Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 18.09.2025 15:56:56
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
_____ /М.Р. Рыбакова/
«27» февраля 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Экспериментальные методы исследования прочности»

направление подготовки
23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Профиль:
Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Форма обучения
Очная

Москва 2025 г.

Программу составил:

доцент, к. т. н.  /И.Н. Одинцев /

Согласовано

Заведующий кафедрой
профессор, д. т. н.  /А.А. Скворцов/

1. Цели освоения дисциплины.

Основная цель освоения курса «Экспериментальные методы исследования прочности» состоит в подготовке студентов к научно-технической, организационно-методической и практической деятельности, связанной с проведением работ в области экспериментальных исследования деформационных и прочностных характеристик объектов машиностроения, а также механических свойств конструкционных материалов.

Основные задачи изучения дисциплины:

- получение общих представлений о методологии экспериментальных исследований применительно к проблемам механики деформируемого твердого тела;
- изучение физических принципов, метрологических характеристик и особенностей технической реализации современных средств и методов экспериментального анализа напряженно-деформированного состояния и прочности объектов машиностроения;
- получение знаний об испытательной технике (испытательных машинах) для исследования свойств материалов;
- ознакомление с целями, способами и методами математической обработки исходных данных эксперимента и приобретение навыков их практического использования для получения результатов, выраженных в терминах изучаемых величин;
- приобретение навыков проведения экспериментальных исследований и информативному представлению их результатов (на конкретных примерах).

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры.

Курс «Экспериментальные методы исследования прочности» относится к числу учебных дисциплин обязательной части Блока 1 (Б1) основной образовательной программы магистратуры. Данная дисциплина взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими учебными курсами и практиками ООП:

в обьязательной части

– компьютерные технологии в науке;

в части, формируемой участниками образовательных отношений:

– надежность и диагностика механических систем;

– проблемы динамики и прочности транспортно-технологических комплексов;

– метод конечных элементов;

– механика контактного взаимодействия и разрушения;

в практиках и НИР:

– научно-исследовательская работа.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	**В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать**	**Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции**
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	ИУК-6.1. Оценивает свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные), оптимально их использует для успешного выполнения порученного задания. ИУК-6.2. Определяет приоритеты профессионального роста и способы совершенствования собственной деятельности на основе самооценки по выбранным критериям. ИУК-6.3. Выстраивает собственную профессиональную траекторию, используя инструменты непрерывного образования, с учетом накопленного опыта профессиональной деятельности и динамично изменяющихся требований рынка труда.
ОПК-4	Способен проводить исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность при решении инженерных и научно-технических задач, включающих планирование и	ИОПК-4.1 Проводит исследования при решении инженерных и научно-исследовательских задач ИОПК-4.2 Организует самостоятельную и коллективную работу при решении инженерных и научно-исследовательских задач ИОПК-4.3 Планирует и ставит эксперименты, оценивает и интерпретирует результаты

	постановку эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов	

4. Общая структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, т.е. 144 академических часа (из них 88 часов – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Экспериментальные методы исследования прочности» преподаются на первом и втором курсах обучения. В частности:

во **втором** семестре выделяется 2 зачетные единицы, т.е., 72 академических часов, из них 40 часов – самостоятельная работа студентов;

в **третьем** семестре выделяется 3 зачетные единицы, т.е., 108 академических часа, из них 44 часа – самостоятельная работа студентов.

Второй семестр: лекции – 1 час в неделю (16 часов), лабораторные работы – 1 час в неделю (16 часов). Форма итогового контроля – Зачет.

Третий семестр: лабораторные работы – 2 часа в неделю (36 часов), форма итогового контроля – Экзамен.

Конкретное представление структурных позиций дисциплины «Экспериментальные методы исследования прочности» по срокам и видам работы приводятся в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины.

Введение – предмет, цели и основные задачи дисциплины; структура и содержание курса, его место в учебном процессе и связь с другими дисциплинами. Многообразие задач в экспериментальной механике деформируемого твердого тела. Общая классификация испытаний (по виду напряженного состояния, по температурному режиму испытаний, по временному воздействию внешней нагрузки, по природе воздействия).

