствующими практическими навыками.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель** учебной дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики деформируемого твердого тела» – формирование у студентов социальных знаний по вопросам комплексного подхода к оценке и прогнозированию напряженно-деформированного состояния, долговечности, предельного состояния и поврежденности силовых систем, расчета деталей машин, элементов конструкций, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения и износа.

### **Задачи учебной дисциплины:**

1) ознакомление студентов с основами расчета и прогнозирования напряженно-деформированного состояния, долговечности, предельного состояния и поврежденности силовых систем, расчета деталей машин, элементов конструкций, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения и износа;

2) обучение студентов навыками решения практических задач оценки и прогнозирования напряженно-деформированного состояния, долговечности, предельного состояния и поврежденности силовых систем, расчета деталей машин, элементов конструкций, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения и износа;

3) формирование навыков аналитического и численного решений типичных задач механики деформируемого твердого тела и трибофатики.

**Место учебной дисциплины.** В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина относится к дисциплинам специализации компонента учреждения высшего образования.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных **связей** и программы по дисциплине «Сопротивление материалов и основы строительной механики».

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики деформируемого твердого тела» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

**универсальные** компетенции:

УК-1. Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

УК-2. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий;

УК-4. Работать в команде, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные, культурные и иные различия;

УК-5. Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности;

УК-6. Проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности;

**базовые профессиональные** компетенции:

БПК-1. Применять основные законы и методы естественнонаучных дисциплин для решения теоретических и практических задач в профессиональной деятельности;

БПК-6. Использовать основополагающие понятия, определения и теоремы физики при решении задач механики и физики;

БПК-8. Использовать основные аналитические и численные методы теоретической механики, механики сплошных сред, сопротивления материалов к исследованию механических процессов;

БПК-9. Применять основные алгебраические и геометрические понятия, конструкции и методы для решения теоретических и прикладных задач механики и математики;

БПК-10. Применять теоретические знания и навыки в самостоятельной исследовательской деятельности.

**специализированные** компетенции:

СК-5. Применять методы и законы механики к исследованию робототехнических систем и решению прикладных задач механики.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:** проблематику механики деформируемого твердого тела, трибофатики, постановку и методы решения задач по оценке и прогнозированию напряженно-деформированного состояния, долговечности,

предельного состояния и поврежденности силовых систем, расчета деталей машин, элементов конструкций, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения и износа;

**уметь:** применять полученные знания для расчета элементов машин, конструкций, силовых систем, работающих в сложных условиях эксплуатации;

**владеть:** аналитическими и численными методами решения типичных задач механики деформируемого твердого тела, трибофатики.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 6 и 7 семестрах. Всего на изучение учебной дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики деформируемого твердого тела» отведено:

- в очной форме получения высшего образования в **6 семестре:** 42 часа, в том числе 34 аудиторных часа, из них: лекции – 14 часов, лабораторные занятия – 18 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа;

- в **7 семестре:** всего 90 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лекции – 22 часа, лабораторные занятия – 22 часа, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет в 7 семестре.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Раздел 1. Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики

### Тема 1.1. Поверхностное повреждение и объемное разрушение

Общие понятия: прочность и жесткость, объемная и поверхностная прочность, трещиностойкость, механические свойства, основные типы разрушения, основные положения и соотношения теории упругости: уравнения равновесия, обобщенный закон Гука, граничные условия, тензоры напряжений и деформаций. Статическая прочность: напряженное и механическое состояния, условие прочности. Сопротивление усталости – объемное разрушение: кривая усталости, механизмы усталости металлов.

Контактная задача: фундаментальные решения о действии единичных нормальной и касательной сил на полупространство, распределение контактного давления и соответствующее напряженное состояние. Трение и износ – поверхностное повреждение и разрушение: сила и коэффициент трения, смазка, процессы изнашивания, скольжение, качение, фреттинг, расчеты на износ и долговечность.

