Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 20.05.2024 11:07:00
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
_____ /М.Р. Рыбакова/
«15» февраля 2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование технических систем

Направление подготовки/специальность
01.03.02 Прикладная математика и информатика

Профиль/специализация
Программирование и интеллектуальные системы управления транспортом

Квалификация
бакалавр

Формы обучения
очная

Москва, 2024 г

Разработчик(и):

Профессор, д.т.н.  /О.А. Русанов/

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»,
д.ф-м.н., доцент  /А.А. Скворцов/

1 Цели и задачи дисциплины

1.1 Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины «Математическое моделирование технических систем» является:

– формирование знаний о современных методах математического моделирования сложных конструкций транспортно-технологических комплексов для исследования их напряженно-деформированного состояния и прочностных характеристик, численных алгоритмах, применяемых в задачах математического моделирования, освоение предназначенного для этого универсального программного обеспечения метода конечных элементов;

- подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой специалистов по направлению 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

1.2 Задачи дисциплины

Задачами дисциплины «Математическое моделирование технических систем» являются:

- ознакомление студентов с широко применяемыми методами и подходами математического моделирования для исследования напряженно-деформированного состояния и обеспечения прочности конструкций транспортно-технологических комплексов, ознакомление с критериями для оценки прочности конструкций машин, ознакомление с возможностями современных программных системам математического моделирования.

- знакомство с методами получения нагрузок для моделирования напряженно-деформированного состояния и расчета на прочность несущих систем машин, изучение критериев оценки прочности, изучение специальных вопросов оптимального проектирования конструкций транспортно-технологических комплексов, освоение методик расчета и проектирования на основе современного программного обеспечения моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций.

- знакомство с основами расчетного математического моделирования конструкций наземных транспортных машин с использованием одной из универсальных программ метода конечных элементов и одной из универсальных программ трехмерного автоматизированного проектирования.

2 Место дисциплины в структуре основных образовательных программ

Дисциплина «Математическое моделирование технических систем» относится к обязательной части основной образовательной программы (ООП) по направлению 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Предшествующими курсами, на которых базируется дисциплина «Математическое моделирование технических систем» являются:

- линейная алгебра;
- метод конечных элементов;
- аналитическая динамика и теория колебаний;

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен обладать следующими профессиональными (ПК и ПСК) компетенциями:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-3.	Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности	**знать:** • базовые теоретические основы математического моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности конструкций. **уметь:** • проявлять творческий подход при разработке расчетных моделей транспортно-технологических комплексов для выполнения математического моделирования их напряженно-деформированного состояния и оценки прочности; • самостоятельно осваивать новые возможности развивающихся программных продуктов математического моделирования. **владеть:** • навыками использования программных средств математического моделирования конструкций для анализа напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.

4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы, т.е. **180** академических часов (из них 116 часов – самостоятельная работа студентов).

Дисциплина читается на третьем и четвертом курса в шестом, седьмом и восьмом семестрах. Проводятся лекции – 18 часов и практические занятия – 160 часов, форма контроля – зачет и экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Математическое моделирование технических систем» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины.

Тема 1. Способы моделирования несущих конструкций для расчета напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.

Виды расчетных схем несущих конструкций транспортно-технологических комплексов. Особенности моделирования элементов и узлов несущих конструкций транспортно-технологических комплексов. Сопоставление типичных расчетных моделей, видов нагружения, методов исследования НДС и критериев оценки прочности реальных несущих конструкций автомобилей и тракторов с расчетными схемами, видами нагрузок, методами расчета НДС и критериями оценки прочности, изучаемыми студентами в курсе сопротивления материалов. Этапы создания расчетных схем несущих систем. Особенности расчетных схем несущих систем и способы моделирования. Методы исследования концентрации напряжений с помощью метода конечных элементов в несущих конструкциях транспортно-технологических комплексов. Основные этапы выполнения расчетного анализа напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Погрешности при расчетах методом конечных элементов несущих конструкций мобильных машин. Преимущества и недостатки расчетных подходов при обеспечении прочности несущих систем мобильных машин. Пути повышения точности конечно- элементного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций автомобилей и тракторов.

Тема 2. Виды предельного состояния несущих конструкций и критерии оценки прочности.

