

с/к 3к.

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе БГУ

А.М. Толстик

Регистрационный № УД- 1061 / 84



Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики

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

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2013 (30.08.2013г.) и учебного плана № G31-136/уч. (30.05.2013 г.) для специальности 1-31 03 02 Механика и математическое моделирование.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Щербаков Сергей Сергеевич, доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Чигарев Анатолий Власович, зав. кафедрой теоретической механики Белорусского национально-технического университета, доктор физико-математических наук, профессор.

Михасев Геннадий Иванович, зав. кафедрой био- и наномеханики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики
(протокол № 10 от 21.05.2015)

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 6 от 26.05.2015)



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

В рамках курса «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» 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. Для данных систем изучаются 1) методы расчета их напряженно-деформированного состояния в условиях сложного нагружения, 2) способы определения предельного состояния по различным критериям (механической, контактной и фрикционной усталости), 3) методы расчета объемной поврежденности элементов системы.

Поскольку силовая система подвержена одновременному воздействию как контактных, так и неконтактных нагрузок, то объединенное напряженное состояние изучается в виде суперпозиции напряженных состояний, обусловленных отдельными граничными условиями. В силу того, что в силовых системах, как правило, реализуется трехмерное контактное взаимодействие, то постановка задачи определения объединенного напряженно-деформированного состояния также является трехмерной.

В программу курса включен обзор методов износоусталостных испытаний и получаемых в результате их проведения характеристик. В частности, рассматриваются влияние процессов трения и износа на сопротивление механической усталости, а также изменение характеристик трения (момента, силы, коэффициента трения) в результате упругого неконтактного деформирования элементов силовых систем.

Связь расчетных и экспериментальных методик исследования силовых систем показана на примере задачи определения изменении условий контактного взаимодействия (контактных граничных условий) вследствие неконтактного изгиба одного из контактирующих элементов.

Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии силовой системы позволяет перейти к решению практически задачи оценки ее поврежденности. В силу сложного характера объемного распределения полей напряжений и деформаций данная задача решается с помощью модели деформируемого твердого тела с опасным объемом. В общем случае опасные объемы представляет собой трехмерные области, где напряжения достигают повреждающего уровня.

Дисциплина тесно связана с курсом «Сопротивление материалов и основы строительной механики»

Цель курса "Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики": ознакомление студентов, специализирующихся по кафедре теоретической и прикладной механики, с основными задачами возникающими при комплексном нагружении силовых систем.

Образовательная цель: изучить методы расчета напряженно-деформированного состояния в условиях сложного нагружения, способы определения предельного состояния по различным критериям (механической, контактной и фрикционной усталости), методы расчета объемной поврежденности элементов системы.

Развивающая цель: освоение и апробация фундаментальных и прикладных методов применительно к исследованиям механических процессов в силовых системах.

Основные задачи:

- 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.

В результате изучения курса «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» обучаемый студент должен:

Знать:

- комплексный подход к расчету и анализу напряженно-деформированного и предельного состояния, а также поврежденности типичных силовых систем;
- методы и подходы оценки поврежденности типичных силовых систем.

Уметь:

- 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;
- экспериментально определять важнейшие характеристики сопротивления износоусталостным повреждениям.

Владеть:

- методами анализа напряженно-деформированного состояния трибофатических систем;
- навыками анализа повреждаемости систем, работающих в условиях комплексного нагружения.

Учебная дисциплина УВО «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» предназначена для студентов 3 курса дневной формы получения образования.

В соответствии с учебным планом специальности на изучение дисциплины отводится 125 часов, в том числе 75 часов аудиторных занятий:

3 курс 5 семестр: лекции – 14 часов, практические занятия – 14 часов, УСП – 2 часа, рекомендуемая форма отчетности – зачёт.

3 курс 6 семестр: лекции – 20 часов, практические занятия – 22 часа, УСП – 3 часа, рекомендуемая форма отчетности – 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.

