

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям


О.Н. Здрок

« 30 » _____ 2020 г.

Регистрационный № УД- 8438 /уч.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ТРИБОФАТИКИ

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

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

Минск, 2020

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2013 и учебного плана № G31-136/уч., утвержденного 30.05.2013

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Сосновский Л.А., профессор кафедры «Локомотивы» УО «Белорусский государственный университет транспорта», доктор технических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 16.06.2020)

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 5 от 17.06.2020)

Зав.кафедрой _____



М.А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целями изучения дисциплины "Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики" являются:

а) сформировать у студентов представление о комплексном подходе к оценке и прогнозированию напряженно-деформированного состояния, долговечности, предельного состояния и поврежденности силовых систем;

б) выработать у студентов навыки расчета напряженно-деформированного состояния и объемной поврежденности силовых систем при одновременном действии контактных и неконтактных нагрузок;

в) сформировать у студентов представление о методах экспериментального исследования износоусталостных повреждений на современном уровне.

Задачи учебной дисциплины:

- знакомство трибофатики как разделом современной механики;

- знакомство с современными подходами численного решения задач трибофатики;

- формирование установки на творческую профессиональную деятельность;

- развитие профессионального мышления, которое обеспечит будущему специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, видеть проблемы и пути их решения в самостоятельной практической деятельности.

Место учебной дисциплины

Учебная дисциплина «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» относится к циклу дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами

Учебная дисциплина «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» взаимосвязана с дисциплинами «Сопротивление материалов и основы строительной механики», «Механика современных материалов», «Численные методы механики сплошной среды», «Математические методы механики деформируемого твёрдого тела и основы механики разрушения». Практические навыки, полученные при изучении дисциплины, будут полезны студентам при написании курсовых и дипломных работ, проведении исследовательских проектов, а также в самообразовании.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных **компетенций**:

академические компетенции:

- АК-3. Владеть исследовательскими навыками;
- АК-4. Уметь работать самостоятельно;
- 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;

профессиональные компетенции:

- ПК-5. Заниматься аналитической и научно-исследовательской деятельностью в области механики и прикладной математики.
- ПК-7. Проводить исследования в области эффективности решения производственных задач.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

-комплексный подход к расчету и анализу напряженно-деформированного и предельного состояния, а также повреждаемости типичных силовых систем;

-современные численные методы и технологии решения модельных задач трибофатики;

уметь:

-применять полученные знания для расчета напряженно-деформированного состояния и повреждаемости силовых систем;

- ставить и практически решать простейшие задачи расчетной оценки напряженно-деформированного состояния и поврежденности силовых систем типа диск/цилиндр, диск/кольцо и др. с учетом различных условий нагружения;

-выполнять анализ и обобщение результатов решения и моделирования, выдавать рекомендации и заключения;

владеть:

- терминологией дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики»;

- современными подходами и методами, аналитическими решениями прикладной математики для эффективного решения сложных прикладных задач трибофатики;

- современными технологиями численного моделирования и решения задач трибофатики.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5 и 6 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 126 часов, в том числе 76 аудиторных часа, из них:

5 семестр – 46 часов, аудиторных -30 часов, из них: лекции – 10 часов, лабораторные занятия – 18 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1 зачетную единицу.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет.

6 семестр – 80 часов, аудиторных -46 часов, из них: лекции – 20 часов, лабораторные занятия – 22 часа, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 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, циклическое упрочнение-разупрочнение, циклическая трещиностойкость, накопление повреждений, энергетический подход, влияние различных факторов, расчеты на прочность и долговечность.

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 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 3. Износоусталостные испытания.

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

Тема 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 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 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 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 состояние и состояние повреждаемости многокомпонентной силовой системы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Поверхностное повреждение и объемное разрушение	6			6			Устный опрос, собеседование , отчет по лабораторным работам с устной защитой
2	Напряженно-деформированное состояние силовых систем	4			6		2	Устный опрос, собеседование , отчет по лабораторным работам с устной защитой
3	Износоусталостные испытания	4			6			Устный опрос, собеседование , отчет по лабораторным работам с устной защитой
4	Предельное состояние силовых систем	4			6		2	Устный опрос, собеседование , отчет по лабораторным работам с устной защитой

5	Механика взаимодействия поврежденных	4			6			Устный опрос, собеседование , отчет по лабораторным работам с устной защитой
6	Сила и коэффициент трения	4			4		2	Устный опрос, собеседование , отчет по лабораторным работам с устной защитой
7	Моделирование механических состояний силовых систем	4			6			Устный опрос, собеседование , отчет по лабораторным работам с устной защитой
	Всего	30			40		6	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы:

1. Журавков, М.А. Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики: пособие/ М.А. Журавков, С.С. Щербаков, Д.Е. Мармыш, Л.А. Шемет, О.А. Насань. – Минск: БГУ, 2017. – 167 с.
2. Журавков М.А. Математическое моделирование деформационных процессов в твердых деформируемых средах (на примере задач механики горных пород и массивов): курс лекций. – Минск: БГУ, 2002. – 456 с.
3. Тимошенко С. П. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
4. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела: учеб. пособие для вузов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. – 712 с.
5. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
6. Сосновский Л.А. Механика износоусталостного повреждения. – Гомель: БелГУТ, 2007. – 434 с.
7. Сосновский Л.А. Основы трибофатики. –Гомель: БелГУТ, 2003. –Т.1. – 246 с., –Т.2. –234 с.
8. Сосновский Л.А., Журавков М.А., Щербаков С.С. Введение в трибофатику. – Минск, БГУ, 2010. – 77 с.
9. Сосновский Л.А., Журавков М.А., Щербаков С.С. Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики : курс лекций. – Минск: БГУ, 2011. – 488 с.
10. Сосновский Л.А., Махутов Н.А. Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. –Москва-Гомель: ФЦНТП "Безопасность" - НПО "ТРИБОФАТИКА", 2000. –304 с.
11. Богданович А.В., Сосновский Л.А. Расчет надежности системы «коленчатый вал – подшипник скольжения»: Пособие / БелГУТ. – Гомель, 2004. – 91 с.
12. Сосновский Л.А., Богданович А.В., Теория накопления износоусталостных повреждений/ под ред. Н.А. Махутова. –Гомель: НПО Трибофатика, 2000. – 60 с.