Прочность при статическом нагружении. Гипотезы прочности. Усталостная прочность. Кривая усталости. Малоцикловая, многоцикловая усталость, неограниченная долговечность. Уравнение кривой усталости в степенной форме. Предел выносливости образца при симметричном цикле. Предел выносливости детали. Факторы, влияющие на изменение предела выносливости детали по отношению к пределу выносливости образца. Влияние асимметрии цикла нагружения на характеристики сопротивления усталости. Диаграмма предельных амплитуд. Коэффициент запаса прочности по критерию сопротивления усталости. Накопление повреждений в конструкции. Гипотеза линейного суммирования повреждений. Расчет долговечности детали с использованием гипотезы линейного суммирования повреждений. Методы схематизации случайных процессов нагружения. Расчеты конструкций на усталостную прочность. Предельные состояния при потере устойчивости. Предельное состояние по критерию износа. Предельное состояние по критерию коррозии.

Тема 3. Методы определения нагрузок для моделирования и расчета на прочность несущих конструкций. Расчет на прочность в вероятностной постановке.

Типичные наиболее тяжелые режимы нагружения несущих конструкций мобильных машин при эксплуатации. Методы испытаний для исследования нагрузочных режимов. Методы оценки параметров случайных процессов наргужения. Оценка прочности несущих конструкций мобильных машин при случайных нагрузках. Понятие вероятности неразрушения. Связь значений коэффициентов запаса прочности, вычисленных в традиционной детерминированной постановке, со значениями коэффициентов запаса прочности, вычисленных в вероятностной постановке.

Тема 4. Особенности расчета на прочность сварных конструкций.

Типы сварных соединений и их свойства. Предельные состояния сварных соединений. Концентрация напряжений в сварных соединениях. Испытания сварных соединений. Методы расчета на прочность сварных конструкций. Особенности расчета на прочность сварных конструкций. Особенности моделирования сварных узлов несущих систем. Концентрация напряжений в сварных конструкциях кузовов автомобилей. Применение метода конечных элементов для исследования концентрации напряжений в сварных конструкциях. Причины появления усталостных повреждений в сварных конструкциях

Тема 5. Конструкторско-технологические методы повышения прочности сварных.

Правила конструирования сварных узлов несущих несущих конструкций транспортно-технологических комплексов с улучшенными характеристиками прочности. Технологические меры повышения прочности сварных конструкций.

Тема 6. Структурная механика композиционных материалов, применяемых в несущих конструкциях

Сравнение композиционных материалов с конструкционными сталями и сплавами по показателям удельной прочности и удельной жесткости. Классификации композиционных материалов по типу матрицы, по типу армирующих волокон, по типу армирования. Механические свойства композиционных материалов.

Тема 7. Методы чувствительности в задачах оптимального проектирования конструкций.

Оптимальное проектирование конструкций транспортно-технологических комплексов на основе анализа чувствительности. Применение метода конечных элементов для анализа чувствительности. Метод расчета чувствительности в статических задачах. Прямой метод дифференцирования. Метод сопряженных переменных. Анализ чувствительности в задачах на собственные значения. Оптимизация частот собственных колебаний. Максимизация критических нагрузок потери устойчивости.

Метод чувствительности при проектировании формы конструкции в задачах статического нагружения конструкций транспортно-технологических комплексов. Материальная производная. Форма, как параметр проектирования. Параметрическое представление границ. Чувствительность при проектировании формы конструкции в задачах определения собственных частот колебаний и критических нагрузок потери устойчивости.

Метод конечных элементов в задачах оптимизации конструкций транспортно-технологических комплексов. Процедуры решения задачи оптимизации на основе метода конечных элементов с применением алгоритмов нелинейного программирования.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Математическое моделирование транспортно-технологических комплексов» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков, обучающихся:

– подготовка к выполнению практических занятий в компьютерных лабораториях вуза;

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;

– организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования;

– проведение мастер-классов экспертов и специалистов в области численных методов и нелинейной механики.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- подготовка к выполнению расчетных модельных задач на практических занятиях и их защита.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины.

Образцы тестовых заданий, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, приведены в приложении 2.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.
В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
ОПК-3.	Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания.

