

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД – 12859/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 02-2013 и учебного плана № G31-136/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

РЕЦЕНЗЕНТ:

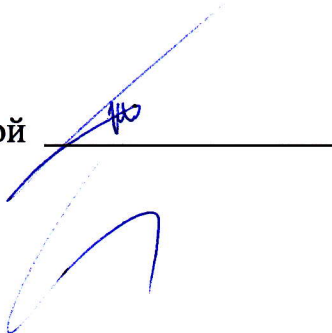
Еловой О.М., заместитель генерального директора ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» по научной работе и инновационной деятельности, кандидат технических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

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

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета БГУ
(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 основами 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 расчета деталей машин, элементов конструкций, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения и износа.

Задачи учебной дисциплины:

- 1) ознакомление студентов с основами расчета деталей машин, элементов конструкций, работающих в условиях статических, переменных, динамических нагрузок, трения и износа;
- 2) обучение студентов навыками решения практических задач 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 «Соппротивление 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:

академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками;
- АК-4. Уметь работать самостоятельно;
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью);
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни;

социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию;
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям;
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

- ПК-1. Разрабатывать практические рекомендации по использованию научных исследований, планировать и проводить экспериментальные исследования, исследовать патентоспособность и показатели технического уровня разработок программного обеспечения информационных систем, разрабатывать научно-техническую документацию;
- ПК-2. Применять современные методы проектирования информационных систем, использовать Web-сервисы, оформлять техническую документацию;
- ПК-3. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей;
- ПК-5. Заниматься аналитической и научно-исследовательской деятельностью в области механики и прикладной математики;
- ПК-6. Использовать и развивать современные информационные технологии и средства автоматизации управленческой деятельности;
- ПК-7. Проводить исследования в области эффективности решения производственных задач;
- ПК-8. Работать с научной, нормативно-справочной и специальной литературой, разрабатывать и использовать современное учебно-методическое обеспечение;
- ПК-12. Контролировать и поддерживать трудовую и производственную дисциплину;
- ПК-14. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей;
- ПК-15. Анализировать и оценивать собранные данные;
- ПК-20. Владеть современными средствами телекоммуникаций;
- ПК-24. Работать с научной, технической и патентной литературой.

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 7 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики и механики деформируемого твердого тела» отведено:

- в очной форме получения высшего образования: 104 часа, в том числе 54 аудиторных часов, из них: лекции – 16 часов, лабораторные занятия – 38 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 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. 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 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 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 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 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 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 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
1	Введение. Законы нагружения и типы разрушения. Прочность элементов конструкций	2			6			отчет по лабораторной работе
2	Усталость материалов: основные понятия. Характеристики сопротивления усталости	2						собеседование
3	Влияние различных факторов на сопротивление усталости. Методы определения характеристик сопротивления усталости	2			6			отчет по лабораторной работе
4	Расчеты на усталость. Рассеяние характеристик сопротивления усталости	2			8			отчет по лабораторной работе; контрольная работа по темам 1-3
5	Трение и износ: основные понятия. Характеристики сопротивления изнашиванию при скольжении	2						собеседование
6	Трение качения и контактная усталость. Фреттинг. Расчеты на трение и износ	2			4			отчет по лабораторной работе

7	Оборудование для испытания на усталость, трение и изнашивание. Машины для износоусталостных испытаний	2			4			отчет по лабораторной работе
8	Напряженно-деформированное и предельное состояния при наличии трещин	2			10			отчет по лабораторной работе
	Всего	16			38			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Богданович А.В. Динамические задачи прикладной механики: Учебно-методич. пособие. – Минск: БГУ, 2016. – 154 с.
2. Сосновский Л.А. Основы трибофатики. – Гомель: БелГУТ, 2003. – Т.1. – 246 с., – Т.2. – 234 с.
3. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочное пособие в 2-х томах. – Киев: Наукова думка, 1987. – 1335 с.
4. Сосновский, Л.А. Трещиностойкость: монография /Л.А. Сосновский, А.В. Богданович. – Гомель: БелГУТ, 2011. – 366 с.

Перечень дополнительной литературы

5. Когаев, В.П. Прочность и износостойкость деталей машин: Учеб. пособие для вузов/ В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М: Высшая школа, 1991. – 319 с.
6. Колесников, Ю.В. Механика контактного разрушения / Ю.В. Колесников, Е.М. Морозов. – М.: Наука, 1989. – 219 с.
7. Механика разрушения на базе компьютерных технологий. Практикум / В.М. Пестриков, Е.М. Морозов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 464 с.
8. 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.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Отметка за ответы на лекциях (опрос) и выполнение отчетов по лабораторным работам включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики.

Контрольная работа выполняется по темам 1-3. Перечень вопросов и заданий для подготовки к контрольной работе преподаватель размещает заранее на образовательном портале факультета в Moodle.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную отметку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с **Положением** о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете.

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- отчеты по лабораторным работам – 50 %;
- контрольная работа – 50%.

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

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 δ^* 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 ψ -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.

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)
отсутствует			

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)

С.М.Босяков

(И.О.Фамилия)