Перечень дополнительной литературы:

- 1.Щербаков С.С., Сосновский Л.А. Механика трибофатических систем. – Минск: БГУ, 2011. – 407 с.
2. Писаренко Г.С. и др. Соппротивление материалов. – Киев.: Вища школа, 1986. – 775 с.
3. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. – М.: Наука, 2001. – 478с.

4. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах. Учебник. – Минск: Вышэйшая школа, 1999. – 374 с.
5. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочное пособие в 2-х томах. – Киев: Наукова думка, 1987. – 1335 с.
6. Сосновский Л.А. Статистическая механика усталостного разрушения. – Минск: Навука і тэхніка, 1987. – 288 с.
7. Сосновский Л.А. Элементы теории вероятностей, математической статистики и теории надежности. – Учебное пособие. – Гомель: БелГУТ, 1994. – 146 с.
8. Скойбеда А.Т., Кузьмин А.В., Макейчик Н.Н. Детали машин и основы проектирования. Учебник. – Минск: Высшая школа, 2000. – 584 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

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

- отчеты по лабораторным работам и индивидуальным заданиям с устной защитой;
- устный опрос;
- собеседование.

Оценка за ответы на лекциях (опрос) и семинарских (практических) занятиях включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» учебным планом предусмотрен зачет в 5 семестре и экзамен в 6 семестре.

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

Итоговая оценка по курсу «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» формируется на основе документов:

1. Правила проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (утверждены Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 29 мая 2012 г. № 53);

2. Положение о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете (приказ ректора № 189-ОД от 31.03.2020);
3. Критерии оценки знаний и компетенций студентов по 10-балльной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь 21-04-01/105 от 22.12.2003);
4. Положение об организации аттестации лиц, не сдавших экзамены, зачеты, не прошедших иные формы контроля результатов учебной деятельности, предусмотренные учебными планами и учебными программами, и ликвидации академической разницы в учебных планах в Белорусском государственном университете (Приказ ректора БГУ 29.08.2018 №490-ОД).

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

- ответы при собеседовании, устном опросе – 40%;
- подготовка отчетов и защита лабораторных работ – 60%.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценка по текущей успеваемости составляет 40%, экзаменационная оценка – 60%.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема № 2. Напряженно-деформированное состояние силовых систем

Задание: Рассчитать и построить распределения σ_{ij} в плоскости xOy при действии равномерно распределенных поверхностных нормальных и касательных усилий нагрузок.

Форма контроля – устный опрос, собеседование.

Тема № 4. Предельное состояние силовых систем

Задание: По результатам испытаний построена кривая усталости $\sigma^3 N_\sigma = 10^{12}$.

Определить долговечность образца, если максимальные напряжения в нем $\sigma = 100$ МПа. Определить предел усталости, если при реализации всей базы испытаний $N_\sigma = 10^9$ не наступает предельное состояние (разрушение образца).

Форма контроля – устный опрос, собеседование.

Тема № 6. Сила и коэффициент трения

Задание: Полимерная муфта на стальном вале радиуса 1 см. нагружена распределенной нагрузкой 250 КН/м, допустимая удельная сила трения для муфты 5 МПа, коэффициент трения между полимером и сталью 0,4. Какова минимальная ширина муфты.

Форма контроля – устный опрос, собеседование.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики»

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

- освоение содержание 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 учебной дисциплины следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме дисциплины;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- работы, предусматривающие подготовку: отчетов по индивидуальным работам с устной защитой.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Схемы износоусталостных испытаний. Основные характеристики износоусталостного повреждения.
2. Механическая усталость. Фрикционная усталость. Контактная усталость.
3. Фрикционно-механическая усталость.
4. Контактно-механическая усталость.
5. Фреттинг усталость.
6. Прямой эффект.
7. Обратный эффект.
8. Предельные значения механических параметров силовой системы.
9. Энергетический критерий предельного состояния. Влияние контактной и внеконтактной нагрузки, температуры и коррозионных процессов на достижение предельного состояния.
10. Коэффициенты прямого и обратного эффектов.
11. Многокритериальная диаграмма и ее анализ.
12. Напряженно-деформированное состояние трибофатической системы.
13. Статистическая модель деформируемого твердого тела с опасным объемом.
14. Меры поврежденности. Масштабный эффект при механической, контактной и контактно-механической усталости.
15. Сила и коэффициент трения в силовой системе.

**ПРОТОКОЛ
СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ
СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название 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)
Математические модели механики деформированного твердого тела и основы механики разрушения	Теоретической и прикладной механики	Нет	Вносить изменения не требуется (протокол №11 от 16.06.2020 г.)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ

на ____ / ____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
Теоретической и прикладной механики (протокол №11 от 16.06.2020г.)

Заведующий кафедрой

д-р физ.-мат. наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

(подпись) М.А. Журавков
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

д-р физ.-мат. наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

(подпись) С.М. Босяков
(И.О.Фамилия)