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ОПК-3. Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности				
Показатель	**Критерии оценивания**			
	2	**3**	**4**	**5**
знать: базовые теоретические основы математического моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности конструкций.	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний базовых теоретических основ математического моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности конструкций.	Обучающийся демонстрирует неполные теоретические знания в области базовых теоретических основ математического моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности конструкций. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний,	Обучающийся демонстрирует частичные теоретические знания в области базовых теоретических основ математического моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности конструкций, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических	Обучающийся демонстрирует полные теоретические знания в области базовых теоретических основ математического моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности

		по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	операциях.	конструкций, свободно оперирует приобретённым и знаниями.
уметь: проявлять творческий подход при разработке расчетных моделей для выполнения математического моделирования их напряженно-деформированного состояния и оценки прочности; самостоятельно осваивать новые возможности развивающихся программных продуктов математического моделирования.	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет: проявлять творческий подход при разработке расчетных моделей для выполнения математического моделирования их напряженно-деформированного состояния и оценки прочности; самостоятельно осваивать новые возможности развивающихся программных продуктов математического моделирования.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: проявлять творческий подход при разработке расчетных моделей для выполнения математического моделирования их напряженно-деформированного состояния и оценки прочности; самостоятельно осваивать новые возможности развивающихся программных продуктов математического моделирования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: проявлять творческий подход при разработке расчетных моделей для выполнения математического моделирования их напряженно-деформированного состояния и оценки прочности; самостоятельно осваивать новые возможности развивающихся программных продуктов математического моделирования. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: проявлять творческий подход при разработке расчетных моделей для выполнения математического моделирования их напряженно-деформированного состояния и оценки прочности; самостоятельно осваивать новые возможности развивающихся программных продуктов математического моделирования. Свободно оперирует приобретенным и умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

владеть: навыками использования программных средств математического моделирования конструкций для анализа напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками использования программных средств математического моделирования конструкций для анализа напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.	Обучающийся не в полной мере владеет навыками использования программных средств математического моделирования конструкций для анализа напряженно-деформированного состояния и оценки прочности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет навыками использования программных средств математического моделирования конструкций для анализа напряженно-деформированного состояния и оценки прочности. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет навыками использования программных средств математического моделирования конструкций для анализа напряженно-деформированного состояния и оценки прочности. Свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: зачет, экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине: прошли промежуточный контроль.

Шкала оценивания	**Описание**
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации или обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков по предмету. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации или обучающийся демонстрирует значительные ошибки, проявляет недостаточность знаний, умений и владения навыками по нескольким темам предмета. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении умений и навыков в новых ситуациях.

Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».,

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине прошли промежуточный контроль.

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков по предмету. Навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Обучающийся демонстрирует значительные ошибки, проявляет недостаточность знаний, умений и владения навыками по

	нескольким темам предмета. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении умений и навыков в новых ситуациях.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложении 4 к рабочей программе.

Фонды оценочных средств представлены в приложении 2 к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература:

Зализняк, В. Е. Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов / В. Е. Зализняк, О. А. Золотов. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 133 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12249-7.
URL: https://urait.ru/bcode/476288

б) дополнительная литература:

Бордовский, Г. А. Физические основы математического моделирования : учебник и практикум для вузов / Г. А. Бордовский, А. С. Кондратьев, А. Чоудери. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 319 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05365-4.
URL: https://urait.ru/bcode/452264

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Программное обеспечение:

- универсальная программа метода конечных элементов, применяемая на предприятиях машиностроения;
- универсальная программа 3-D проектирования, применяемая на предприятиях машиностроения;
- офисное программное обеспечение.

Интернет-ресурсы не предусмотрены.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

- Аудитория для лекционных и практических занятий: столы учебные со скамьями, аудиторная доска, настенный проекционный экран. Рабочее место преподавателя: стол, стул.
- Компьютерный класс: столы, стулья, маркерная доска, компьютеры с прикладным тематическим программным обеспечением, подвесной проектор с интерактивной доской. Рабочее место преподавателя: стол, стул, компьютер.

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов.

Задачами самостоятельной работы студентов являются:

1. Систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
2. Углубление и расширение теоретической подготовки;
3. Формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
4. Развитие познавательных способностей и активности студентов, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
5. Использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на практических занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и с материалами, полученными на лекционных, практических занятиях и лабораторных работах. Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

На основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных терминов, положений и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения разделов дисциплины. Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать, перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям

спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.
Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем-консультантом и студентами, направленное на разрешение проблем и внесение позитивных изменений в деятельность студентов.