Соппротивление 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 состояния и состояние повреждаемости многокомпонентной силовой системы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия: перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Количество часов по УСР	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	иное		
1	2	3	4	5	6	7	8
	Фундаментальные и прикладные задачи трибофаттики	34	36			5	
1	Тема 1. Общие понятия трибофаттики. Сопротивление усталости. Контактная задача. Износ и долговечность. Надежность. Прочность материалов в конструкциях. Методология трибофаттики.	6	6				
2	Тема 2. Объединенное плоское и пространственное НДС силовой системы. Методы численно-аналитического расчета и конечноэлементного компьютерного моделирования силовых систем диск/цилиндр, диск/кольцо в двумерной и трехмерной постановке.	4	6				Проверка индивидуальных заданий
3	Тема 3. Основные схемы испытаний и характеристики износоустойчивости повреждения. Фрикционно-механическая и контактно-механическая усталость: прямой и обратный эффекты.	4	4				
4	Тема 4. Предельные значения механических параметров силовой системы. Энергетический критерий предельного состояния. Влияние контактной и внеконтактной нагрузки,	4	6			2	Контрольная работа

	температуры и коррозионных процессов на достижение предельного состояния. Коэффициенты прямого и обратного эффектов. Многокритериальная диаграмма и ее анализ.					
5	Тема 5. 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	6	6		1	Тесты
6	Тема 6. 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	6	6			Проверка индивидуальных заданий
7	Тема 7. Сосредоточенные нормальная и касательная к плоскости и полупространству силы, распределенные по полуплоскости и полупространству нормальные и касательные усилия, вдавливание жесткого штампа с заданной формой основания, расчет напряженно-деформированного состояния и состояние повреждаемости многокомпонентной силовой системы.	4	6		2	Контрольная работа

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

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

Дополнительная:

1. Щербаков С.С., Сосновский Л.А. Механика трибофатических систем. – Минск: БГУ, 2011. – 407 с.
2. Писаренко Г.С. и др. Сопротивление 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. Троценко 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.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов - это любая деятельность, связанная с воспитанием мышления будущего профессионала. В широком смысле под самостоятельной работой следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне её, в контакте с преподавателем и в его отсутствии.

Самостоятельная работа реализуется:

1. Непосредственно в процессе аудиторных занятий - на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ.
2. В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
3. В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных и творческих задач.

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.

Виды внеаудиторной самостоятельной работы студентов разнообразны: подготовка и написание рефератов, докладов, очерков и других письменных работ на заданные темы.

Аудиторная самостоятельная работа может реализовываться при проведении практических занятий, семинаров, выполнении лабораторного практикума и во время чтения лекций.

При чтении лекционного курса непосредственно в аудитории необходимо контролировать усвоение материала основной массой студентов путем проведения экспресс-опросов по конкретным темам.

На практических и семинарских занятиях различные виды самостоятельной работы студентов позволяют сделать процесс обучения более интересным и поднять активность значительной части студентов в группе.

На практических занятиях нужно не менее 1 часа из двух (50% времени) отводить на самостоятельное решение задач. Практические занятия целесообразно строить следующим образом: 1. Вводное слово преподавателя (цели занятия, основные вопросы, которые должны быть рассмотрены). 2. Беглый опрос. 3. Решение 1-2 типовых задач. 4. Самостоятельное решение задач. 5. Разбор типовых ошибок при решении (в конце текущего занятия или в начале следующего).

Результативность самостоятельной работы студентов во многом определяется наличием активных методов ее контроля. Существуют следующие виды контроля:

- входной контроль знаний и умений студентов при начале изучения очередной дисциплины;
- текущий контроль, то есть регулярное отслеживание уровня усвоения материала на лекциях, практических и лабораторных занятиях;
- промежуточный контроль по окончании изучения раздела или модуля курса;
- самоконтроль, осуществляемый студентом в процессе изучения дисциплины при подготовке к контрольным мероприятиям;
- итоговый контроль по дисциплине в виде зачета или экзамена;
- контроль остаточных знаний и умений спустя определенное время после завершения изучения дисциплины.

ДИАГНОСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Для диагностики используются письменные проверка индивидуальных заданий, контрольные работы, тестирование.

Пример теста

1 Статический момент относительно оси x :

$$1) S_x = \int_A y dA ;$$

$$2) J_x = \int_A y^2 dA ;$$

$$3) W_x = \frac{J_x}{y_{\max}} .$$

2 Статический момент S_y изображенного сечения:

$$1) S_y = \frac{hb^2}{2} ;$$

$$2) S_y = \frac{hb^2}{4} ;$$

$$3) S_y = 0 .$$

3 Статические моменты S_x , S_y равны нулю относительно:

1) главных осей инерции;

2) центральных осей инерции;

3) декартовых осей координат.