Раздел 1.

Общие вопросы теории измерений. Метрологическая классификация методов и средств измерений. Типы и виды измерительных преобразователей, приборов, установок и информационно-измерительных систем.

Основные этапы развития технической базы для измерений механических величин. Обзор современных методов и средств измерений перемещений, деформаций и напряжений в объектах исследования.

Механические средства измерений. Оптомеханические и оптические тензометры. Струнный и пневматический тензометры.

Электрические датчики сопротивления для измерения перемещений и деформаций. Реохордные и реостатные преобразователи. Механотронный преобразователь. Тензорезисторные преобразователи: физический принцип (тензоэффект), типы и виды тензодатчиков: полупроводниковые, металлические – проволочные, фольговые. Конструктивно оформленные комплексные датчики: цепочки, прямоугольные и дельта- розетки. Варианты мостовых схем включения отдельных тензодатчиков в электрические измерительные цепи (мост Уитстона). Тензостанции. Определение компонент тензора деформаций на поверхности деформируемого тела по данным тензорозеток. Датчики перемещений, усилий, моментов и давлений на основе тензорезисторных преобразователей. Тензометрии натурных объектов.

Емкостные, индуктивные и трансформаторные датчики: физические принципы и варианты реализации. Индукционные и пьезоэлектрические датчики.

Оптоволоконные датчики. Физический принцип и классификация. Интерференционные оптоволоконные датчики. Датчики деформации на основе внутриволоконных Брэгговских решеток.

Рентгеновский метод измерения остаточных напряжений. Закон Вульфа-Брэгга. Соотношение Глокера-Хесса-Шаабера и его последующая интерпретация.

Метод хрупких покрытий: принцип и основные соотношения для расчета параметров напряженного состояния. Калибровка покрытий.

Методы квазиконтинуальных измерений полей перемещений и деформаций на поверхности деформируемых тел. Методы реперных точек и измерительных сеток. Методы муаровых полос. Интерференционно-оптические методы: фотоупругость, голографическая интерферометрия, спекл-интерферометрия. Метод корреляции цифровых изображений.

Типы и конструктивное оформление испытательных машин для исследования механических свойств материалов. Контрольно-измерительная аппаратура испытательных машин. Вспомогательное оборудование для проведения испытаний в расширенном диапазоне температур.

Механические разрывные машины. Серво-гидравлические машины. Машины для ударных испытаний (копры). Машины для испытаний на ползучесть и длительную прочность. Твердомеры. Машины для проведения специальных испытаний.

Раздел 2.

Задачи первичной и расширенной обработки результатов эксперимента.

Элементарная теория ошибок измерений. Абсолютная и относительная погрешность. Воспроизводимость результатов измерений. Приборные ошибки. Систематические ошибки. Грубые промахи. Случайные ошибки.

Базовые сведения из теории вероятностей и математической статистики. Функция распределения случайной величины. Функция плотности распределения вероятностей. Параметры распределений и их свойства. Математическое ожидание, дисперсия.

Нормальный закон распределения Гаусса и его параметры. Приведенная случайная величина. Функция Лапласа. Табулирование функции распределения вероятностей и функции плотности распределения. Работа со справочными таблицами.

Предварительная обработка экспериментальных данных. Вычисление оценок параметров эмпирических распределений случайной величины. Точечное выборочное оценивание. Состоятельность, несмещенность и эффективность оценок. Вычисление оценок математического ожидания и дисперсии.

Интервальное оценивание параметров распределения случайной величины. Доверительный интервал и доверительная вероятность. Оценивание математического ожидания при известной дисперсии. Построение доверительного интервала для математического ожидания при неизвестной дисперсии. Функция распределения Стьюдента. Интервальное оценивание дисперсии. Функция распределения Пирсона.

Понятие статистических гипотез. Общий подход к апостериорной проверке статистических гипотез. Нулевая и альтернативные гипотезы. Выбор критерия принятия гипотезы и расчет статистики для него. Уровень значимости. Возможные исходы при проверке гипотез: ошибки первого и второго рода.