9.1 Методические указания по выполнению и оформлению выполненных практических заданий по дисциплине «Математическое моделирование технических систем»

9.1.1 Требования к оформлению выполненных практических заданий

- Выполненное практическое задание должно быть оформлено на листах формата А4 со следующими полями:
  - Левое - 25 мм.
  - Верхнее - 15 мм.
  - Правое - 15 мм.
  - Нижнее - 15 мм.
- Выполненное практическое задание должно иметь титульный лист. Пример оформления титульного листа показан в приложении.
- Выполненное практическое задание должно содержать следующие разделы:
  - Содержание.
  - Введение.
  - Основная часть.
  - Заключение.
  - Список использованной литературы.
  - Приложения (не являются обязательной частью отчета).
- Страницы отчета должны быть пронумерованы. Нумерация начинается со второй страницы. На титульном листе номер странице не проставляется.
- В основной части находятся все пронумерованные главы, параграфы и подпараграфы.

Нумерация параграфов и подпараграфов производятся следующим образом:

- Первая цифра обозначает номер главы.
- Вторая цифра - порядковый номер параграфа.
- Третья цифра - порядковый номер подпараграфа.

Например, параграф 2 и подпараграф 5 параграфа 2 главы 3:

- **III Описание расчетной схемы**
- **3.2 Граничные условия**
- **3.2.5 Граничные условия по перемещениям**

Нумерация рисунков производится следующим образом:

- Первая цифра обозначает номер главы.
- Вторая цифра - порядковый номер рисунка в главе.

Например, рисунок в главе 3, имеющий порядковый номер 11:

- Рис. 3.11. Диалоговое окно ввода исходных данных

Точка в конце названия главы, параграфа, подпараграфа и рисунка не ставится. Название главы пишется заглавными полужирными буквами.

Названия параграфов и подпараграфов пишутся строчными полужирными буквами, за исключением первой буквы, заглавной.

Подпараграфы могут быть выделены курсивом.

- Нумерация использованной литературы производится либо в алфавитном порядке, либо по мере ссылок на нее в тексте курсовой работы.

Примеры оформления литературы.

Книги:

- Бидерман В.Л. – Теория механических колебаний. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.
- Bathe K.J. – Finite Element Procedures. Prentice Hall, 1996. - 1037 p.

Журналы:

- Борисов Ю.С., Благовещенский Ю.Н., Дмитриченко С.С., Панкратов Н.М. Анализ применимости уравнений и исследование формы кривой усталости // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, №10, 2000. С. 41-52.
- Bator J.L., Bathe K.J., Ho L.W. A study of three-node triangular plate bending elements // Int. J. Numer. Meth. Engng, v.15, 1980. P. 1771 – 1812.

9.1.2 Требования к содержанию разделов выполненных практических заданий

1. В **содержании** должны быть представлены названия всех глав, параграфов и подпараграфов с указанием номеров начальных страниц.

2. Во **введении** обосновывается актуальность и ставится цель работы, перечисляются решаемые задачи и дается краткое содержание всех глав. Для курсового проекта, содержащего конкретные задачи, дается постановка задач.

   Теоретическая работа может носить описательный или методический характер.

3. В **основной части** подробно описывается последовательность решения задачи.

   Примерный план основной части

   - Постановка задачи. Сведения об объекте исследования и области машиностроения.
   - Теоретические основы решения задачи, используемые алгоритмы.
   - Описание программного обеспечения
   - Исходные данные, описание расчетной схемы.
   - Характеристики модели МКЭ. Количество элементов, узлов, степеней свободы.
   - Описание типов конечных элементов.
   - Информация об условиях закрепления и нагружения.
   - Последовательность формирования модели средствами программы МКЭ, особенности подготовки модели.
   - Информация о процессе решения задачи.
   - Сведения о компьютере, характеристиках программы МКЭ (название, версия, возможности), необходимых вычислительных ресурсах, времени решения.
   - Анализ результатов расчетов.

4. В **заключении** дается краткая оценка и основные выводы выполненной работы.

5. В **приложение** выносится информационный материал, не требующий детального рассмотрения в основной части (например, таблицы, графики, рисунки, листинги программ и т.п.)