Надежность: модель отказов, основные показатели надежности и их взаимосвязь, методы оценки показателей надежности, модель нагрузка-прочность, расчет показателей надежности при линейном и сложных напряженных состояниях.

Прочность материалов в конструкциях. Методология трибофатики. Силовая система.

### Тема 1.2. Напряженно-деформированное состояние силовых систем

Комплексный подход к расчету силовых систем: объединенное плоское и пространственное НДС силовой системы как суперпозиция напряженных состояний, обусловленных единичными или распределенными контактными усилиями и неконтактными нагрузками.

Методы численно-аналитического расчета и конечноэлементного компьютерного моделирования силовых систем диск/цилиндр (ролик/вал), диск/кольцо (ролик/кольцо) в двумерной и трехмерной постановке.

### Тема 1.3. Износоусталостные испытания

Основные схемы испытаний и характеристики износоусталостного повреждения. Фрикционно-механическая и контактно-механическая усталость: прямой и обратный эффекты.

### Тема 1.4. Предельное состояние силовых систем

Предельные значения механических параметров силовой системы. Энергетический критерий предельного состояния. Влияние контактной и внеконтактной нагрузки, температуры и коррозионных процессов на

достижение предельного состояния. Коэффициенты прямого и обратного эффектов. Многокритериальная диаграмма и ее анализ.

### **Тема 1.5. Механика взаимодействия повреждений**

Статистическая модель деформируемого твердого тела с опасным объемом. Меры поврежденности элемента конструкции, пары трения, силовой системы: тензорный, компонентный, энергетический опасные объемы. Необратимое взаимодействие повреждений. Тензор повреждений.

Масштабный эффект: механическая усталость, контактная усталость, контактно-механическая усталость. Взаимодействие повреждений.

### **Тема 1.6. Сила и коэффициент трения**

Сила и коэффициент трения в силовой системе: методы определения, анализ их изменения, индекс трения. Изменение граничных условий в области контакта вследствие неконтактного нагружения. Интенсивность повреждения – поверхностная и объемная: определение, влияние основных факторов. Интенсивность повреждения силовой системы.

### **Тема 1.7. Моделирование механических состояний силовых систем**

Сосредоточенные нормальная и касательная к полуплоскости и полупространству силы, распределенные по полуплоскости и полупространству нормальные и касательные усилия, вдавливание жесткого штампа с заданной формой основания, расчет напряженно-деформированного состояния и состояния повреждаемости многокомпонентной силовой системы.

## **Раздел 2. Фундаментальные и прикладные задачи механики деформируемого твердого тела**

### **Тема 2.1. Введение. Законы нагружения и типы разрушения. Прочность элементов конструкций**

Понятия прочности и жесткости, механические свойства материалов, законы нагружения твердого тела, внутренние усилия, типы разрушения деформируемого твердого тела. Статическая прочность: напряженное и механическое состояния, условие прочности. Характер и особенности излома при статическом, ударном и усталостном разрушении. Механические состояния. Условия прочности при линейном и сложном напряженных состояниях.

### **Тема 2.2. Усталость материалов: основные понятия. Характеристики сопротивления усталости**

Понятие об усталости и выносливости материалов. Цикл напряжений. Кривая усталости и ее аналитическое описание. Характеристики сопротивления усталости. Понятие о полной кривой усталости. Механизмы усталостного повреждения и разрушения. Циклическое упрочнение-

разупрочнение. Суммирование повреждений при ступенчатом, блочном и случайном нагружении.

### **Тема 2.3. Влияние различных факторов на сопротивление усталости.**

#### **Методы определения характеристик сопротивления усталости**

Влияние конструкции (размеры образцов, концентрация напряжений), технологии изготовления (свойства и структура, состояние поверхности), условий эксплуатации (асимметрия цикла, напряженное состояние, случайное нагружение, частота нагружения, температура, коррозионная среда, фреттинг-коррозия) на сопротивление усталости материалов. Методы определения характеристик сопротивления усталости (расчетная оценка пределов выносливости, экспериментальное определение характеристик сопротивления усталости). Обработка результатов испытания на усталость. Методы ускоренной расчетно-экспериментальной оценки пределов выносливости.