Гипотезы о параметрах распределения случайной величины. Отсев грубых погрешностей (по критерию Смирнова). Сравнение рядов наблюдений. Сравнение двух дисперсий (по критерию Фишера). Проверка однородности нескольких дисперсий (по критерию Кочрена). Сравнение математического ожидания с заданной величиной (по критерию Стьюдента). Сравнение двух математических ожиданий (по критерию Стьюдента).

Проверка гипотез о виде функции распределения случайной величины. Критерий согласия. Предварительная оценка путем построения гистограмм распределений. Критерии Пирсона и Колмогорова – Смирнова. Способы преобразования эмпирических распределений к нормальному закону.

Расширенный анализ результатов экспериментов. Виды связей между рядами наблюдений. Построение эмпирических зависимостей. Интерполирование экспериментальных точек (табличных функций). Полиномиальная интерполяция. Полиномы Лагранжа. Интерполирование периодических функций. Интерполирование кусочно-непрерывными функциями.

Регрессионный анализ. Идея метода наименьших квадратов. Линейная регрессия. Рабочая система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Регрессионная матрица. Преобразование к нормальному матричному уравнению. Методы решения СЛАУ (Гаусса, Холецкого и др.). Проверка адекватности модели. Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии. Линейная множественная регрессия. Понятие и основные подходы к нелинейной регрессии. Способы линеаризации.

Методы численного дифференцирования табличных функций. Методы численного интегрирования: формулы прямоугольников и трапеций; формула Симпсона.

Обработка данных эксперимента как обратная задача механики деформируемого твердого тела. Итерационный алгоритм оценки параметров механической модели объекта (явления) по исходным экспериментальным данным с применением методов численного моделирования (метода конечных элементов).

Методология планирования эксперимента. Цели, основные определения и понятия. Логические основы планирования. Требования к выходным факторам (откликам). Выбор основных факторов и их уровней. Факторное пространство. Кодирование факторов. Построение обобщенного выходного параметра. Планирование первого порядка. Полный факторный эксперимент. Определение коэффициентов уравнения регрессии. Статистический анализ результатов. Дробный факторный эксперимент. Планирование второго порядка. Оптимальные планы.

Применение специальных методов получения и расширенной обработки экспериментальных данных для решения практических задач механики материалов и конструкций (на конкретных примерах).

5. Образовательные технологии.

Методика преподавания дисциплины «Экспериментальные методы исследования прочности» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой

с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению и защита лабораторных работ в лабораториях университета;

– обсуждение и защита расчетно-графических работ по дисциплине;

– обсуждение и защита на семинарских занятиях рефератов и презентаций по актуальным темам дисциплины;

– обсуждение на регулярных семинарах результатов выполнения курсового проекта по общей тематике дисциплины;

– проведение мастер-классов экспертов и ведущих специалистов по экспериментальным методам механики деформируемого твердого тела.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью и содержанием дисциплины «Экспериментальные методы исследования прочности», и в целом по дисциплине составляет 25 % аудиторных занятий. Занятия лекционного типа составляют 25 % от объема аудиторных занятий.

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.

На втором семестре:

– подготовка к выполнению лабораторных работ; представление и защита отчетов;

–расчетно-графическая работа по теме «Обработка данных тензометрических измерений».

На третьем семестре:

– подготовка к выполнению лабораторных работ; представление и защита отчетов;

– реферат по общей тематике: «Методы и задачи экспериментального исследования характеристик механического поведения материалов и элементов конструкций; задачи и методы математической обработки первичных результатов эксперимента» (индивидуально для каждого обучающегося); выступление с презентацией;

– выполнение и защита курсового проекта по общей тематике «Применение методов и средств экспериментальной механики для анализа напряженно-деформированного состояния и прочности элементов конструкций»

(индивидуальные задания каждому обучающемуся выдаются на втором семестре).

Образцы заданий для проведения текущего контроля, заданий курсовых проектов, контрольных вопросов и экзаменационных билетов приведены в Приложении 3.