9.1.3 Требования к выполнению практических заданий

1. Практическое задание должно быть оформлено согласно требованиям указанным выше.
2. Содержание практического задания должно соответствовать перечисленным выше требованиям.
3. Практическое задание должно быть сдано за две недели до окончания семестра.

10. Методические рекомендации для преподавателя

Взаимодействие преподавателя со студентами можно разделить на несколько составляющих – лекционные, практические и лабораторные занятия и консультирование. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- четко представлять себе, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- познакомится с видами учебной работы;
- изучить содержание разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и

содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических и лабораторных занятий - обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного, лабораторного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Экзамен или зачет по дисциплине проводится в форме письменного экзамена с последующей индивидуальной беседой со студентом на основе вопросов, сформулированных в зачетных или экзаменационных билетах. В билет вносится два теоретических и один практический вопрос из различных разделов дисциплины для более полной проверки знаний студентов. Оценка выставляется преподавателем и объявляется после ответа. Преподаватель принимающий зачет или экзамен лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

Приложение 1.

Структура и содержание дисциплины «Математическое моделирование технических систем» по направлению 01.03.02 Прикладная математика и информатика (бакалавр)

n/n	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
				Л	П/С	Лаб	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реферат	К/р	Э	З
Шестой семестр															
1.1	***Тема 1. Способы моделирования несущих конструкций для расчета напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.***	6	1-6	6	12		18								
1.2	***Тема 2. Виды предельного состояния несущих конструкций и критерии оценки прочности.***	6	7-12	6	12		18								
1.3	***Тема 3. Методы определения нагрузок для моделирования и расчета на прочность несущих конструкций. Расчет на прочность в вероятностной постановке.***	6	13-18	6	12		18								
Форма аттестации															+
Всего часов по дисциплине в шестом семестре				18	36		54								
Седьмой семестр															
1.4	***Тема 4. Особенности расчета на прочность сварных конструкций.***	7	1-6		18		18								

1.5	***Тема 5. Конструкторско-технологические методы повышения прочности сварных конструкций.***	**7**	**7-12**		**18**		**18**								
1.6	***Тема 6. Структурная механика композиционных материалов, применяемых в несущих конструкциях.***	**7**	**13-18**		**18**		**18**								
Форма аттестации															+
Всего часов по дисциплине в шестом семестре					**54**		**54**								
Восьмой семестр															
1.7	***Тема 7. Методы чувствительности в задачах оптимального проектирования конструкций.***	**8**	**1-2**		**12**		**30**								
1.8	***Тема 8 Оптимальное проектирование конструкций на основе анализа чувствительности. Применение метода конечных элементов для анализа чувствительности. Метод расчета чувствительности в статических задачах. Прямой метод дифференцирования. Метод сопряженных переменных. Анализ чувствительности в задачах на собственные значения. Метод конечных элементов в задачах оптимизации конструкций транспортно-технологических комплексов. Процедуры решения задачи оптимизации на основе***	**8**	**3-10**		**58**		**116**								

	метода конечных элементов с применением алгоритмов нелинейного программирования Оптимизация частот собственных колебаний. Максимизация критических нагрузок потери устойчивости.														
Форма аттестации															**Э**
Всего часов по дисциплине в восьмом семестре					**70**		**146**								
Всего часов по дисциплине во всех семестрах				**18**	**160**		**254**								

Приложение 1 к
рабочей программе

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление: ***01.03.02. Прикладная математика и информатика***
(Интеллектуальные системы управления транспортом)
Форма обучения: очная
Вид профессиональной деятельности: (В соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра: ***Динамика, прочность машин и сопротивление материалов***

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«Математическое моделирование технических систем»

Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств

2. Описание оценочных средств:

Экзаменационные задания.
Перечень вопросов для контроля знаний

Москва, 2024 год

Таблица 1

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Математическое моделирование технических систем					
ФГОС ВО 3					
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие **общепрофессиональные и профессиональные компетенции**:					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования компетенций**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИН-ДЕКС	**ФОРМУЛИРОВ-КА**				
ОПК-3.	Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности	**знать:** базовые теоретические основы математического моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности конструкций. **уметь:** проявлять творческий подход при разработке расчетных моделей для выполнения математического моделирования их напряженно-деформированного состояния и оценки прочности; самостоятельно осваивать новые возможности развивающихся программных продуктов математического моделирования. **владеть:** навыками использования программных средств математического моделирования конструкций для анализа напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.	самостоятельная работа, практические занятия, лабораторные работы	УО,	**Базовый уровень** - способен *работать с компьютером (в том числе в режиме удаленного доступа) и с программными средствами общего и специального назначения для решения задач динамического анализа конструкций* **Повышенный уровень** - способен *самостоятельно работать с компьютером (в том числе в режиме удаленного доступа) и с программными средствами общего и специального назначения для решения задач динамического анализа конструкций;* - способен *самостоятельно составлять расчетные модели основных конструктивных элементов машин для динамического анализа и выполнять на ЭВМ расчеты колебательных и ударных процессов в конструкции.*

Приложение 2
к рабочей программе

Перечень оценочных средств по дисциплине «Математическое моделирование технических систем»

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Устный опрос собеседование, (УО)	Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам/разделам дисциплины

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ УСТНОГО ОПРОСА
по дисциплине:

«Математическое моделирование технических систем»

Вопросы для контроля знаний

1. Обзор типов несущих систем мобильных машин, как объекта для анализа напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.
2. Сопоставление типичных расчетных моделей, видов нагружения, методов исследования НДС и критериев оценки прочности реальных несущих конструкций автомобилей и тракторов с расчетными схемами, видами нагрузок, методами расчета НДС и критериями оценки прочности, изучаемыми студентами в курсе сопротивления материалов.
3. Основные направления работ по обеспечению прочности кузовов и рам автомобилей и тракторов.
4. Виды предельного состояния несущих систем машин и критерии оценки прочности.
5. Прочность при статическом нагружении. Гипотезы прочности.
6. Понятие об усталостной прочности.
7. Кривая усталости.
8. Уравнение кривой усталости в степенной форме.
9. Малоцикловая, многоцикловая усталость, неограниченная долговечность.
10. Коэффициент асимметрии цикла.
11. Предел выносливости образца при симметричном цикле. Предел выносливости детали.
12. Факторы, влияющие на изменение предела выносливости детали по отношению к пределу выносливости образца.
13. Влияние асимметрии цикла нагружения на характеристики сопротивления усталости.
14. Диаграмма предельных амплитуд.
15. Коэффициент запаса прочности по критерию сопротивления усталости.
16. Накопление повреждений в конструкции. Гипотеза линейного суммирования повреждений.
17. Расчет долговечности детали с использованием гипотезы линейного суммирования повреждений.
18. Расчеты конструкций на усталостную прочность.
19. Предельные состояния при потере устойчивости.

20. Предельные состояния по критериям износа, коррозии.
21. Методы определения нагрузок для расчета на прочность несущих систем автомобилей и тракторов
22. Типичные наиболее тяжелые режимы нагружения несущих конструкций мобильных машин при эксплуатации.
23. Испытания машин для исследования нагрузочных режимов.
24. Коэффициент нерегулярности случайного процесса наргужения.
25. Методы схематизации случайных процессов нагружения.
26. Методы схематизации – максимумов, минимумов.
27. Метод схематизации - экстремумов.
28. Метод схематизации – однопараметрический метод размахов.
29. Метод схематизации – двухпараметрический метод размахов.
30. Метод схематизации - полных циклов Дмитриченко С.С..
31. Метод схематизации - потока дождя
32. Оценка прочности несущих конструкций мобильных машин при случайных нагрузках.
33. Способы моделирования конструкций рам и кузовов автомобилей и тракторов для расчета напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.
34. Виды расчетных схем несущих систем мобильных машин.
35. Особенности моделирования элементов и узлов несущих систем мобильных машин.
36. Особенности расчетных схем несущих систем мобильных машин (на примере кузова автомобиля) и способы моделирования.
37. Исследование концентрации напряжений в элементах кузова автомобиля с помощью метода конечных элементов.
38. Основные этапы выполнения расчетного анализа кузовов автомобилей методом конечных элементов.
39. Погрешности при расчетах методом конечных элементов несущих конструкций мобильных машин.
40. Преимущества и недостатки расчетных подходов при обеспечении прочности несущих систем мобильных машин.
41. Пути повышения точности конечно- элементного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций автомобилей и тракторов.
42. Особенности расчета на прочность сварных конструкций.
43. Типы сварных соединений и их свойства.
44. Предельные состояния сварных соединений.
45. Концентрация напряжений в сварных соединениях. Испытания сварных соединений.
46. Методы расчета на прочность сварных конструкций. Особенности расчета на прочность сварных конструкций.
47. Особенности моделирования сварных узлов несущих систем.
48. Концентрация напряжений в сварных конструкциях кузовов автомобилей.
49. Причины появления усталостных повреждений в сварных конструкциях.