### **Тема 2.4. Расчеты на усталость. Рассеяние характеристик сопротивления усталости**

Методы учета рассеяния при построении кривой усталости. Общие закономерности рассеяния характеристик сопротивления усталости. Ускоренная оценка параметров функции распределения пределов выносливости. Методы расчета на прочность при переменных напряжениях (детерминированный расчет, вероятностный расчет).

### **Тема 2.5. Трение и износ: основные понятия. Характеристики сопротивления изнашиванию при скольжении**

Сила и коэффициент трения. Процессы изнашивания. Трение скольжения. Понятие фрикционной усталости. Кривая фрикционной усталости. Характеристики сопротивления фрикционной усталости. Понятие фрикционно-механической усталости.

### **Тема 2.6. Трение качения и контактная усталость. Фреттинг. Расчеты на трение и износ**

Трение качения. Питтингообразование. Кривая контактной усталости. Характеристики сопротивления контактной усталости. Понятие контактно-механической усталости. Фреттинг-коррозия и фреттинг-изнашивание. Фреттинг-усталость. Процедуры расчетов на трение и износ.

### **Тема 2.7. Оборудование для испытания на усталость, трение и изнашивание. Машины для износоусталостных испытаний**

Машины для испытания на усталость: назначение, классификация, общие требования. Основные схемы (особенности конструкции) механических, гидравлических, резонансных, сервогидравлических испытательных усталостных машин. Машины для испытания на трение и изнашивание: назначение, классификация, общие требования и основные схемы. Машины для износоусталостных испытаний.

### **Тема 2.8. Напряженно-деформированное и предельное состояния при наличии трещин**

Общие положения механики разрушения. Статическая трещиностойкость материалов. Диаграмма нагрузка-перемещение. Основные закономерности статической трещиностойкости. Кинетическая диаграмма усталостного разрушения и характеристики трещиностойкости при циклическом нагружении. Методика оценки трещиностойкости пластичных сталей. Динамическая трещиностойкость на стадии движения и остановки трещины. Влияние различных факторов на циклическую и динамическую трещиностойкость конструкционных материалов. Основы механики контактного разрушения.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<b>Раздел 1. Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики</b>							
1.1	Поверхностное повреждение и объемное разрушение	2			4			отчет по лабораторной работе
1.2	Напряженно-деформированное состояние силовых систем	2			2		1	отчет по лабораторной работе; доклад
1.3	Износоусталостные испытания	2			2			отчет по лабораторной работе; контрольная работа
1.4	Предельное состояние силовых систем	2			4			отчет по лабораторной работе
1.5	Механика взаимодействия повреждений	2			2		1	отчет по лабораторной работе; доклад
1.6	Сила и коэффициент трения	2			2			отчет по лабораторной работе
1.7	Моделирование механических состояний силовых систем	2			2			отче по лабораторной работе
	<b>Всего по разделу</b>	<b>14</b>			<b>18</b>		<b>2</b>	

	<b>Раздел 2. Фундаментальные и прикладные задачи механики деформируемого твердого тела</b>							
2.1	Введение. Законы нагружения и типы разрушения. Прочность элементов конструкций	2			4			отчет по лабораторной работе
2.2	Усталость материалов: основные понятия. Характеристики сопротивления усталости	4						собеседование
2.3	Влияние различных факторов на сопротивление усталости. Методы определения характеристик сопротивления усталости	4			4			отчет по лабораторной работе
2.4	Расчеты на усталость. Рассеяние характеристик сопротивления усталости	2			4			отчет по лабораторной работе; контрольная работа по темам 2.1-2.3
2.5	Трение и износ: основные понятия. Характеристики сопротивления изнашиванию при скольжении	2					2	собеседование; доклад
2.6	Трение качения и контактная усталость. Фреттинг. Расчеты на трение и износ	2			4			отчет по лабораторной работе
2.7	Оборудование для испытания на усталость, трение и изнашивание. Машины для износоусталостных испытаний	2			2			отчет по лабораторной работе
2.8	Напряженно-деформированное и предельное состояния при наличии трещин	4			4		2	отчет по лабораторной работе; доклад
	<b>Всего по разделу</b>	<b>22</b>			<b>22</b>			