4 Статический момент S_x изображенного сечения

$$1) S_x = \frac{hb^2}{2} ;$$

$$2) S_x = \frac{hb^2}{4} ;$$

$$3) S_x = 0 .$$

5 Координаты центра тяжести плоского сечения:

$$1) W_x = J_x / y_{\max} , \quad W_y = J_y / x_{\max} ;$$

$$2) J_x = W_x y_{\max} , \quad J_y = W_y x_{\max} ;$$

$$3) x_c = S_y / A , \quad y_c = S_x / A .$$

6 Статические моменты плоского сечения:

$$1) J_x = W_x y_{\max} , \quad J_y = W_y x_{\max} ;$$

$$2) S_x = y_c A , \quad S_y = x_c A ;$$

$$3) W_x = J_x / y_{\max} , \quad W_y = J_y / x_{\max} .$$

7 Размерность статических моментов S_x , S_y :

$$1) \text{м}^3$$

$$2) \text{м}^4 ;$$

3) они безразмерны.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

[illegible]

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
на _____ / _____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № _____ от _____ 20_ г.)

Заведующий кафедрой

д-р физ.-мат. наук,

профессор

(степень, звание)

_____ (подпись)

М.А.Журавков

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

к-т физ.-мат. наук,

доцент

(степень, звание)

_____ (подпись)

Д.Г.Медведев

(И.О.Фамилия)

РЕЦЕНЗИЯ
на учебную программу
дисциплины «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики»
(специальности 1-31 03 02 «Механика»)
(автор: Щербаков С.С.)

Учебная программа «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» для студентов специальности 1-31 03 02 «Механика» полностью отвечает всем требованиям, предъявляемым учебным программам. В ней определена структура и содержание подготовки будущих специалистов-механиков по тем разделам трибофатики, которые в нее включены в соответствии с образовательным стандартом.

В программе содержится пояснительная записка, тематический план, содержание учебной дисциплины и список основной и дополнительной литературы.

В пояснительной записке содержится характеристика учебной дисциплины и обоснование необходимости каждого из разделов программы для обеспечения высокого уровня подготовки будущих специалистов. Показана необходимость курса для изучения пространственного напряженно-деформированного состояния, а также состояния объемной повреждаемости силовых систем.

Учебный материал программы структурирован по семи темам:

- поверхностное повреждение и объемное разрушение,
- напряженно-деформированное состояние силовых систем,
- износоусталостные испытания,
- предельное состояние силовых систем,
- механика взаимодействия повреждений,
- сила и коэффициент трения,
- моделирование механических состояний силовых систем.

Предлагаемая программа обеспечивает требуемую фундаментальность при подготовке специалиста-механика и умение решать прикладные задачи анализа ответственных технических систем, согласуется с программами по другим механическим и математическим предметам.

Программа курса «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» в полной мере соответствует образовательному стандарту для специальности «Механика».

Рецензент:

доктор физико-математических наук, профессор,
зав. кафедрой теоретической механики БНТУ

А.В. Чигарев



РЕЦЕНЗИЯ

на учебную программу дисциплины «Фундаментальные и
прикладные задачи трибофатики»
специальность 1-31 03 02 «Механика», автор: Щербаков С.С.

Программа «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» для студентов специальности 1-31 03 02 «Механика» соответствует всем требованиям, предъявляемым учебным программам. Данной программой в соответствии с образовательным стандартом определяется структура и содержание подготовки будущих специалистов-механиков по тем разделам механики силовых систем (трибофатики), которые в нее включены.

Программа содержит пояснительную записку, тематический план, содержание учебной дисциплины и список основной и дополнительной литературы.

Пояснительная записка содержит характеристику учебной дисциплины и обоснование необходимости каждого из разделов программы для обеспечения высокого уровня подготовки будущих специалистов-механиков. Продемонстрирована необходимость курса для изучения моделей пространственного напряженно-деформированного состояния, состояния объемной повреждаемости, а также многокритериальных предельных состояний силовых систем.

Содержащийся в программе учебный материал разбит на семь тем: поверхностное повреждение и объемное разрушение, напряженно-деформированное состояние силовых систем, износоусталостные испытания, предельное состояние силовых систем, механика взаимодействия повреждений, сила и коэффициент трения, моделирование механических состояний силовых систем.

Программа позволяет обеспечить требуемую фундаментальную подготовку специалиста в области механики и приобретение им навыков решения прикладных задач оценки механических состояний силовых систем. Рецензируемая программа согласуется с программами по другим механическим и математическим предметам.

По моему мнению, программа курса «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики» полностью соответствует образовательному стандарту специальности «Механика».

Рецензент:

доктор физико-математических наук, профессор,
зав. кафедрой зав. кафедрой
био- и наномеханики БГУ

Г.И. Михасёв

ПОДПИСЬ	<i>Михасёв Г.И.</i>
Начальник управления	
организационной работы и	
документационного обеспечения	<i>Щербаков С.С.</i>
« 01 »	06 2015 г.