50. Конструкторско-технологические методы повышения прочности сварных конструкций.
51. Правила конструирования сварных узлов несущих систем мобильных машин с улучшенными характеристиками прочности.
52. Технологические меры повышения прочности сварных конструкций.
53. Погрешности при выполнении расчетов методом конечных элементов. Способы повышения точности расчетного анализа напряженно-деформированного состояния в задачах МКЭ.
54. Особенности расчетных схем и конечно-элементных моделей деталей, узлов и конструкций автомобилей и тракторов. Основные приемы и способы моделирования деталей, узлов и конструкций автомобилей и тракторов методом конечных элементов.
55. Пути повышения точности выполняемого методом конечных элементов расчетного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций автомобилей и тракторов.
56. Оценка прочности несущих конструкций мобильных машин при случайных нагрузках.
57. Понятие вероятности неразрушения.
58. Связь значений коэффициентов запаса прочности, вычисленных в традиционной детерминированной постановке, со значениями коэффициентов запаса прочности, вычисленных в вероятностной постановке.
59. Структурная механика композиционных материалов, применяемых в несущих конструкциях транспортно-технологических комплексов
60. Сравнение композиционных материалов с конструкционными сталями и сплавами по показателям удельной прочности и удельной жесткости.
61. Классификации композиционных материалов по типу матрицы, по типу армирующих волокон, по типу армирования.
62. Механические свойства однонаправленного композиционного материала.
63. Методы чувствительности в задачах оптимального проектирования конструкций транспортно-технологических комплексов.
64. Оптимальное проектирование конструкций транспортно-технологических комплексов на основе анализа чувствительности.
65. Применение метода конечных элементов для анализа чувствительности.
66. Метод расчета чувствительности в статических задачах.
67. Прямой метод дифференцирования при расчете чувствительности. Метод сопряженных переменных при расчете чувствительности.
68. Анализ чувствительности в задачах на собственные значения.
69. Оптимизация частот собственных колебаний.
70. Максимизация критических нагрузок потери устойчивости.
71. Метод чувствительности при проектировании формы конструкции в задачах статического нагружения конструкций транспортно-технологических комплексов.
72. Материальная производная при анализе чувствительности.
73. Форма, как параметр проектирования.

74. Параметрическое представление границ в оптимальном проектировании.
75. Чувствительность при проектировании формы конструкции в задачах определения собственных частот колебаний и критических нагрузок потери устойчивости.
76. Метод конечных элементов в задачах оптимизации конструкций транспортно-технологических комплексов.
77. Процедуры решения задачи оптимизации на основе метода конечных элементов с применением алгоритмов нелинейного программирования.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Математическое моделирование технических систем
Направление - 01.03.02 Прикладная математика и информатика

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Обзор типов несущих систем мобильных машин, как объекта для математического моделирования напряженно-деформированного состояния и оценки прочности.
2. Прочность при статическом нагружении. Гипотезы прочности.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2023 г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Математическое моделирование технических систем
Направление - 01.03.02 Прикладная математика и информатика

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Сопоставление типичных расчетных моделей, видов нагружения, методов исследования НДС и критериев оценки прочности реальных несущих конструкций автомобилей и тракторов с расчетными схемами, видами нагрузок, методами расчета НДС и критериями оценки прочности, изучаемыми студентами в курсе сопротивления материалов.
2. Понятие об усталостной прочности.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2023 г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Математическое моделирование технических систем
Направление - 01.03.02 Прикладная математика и информатика

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Виды предельного состояния несущих систем машин и критерии оценки прочности.
2. Кривая усталости. Уравнение кривой усталости в степенной форме.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2023г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина - Математическое моделирование технических систем
Направление - 01.03.02 Прикладная математика и информатика

\

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Погрешности при расчетах методом конечных элементов несущих конструкций мобильных машин.
2. Малоцикловая, многоцикловая усталость, неограниченная долговечность.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры «__» _____ 2023 г., Протокол № __

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/