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Сосновский Л.А. Механика износоусталостного повреждения. – Гомель: БелГУТ, 2007. – 434 с.
2. Сосновский Л.А. Основы трибофатики. –Гомель: БелГУТ, 2003. –Т.1. –246 с., –Т.2. –234 с.
3. Сосновский Л.А., Журавков М.А., Щербаков С.С. Введение в трибофатику. – Минск, БГУ, 2010. – 77 с.
4. Сосновский Л.А., Журавков М.А., Щербаков С.С. Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики : курс лекций. – Минск: БГУ, 2011. – 488 с.
5. Сосновский Л.А., Махутов Н.А. Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. –Москва-Гомель: ФЦНТП "Безопасность" - НПО "ТРИБОФАТИКА", 2000. –304 с.
6. Богданович А.В. Динамические задачи прикладной механики: Учебно-методич. пособие. – Минск : БГУ, 2016. – 154 с.
7. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочное пособие в 2-х томах. – Киев: Наукова думка, 1987. – 1335 с.
8. Сосновский, Л.А. Трещиностойкость: монография /Л.А. Сосновский, А.В. Богданович. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 366 с.

### Перечень дополнительной литературы

9. Щербаков С.С., Сосновский Л.А. Механика трибофатических систем. – Минск: БГУ, 2011. – 407 с.
10. Писаренко Г.С. и др. Сопротивление материалов. – Киев.: Вища школа, 1986. – 775 с.
11. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. – М.: Наука, 2001. – 478с.
12. Колесников, Ю.В. Механика контактного разрушения / Ю.В. Колесников, Е.М. Морозов. – М.: Наука, 1989. – 219 с.
13. Механика разрушения на базе компьютерных технологий. Практикум / В.М. Пестриков, Е.М. Морозов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 464 с.
14. Богданович, А.В. Лабораторный практикум по экспериментальной механике: Учеб.-методич. пособие для магистрантов ММФ / А.В. Богданович, С.С. Щербаков, Д.Е. Мармыш. –Минск : БГУ, 2017. – 107 с.

## **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики деформируемого твердого тела» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- проверка отчетов по лабораторным работам;
- собеседование **на аудиторных занятиях**;
- **контрольная работа**;
- доклад.

Отметка за ответы на лекциях (опрос) и выполнение отчетов по лабораторным работам включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Контрольная работа выполняется по темам по темам 2.1-2.3. Перечень вопросов и заданий для подготовки к контрольной работе преподаватель размещает заранее на образовательном портале факультета в Moodle.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики деформируемого твердого тела» учебным планом предусмотрен **зачет**.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

#### **Тема 1.2. Напряженно-деформированное состояние силовых систем (1 ч.)**

Формула для расчета опасного объема при качении роликов с параллельными осями приведена в материале лекции. Попробуйте получить формулу для расчета опасного объема в зоне галтельного перехода применительно к ступенчатым пластинам.

**Форма контроля** - доклад.

#### **Тема 1.5. Механика взаимодействия повреждений (1 ч.)**

Разработайте методику расчетной оценки опасных объемов при статическом контакте колеса и рельса.

**Форма контроля** - доклад.

#### **Тема 2.5. Трение и износ: основные понятия. Характеристики сопротивления изнашиванию при скольжении (2 ч.)**

Охарактеризовать процессы изнашивания. Какие механизмы изнашивания различают в зависимости от приложенной нагрузки и вида деформации, вида трения?