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**
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
ОПК-4	Способен проводить исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность при решении инженерных и научно-технических задач, включающих планирование и постановку эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов.

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 студентами планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

Показатель	Критерии оценивания			
	2	3	4	5
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки				
Знать: метрологические и технические характеристики основного и специализированного оборудования для измерения параметров механического состояния тел (перемещений, деформаций, силовых величин).	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний метрологических и технических характеристик приборов и оборудования, используемого в экспериментальной механике.	Обучающийся демонстрирует ограниченный объем знаний метрологических и технических характеристик приборов и оборудования, используемого в экспериментальной механике. Допускаются значительные, но не критические ошибки; проявляется недостаточность знаний; по ряду показателей; обучающийся испытывает затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует вполне приемлемое соответствие знаний метрологических и технических характеристик приборов и оборудования, используемого в экспериментальной механике. Допускаются незначительные ошибки, неточности и затруднения в изложении материала.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний метрологических и технических характеристик приборов и оборудования, используемого в экспериментальной механике. Свободно оперирует приобретенными знаниями.
Уметь: осуществлять и грамотно обосновывать выбор средств измерений, наиболее эффективных для достижения поставленных целей; самостоятельно приобретать недостающие знания в доступных источниках, в том числе, в интернет-ресурсах.	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет осуществлять выбор эффективных средств измерений и обосновывать пути решения поставленных задач.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие умения осуществлять выбор эффективных средств измерений и обосновывать пути решения поставленных задач. Допускаются значительные, но не критические ошибки; проявляется недостаточность умений по ряду показателей; обучающийся испытывает затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует вполне приемлемое умение и обосновывать пути решения поставленных задач. Умеет самостоятельно приобретать требуемые знания по предмету. Умения вполне освоены, но допускаются легко устранимые затруднения при переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие умений осуществлять выбор эффективных средств измерений самостоятельно приобретать требуемые знания по предмету, намечать и грамотно обосновывать пути решения задач. Свободно оперирует приобретенными умениями; применяет их в ситуациях повышенной сложности.

Владеть: навыками практического применения оборудования и средств измерений физических (механических) величин.	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет необходимыми навыками работы с измерительным оборудованием.	Обучающийся владеет необходимыми навыками работы с измерительным оборудованием в неполном объеме; испытывает затруднения в применении навыков в в новых ситуациях.	Обучающийся в приемлемом объеме владеет необходимыми навыками работы с измерительным оборудованием; навыки освоены, но допускаются затруднения при переходе к новым или нестандартным ситуациям.	Обучающийся в полном объеме владеет необходимыми навыками работы с измерительным оборудованием.; свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
ОПК-4Способен проводить исследования, организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность при решении инженерных и научно-технических задач, включающих планирование и постановку эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов.				
Знать: цели, задачи, принципы реализации инженерного и научного эксперимента в аспекте исследования деформационных и прочностных характеристик материалов и элементов конструкций; базовые критерии экспериментальной оценки функциональной работоспособности и прочности технических объектов.	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие установленным требованиям знаний о целях, задачах, планировании экспериментальных работ, методах исследования и критериях, используемых для достижения заданных прочностных характеристик машин и элементов конструкций.	Обучающийся демонстрирует лишь ограниченный объем знаний о принципах, целях, задачах, планировании экспериментальных работ, методах исследования и критериях используемых для достижения заданных прочностных характеристик машин и элементов конструкций. Допускаются существенные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей; обучающийся испытывает затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует приемлемое соответствие знаний о принципах, целях, задачах, планировании экспериментальных работ, методах исследования и критериях используемых для достижения заданных прочностных характеристик машин и элементов конструкций. Допускаются незначительные (легко устранимые) ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний о принципах, целях, задачах, и планировании экспериментальных работ, о методах исследования и критериях, используемых для достижения заданных прочностных характеристик машин и элементов конструкций. Свободно и осознанно оперирует приобретенными знаниями.
Уметь: самостоятельно определять оптимальный вариант решения конкретно сформулированной задачи, исходя из метрологических и теоретически обусловленных требований к получаемым результатам и на основе приобретенных в ходе обучения	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет определять оптимальные пути достижения требуемых результатов исследований, обоснованно производить выбор методов решения задач, выполнять математический анализ их результатов.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие умений определять оптимальные пути достижения требуемых результатов исследований, обоснованно производить выбор методов решения задач, выполнять математический анализ их результатов. Допускаются ошибки, проявляется недостаточность умений по ряду показателей; обучающийся испытывает значительные затруднения	Обучающийся демонстрирует вполне приемлемое умение определять задачи и оптимальные пути исследований, обоснованно производить выбор методов решения задач, выполнять математический анализ их результатов. Умения освоены, но допускаются незначительные – достаточно легко	Обучающийся демонстрирует полное соответствие умений определять задачи и оптимальные пути исследований, обоснованно производить выбор методов решения задач, выполнять математический анализ их результатов. Он свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях

знаний и общих усвоенных представлений.		при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	устранимые – ошибки, неточности, затруднения при вспомогательных (аналитических) операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	повышенной сложности.
Владеть: навыками обоснованного выбора средств экспериментального анализа обобщенной прочности материалов и конструкций машиностроения с учетом особенностей конкретной проблемы; навыками по планированию инженерного эксперимента.	Обучающийся не владеет или владеет в сугубо ограниченной мере представлениями о целенаправленном выборе средств экспериментального анализа, планировании эксперимента и математической обработки результатов; фактически не имеет навыков их практического применения.	Обучающийся в недостаточной мере владеет представлениями о целенаправленном выборе и применении средств экспериментального анализа, планировании эксперимента и математической обработки результатов; имеет лишь ограниченные навыки их практического применения и испытывает немалые затруднения при применении полученных навыков в новых ситуациях.	Обучающийся хорошо владеет представлениями о выборе средств экспериментального анализа, планировании эксперимента и обработки результатов, а также навыками их применения на практике. Требуемые навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при вспомогательных операциях, переносе ситуаций в новые (не рассмотренные непосредственно в ходе обучения), нестандартные условия.	Обучающийся в полном объеме владеет представлениями о целенаправленном выборе средств экспериментального анализа, планировании эксперимента и математической обработки результатов; имеет устойчивые навыки их практического применения. Свободно использует полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
Владеть: закрепленными навыками использования экспериментальных методов и средств для решения прочностных задач машиностроения; общими навыками выполнения математической обработки экспериментальных данных (осуществлять выбор конкретных методов из широко представленного инструментария); навыками использования пакетов	Обучающийся не владеет или владеет в сугубо ограниченной мере навыками использования экспериментальных методов и средств для решения прочностных задач машиностроения; общими навыками выполнения математической обработки экспериментальных данных, плохо владеет навыками информативного и грамотного представления отчетов о выполненных исследованиях.	Обучающийся в недостаточной мере владеет навыками использования экспериментальных методов и средств для решения прочностных задач машиностроения; общими навыками выполнения математической обработки экспериментальных данных, испытывает значительные затруднения при применении полученных навыков в новых ситуациях, лишь отчасти владеет навыками по информативному и грамотному представлению отчетов о выполненных исследованиях.	Обучающийся достаточно хорошо владеет навыками использования экспериментальных методов и средств для решения прочностных задач машиностроения, устойчивыми навыками математической обработки экспериментальных данных, в том числе, с использованием специализированных прикладных компьютерных программ. Навыки освоены, но допускаются незначительные	Обучающийся в полном объеме владеет навыками проведения инженерного эксперимента, использования экспериментальных методов и средств для решения прочностных задач машиностроения, обработки экспериментальных данных, в том числе, с использованием пакетов специализированных прикладных компьютерных программ. Свободно применяет полученные навыки в

специальных прикладных компьютерных программ; навыками по информативному и грамотному представлению отчетов по выполненным исследованиям.	.		ошибки, затруднения при смысловых и аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. Обнаруживает вполне устойчивые навыки по информативному и грамотному представлению результатов.	ситуациях повышенной сложности. Он демонстрирует уверенные навыки по информативному и грамотному представлению отчетов о выполненных исследованиях.

6.1.3. Шкалы оценивания результатов аттестации и их описание.

6.1.3.1. Форма промежуточной аттестации: Зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета проводится после второго семестра по результатам выполнения всех видов учебной деятельности, предусмотренных планом по данной дисциплине. При этом *учитываются* результаты текущего контроля успеваемости студента в течение семестра. Оценка степени достижения студентами планируемых результатов обучения проводится преподавателем, ведущим занятия, методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации выставляется оценка ***«зачтено»*** или ***«не зачтено»***.

К промежуточной аттестации в форме зачета допускаются только студенты, прошедшие все этапы промежуточного контроля: выполнившие лабораторные работы и отчитавшиеся по ним, отчитавшиеся по теме реферата и выступившие с докладом по ней на семинарском занятии.

Шкала оценивания	**Описание**
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные планом. Студент уверенно демонстрирует соответствие приобретенных знаний, умений и навыков приведенным в таблицах показателей; оперирует ими в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при промежуточных (вспомогательных) операциях при переносе ситуации на нестандартные (не рассмотренные непосредственно в ходе изучения дисциплины) условия.

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

6.1.3.2. Форма итоговой аттестации: Экзамен.

Аттестация обучающихся в форме экзамена проводится после третьего семестра по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных планом по данной дисциплине; при этом *учитываются* результаты текущего контроля успеваемости студента в течение семестра. Оценка степени достижения студентами планируемых результатов обучения проводится преподавателем, ведущим занятия, методом экспертной оценки. По результатам итоговой аттестации в форме экзамена выставляется оценки: «***отлично***», «***хорошо***», «***удовлетворительно***» или «***неудовлетворительно***».

К аттестации допускаются только студенты, осуществившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине, и прошедшие все установленные этапы промежуточного контроля, а именно: выполнившие все задания лабораторного практикума за полный курс и сдавшие соответствующие отчеты, отчитавшиеся по расчетно-графическим и реферативным работам (выступившие с презентациями по рассмотренным темам), выполнившие курсовую работу и сдавшие итоговые отчеты по ней.

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений и навыков, приведенным в таблицах показателей; уверенно оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками; применяет их в ситуациях повышенной сложности.
Хорошо	Обучающийся демонстрирует приемлемое соответствие знаний о методах и средствах исследования прочности машиностроительных конструкций и материалов и методах математической обработки получаемых результатов, но допускает незначительные ошибки, неточности, затруднения при переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации, вполне устранимые при дальнейшем самостоятельном расширенном освоении дисциплины.

Удовлетворительно	Обучающийся демонстрирует неполное знание методов и средств экспериментальных методов исследования прочности и методов математической обработки получаемых результатов, проявляет недостаточность практических сведений по предмету, испытывает заметные затруднения при переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Неудовлетворительно	Студентом не выполнен один или более видов работ, предусмотренных учебным планом. Обучающийся демонстрирует сугубо ограниченное соответствие знаний, умений, навыков (или отсутствие таковых) в отношении приведенных в таблицах показателей; допускает критические ошибки; испытывает существенные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые, даже с незначительными изменениями, ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в Приложении 3.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а). основная литература:

1. Сидняев, Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебник и практикум для вузов / Н. И. Сидняев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 495 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05070-7.

URL: https://urait.ru/bcode/508082

б) дополнительная литература:

1. Берикашвили, В. Ш. Статистическая обработка данных, планирование эксперимента и случайные процессы: учебное пособие для вузов / В. Ш. Берикашвили, С. П. Оськин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 164 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09216-5.

URL: https://urait.ru/bcode/493106

.

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Операционная система Windows 7 (или ниже)

MS Office 2013 (или ниже).