**Форма контроля** - доклад.

## **Тема 2.8. Напряженно-деформированное и предельное состояния при наличии трещин (2 ч.)**

Как влияют различные факторы на циклическую и динамическую трещиностойкость конструкционных материалов?

**Форма контроля** - доклад.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих формирование профессиональных компетенций.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении дисциплины организация самостоятельной работы студентов должна представлять единство трех взаимосвязанных форм:

- 1) внеаудиторная самостоятельная работа;
- 2) аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;
- 3) творческая, в том числе научно-исследовательская работа.

На лабораторных занятиях по дисциплине «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики деформируемого твердого тела» рекомендуется применять вариативные индивидуальные, в том числе исследовательские, задания для студентов для приобретения навыков самостоятельного решения практических задач.

В силу различного уровня готовности студентов к восприятию новых понятий на лабораторных занятиях по дисциплине рекомендуется проводить регулярные самостоятельные работы и при необходимости проводить дополнительные консультации для объяснения и закрепления сложного материала.

Условия для самостоятельной работы студентов, в частности, для развития навыков самоконтроля, способствующих интенсификации учебного процесса, обеспечиваются наличием и полной доступностью электронных (и бумажных) вариантов курсов лекций, учебно-методических пособий и сборников задач по основным разделам дисциплины.

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Основные понятия (нагрузка, прочность, жесткость, механические свойства материалов, законы нагружения твердого тела, внутренние усилия, типы разрушения деформируемого твердого тела).
2. Характер и особенности излома при статическом, ударном и усталостном разрушении. Механические состояния. Условия прочности при линейном и сложном напряженных состояниях.
3. Понятие об усталости и выносливости материалов. Цикл напряжений. Кривая усталости и ее аналитическое описание.
4. Характеристики сопротивления усталости. Понятие о полной кривой усталости.
5. Механизмы усталостного повреждения и разрушения (*дислокационный, вакансионный и термофлуктуационный*). Циклическое упрочнение-разупрочнение.
6. Суммирование повреждений при ступенчатом, блочном и случайном нагружении.
7. Машины для испытания на усталость: назначение, классификация, общие требования, основные схемы (особенности конструкции) усталостных испытательных машин.
8. Машины для износоусталостных испытаний. Машины серии СИ. Испытательный центр SZ-01.
9. Методы определения характеристик сопротивления усталости (расчетная оценка пределов выносливости, экспериментальное определение характеристик сопротивления усталости). Обработка результатов испытания на усталость.
10. Методы ускоренной расчетно-экспериментальной оценки пределов выносливости.
11. Методика статистической обработки результатов усталостных испытаний. Построение функций распределения усталостной долговечности, пределов выносливости, семейства кривых усталости по параметру вероятности усталостного разрушения.
12. Влияние конструкции (размеры образцов, концентрация напряжений) и технологии изготовления (свойства и структура, состояние поверхности) на сопротивление усталости металлических материалов.
13. Влияние условий эксплуатации (асимметрия цикла, напряженное состояние, случайное нагружение, частота нагружения) на сопротивление усталости металлических материалов.
14. Влияние условий эксплуатации (температура, коррозионная среда, фреттинг-коррозия) на сопротивление усталости металлических материалов.
15. Вероятностная природа характеристик сопротивления усталости и общие закономерности рассеяния характеристик сопротивления усталости.
16. Методы расчета на прочность при переменных напряжениях.