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах (интернет-адресах):

1. http://www.soprotmat.ru/Sopromatlaborat18.pdf – Сопротивление материалов. Экспериментальная механика.
2. http://rk5-lab.bmstu.ru/files/doc/lib/exp-mech-mgtu-normal.pdf – Экспериментальная механика / Под ред. Р.К. Вафина, О.С. Нарайкина.
3. http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/100/u_lectures.pdf – Лямкин А. И., Михлин Ю. Л., Горев М. В., Флёров И. Н., Фокина В. Д. Экспериментальные методы исследований. Курс лекций.
4. http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/@eksperimental@mnaya_mehanika/teory/g1.htm – Основные направления экспериментальной механики машин.
5. http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/@eksperimental@mnaya_mehanika/teory/g2.htm – Методы и средства испытания материалов, деталей и конструкций.
6. http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/@eksperimental@mnaya_mehanika/teory/g3.htm – Методы исследования деформаций и напряжений.
7. http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/@Eksperimental@mnaya_mehanika/teory/g4.htm – Оптико-геометрические методы измерения деформаций и перемещений.
8. http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/@Eksperimental@mnaya_mehanika/teory/g5.htm – Поляризационно-оптические и интерферометрические методы исследования напряжений.

9. http://pstu.ru/files/file/adm/fakultety/metod_hrupkih_pokrytiy_metodicheskoe_posobie_.pdf – Сурков В.А. Исследование деформаций с помощью метода хрупких покрытий.
10. http://nanojournal.ifmo.ru/files/volume2/paper3.pdf – Методы цифровой голографической интерферометрии и их применение для измерения нанoперемещений.
11. http://www.iftomm2015.tw/IFToMM2015CD/PDF/OS19-003.pdf – Chang C.Y., Chen L.C., Lee W.C., Ma C.C. Measuring Full-Field Deformation and Vibration Using Digital Image Correlation (Измерение полных полей перемещений и вибраций с помощью метода корреляции цифровых изображений.)
12. http://www.phys.nsu.ru/cherk/Metodizm_old.PDF – Князев Б.А., Черкасский В.С. Начала обработки экспериментальных данных. Электронный учебник и программа обработки данных для начинающих.
13. http://vega.phys.msu.ru/files/pract_11/error-mesur.pdf – Ефимова А.И., Зотеев А.В., Склянкин А.А. Общий физический практикум физического факультета МГУ. Погрешности эксперимента: Учебно-методическое пособие.
14. http://books.ifmo.ru/file/pdf/128.pdf – Походун А.И. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределенности измерений. Учебное пособие.
15. http://kvm.gubkin.ru/Stat2.pdf – Фастовец Н.О., Попов М.А. Математическая статистика. Учебное пособие.
16. http://www.resolventa.ru/data/metodstud/matstat.pdf – Самаров К. Л. Математика. Учебно-методическое пособие по разделу «Математическая статистика».
17. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/34780/1/978-5-7996-1456-0.pdf – Гребенникова И. В. Методы математической обработки экспериментальных данных Учебно-методическое пособие.
18. http://www.eltech.ru/assets/files/Faculty-FEL/Fisika/MethodExperiment.pdf – Морозов В. В., Соботковский Б. Е., Шейнман И. Л. Методы обработки результатов физического эксперимента.
19. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/39965/1/978-5-9904848-4-9_2015.pdf – Спирин Н.А., Лавров В.В., Зайнуллин Л.А., Бондин А.Р., Бурыкин А.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента.
20. http://window.edu.ru/resource/438/18438/files/Mtdukm8.pdf – Хамханов К.М. Основы планирования эксперимента. Методическое пособие.

21. http://www.matburo.ru/ms_spr.php – Свод формул, таблиц и подборка специальной литературы по математической статистике.
22. http://matmsuee.narod.ru/tables/ms.pdf – Таблицы основных функций математической статистики.
23. http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/10714/2013194.pdf?sequence=1 – Ким И.Г., Латыпова Н.В., Моторина О.Л. Численные методы.
24. http://ikfia.ysn.ru/images/doc/chislovie_metody/BerezinZhidkov_t1_1962ru.pdf – Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Т.1.
25. https://mipt.ru/education/chair/computational_mathematics/study/materials/compmath/other/Aristova_Zavyalova_Lobanov_2014.pdf – Аристова Е. Н., Завьялова Н. А., Лобанов А. И. Практические занятия по вычислительной математике. Часть 1.
26. http://lectoriy.mipt.ru/course/Maths-NumericalAnalysis-14L#lectures – Вычислительная математика. Курс видеолекций.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Аудитория для проведения лекционных и практических занятий: столы, стулья или столы учебные со скамьями; аудиторная доска; рабочее место преподавателя: стол, стул.