17. Сила и коэффициент трения. Процессы изнашивания. Трение скольжения. Понятие фрикционной усталости.
18. Кривая фрикционной усталости. Характеристики сопротивления фрикционной усталости. Понятие фрикционно-механической усталости.
19. Трение качения. Питтингообразование. Кривая контактной усталости. Характеристики сопротивления контактной усталости. Понятие контактно-механической усталости.
20. Фреттинг-коррозия и фреттинг-изнашивание. Фреттинг-усталость. Процедуры расчетов на трение и износ.
21. Напряженно-деформированное и предельное состояния тел с трещинами: общие положения (теория Гриффитса, коэффициенты интенсивности напряжений, поправки на пластичность Орована и Ирвина, размер пластической зоны у вершины трещины).
22. Экспериментальное определение вязкости разрушения  $K_{Ic}$  при статическом нагружении. Диаграмма нагрузка-перемещение.
23. Применение деформационного  $\delta^*$  критерия Дагдейла, Панасюка и энергетического контурного  $J$ -интеграла Черепанова, Райса для анализа тел с трещинами из упругопластических материалов.
24. Кинетическая диаграмма усталостного разрушения: построение, характерные участки, аналитическое описание. Экспериментальное определение характеристик трещиностойкости при циклическом нагружении.
25. Методика оценки циклической трещиностойкости пластичных сталей. Диаграмма ЦУПРОТ и деформационный  $\psi$ -критерий. Живучесть деталей и элементов конструкций при упругопластическом деформировании.
26. Испытание материалов на динамическую трещиностойкость. Динамическая трещиностойкость на стадии движения и остановки трещины. Оценка склонности материалов к хрупкому разрушению.
27. Контактная задача: фундаментальные решения о действии единичных нормальной и касательной сил на полупространство, распределение контактного давления и соответствующее напряженное состояние.
28. Надежность: модель отказов, основные показатели надежности и их взаимосвязь, методы оценки показателей надежности, модель нагрузка-прочность, расчет показателей надежности при линейном и сложных напряженных состояниях.
29. Методология трибофатики. Силовая система.
30. Комплексный подход к расчету силовых систем: объединенное плоское и пространственное НДС силовой системы как суперпозиция напряженных состояний, обусловленных единичными или распределенными контактными усилиями и неконтактными нагрузками.
31. Методы численно-аналитического расчета и конечноэлементного компьютерного моделирования силовых систем диск/цилиндр

- (ролик/вал), диск/кольцо (ролик/кольцо) в двумерной и трехмерной постановке.
32. Основные схемы испытаний и характеристики износоусталостного повреждения.
  33. Фрикционно-механическая и контактно-механическая усталость: прямой и обратный эффекты.
  34. Предельные значения механических параметров силовой системы. Энергетический критерий предельного состояния.
  35. Влияние контактной и внеконтактной нагрузки, температуры и коррозионных процессов на достижение предельного состояния.
  36. Коэффициенты прямого и обратного эффектов. Многокритериальная диаграмма и ее анализ.
  37. Статистическая модель деформируемого твердого тела с опасным объемом.
  38. Меры поврежденности элемента конструкции, пары трения, силовой системы: тензорный, компонентный, энергетический опасные объемы.
  39. Необратимое взаимодействие повреждений. Тензор повреждений.
  40. Масштабный эффект: механическая усталость, контактная усталость, контактно-механическая усталость. Взаимодействие повреждений.
  41. Сила и коэффициент трения в силовой системе: методы определения, анализ их изменения, индекс трения.
  42. Изменение граничных условий в области контакта вследствие неконтактного нагружения.
  43. Интенсивность повреждения – поверхностная и объемная: определение, влияние основных факторов. Интенсивность повреждения силовой системы.
  44. Сосредоточенные нормальная и касательная к полуплоскости и полупространству силы, распределенные по полуплоскости и полупространству нормальные и касательные усилия.
  45. Вдавливание жесткого штампа с заданной формой основания.
  46. Расчет напряженно-деформированного состояния и состояния повреждаемости многокомпонентной силовой системы.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической и прикладной механики (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)

Заведующий кафедрой

доктор ф/м наук, профессор

(степень, звание)

\_\_\_\_\_ (подпись)

М.А.Журавков

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

доктор ф/м наук, профессор

(степень, звание)

\_\_\_\_\_ (подпись)

(И.

С.М.Босяков