Специализированная лаборатория кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» (Н209а, Н211а) оснащенная:

1. Учебная испытательная машина МИ-40КУ
2. Лабораторный комплекс ЛКСМ-1К
3. Универсальный учебный комплекс по сопротивлению материалов СМ-1
4. Универсальный комплекс для проведения лабораторных работ СМ-2
5. Маятниковый копер МК-300
6. Машина для испытаний на усталость,
7. Комплекс для проведения лабораторных работ по курсу «устойчивость механических систем»
8. Комплекс для демонстрации механических и демпфирующих свойств пластичных материалов
9. Устройство для наглядной демонстрации ползучести материалов WP600

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.

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 «Экспериментальные методы исследования прочности» по направлению подготовки 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» Профиль: Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов (магистр)

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
1	**Раздел 1.** (второй семестр)														
1.1	*Лекционное занятие (вводное)*: Предмет, цели и основные задачи дисциплины. Общие вопросы теории измерений. Метрологическая классификация методов и средств измерений. Типы и виды измерительных преобразователей. Приборы, экспериментально-исследовательские установки и информационно-измерительные системы. Многообразие и общая классификация задач экспериментальной механики деформируемого твердого тела. Механические средства измерений механических величин. Оптомеханические и оптические тензометры.	2		2			2								

	Струнный тензометр. Пневматические тензометры. **Выдача заданий на курсовой проект.**														
1.2	*Лабораторная работа:* Экспериментальная проверка базовых положений сопромата (с использованием механических датчиков перемещений).	2				2	2			+					
1.3	*Лекционное занятие:* Общая характеристика класса электрических датчиков для измерения механических величин. Подкласс датчиков сопротивления. Реохордные и реостатные преобразователи. Механотронный преобразователь. Тензорезисторные преобразователи: физический принцип (тензоэффект). Типы и виды тензодатчиков. Варианты мостовых схем включения тензодатчиков в измерительные электрические цепи (мост Уитстона). Емкостные, индуктивные, трансформаторные и индукционные датчики: физические принципы, входные (измеряемые) величины, варианты реализации. Пьезоэлектрические датчики давления. **Выдача заданий на РГР.**	2		2			4			+	+				
1.4	*Лабораторная работа*: Тензометрическое исследование деформированного состояния цилиндрической оболочки при различных видах внешней нагруженности.	2				2	2			+	+				
1.5	*Лекционное занятие:*	2		2			4			+	+				

	Оптоволоконные датчики. Общий физический принцип (основные понятия об оптоволокне). Классификация датчиков: по способу кодирования измеряемой информации, по принципу действия, по локализации измеряемого параметра. Интерференционные оптоволоконные датчики. Датчики на микроизгибах. Датчики деформации на основе внутриволоконных Брэгговских решеток.														
1.6	*Лекционное занятие:* *Тема 1:* Общие представления о рентгеновском методе определения остаточных напряжений в объектах исследования: физический базис измерений; закон Вульфа – Брэгга; формула Глокера-Хесса-Шаабера и ее использование для обработки первичной информации в терминах механических напряжений. *Тема 2:* Метод хрупких покрытий: общая характеристика. Тарировка покрытия. Расчетные формулы для общего случая поля напряжений.	2		2			4			+	+				
1.7	*Лекционное занятие:* Методы сеток и реперных точек. Метод муаровых полос: физико-геометрический принцип и основные характеристики. Экспериментальные схемы и базовые соотношения. Измерение распределений тангенциальных и нормальных перемещений и деформаций. *Лабораторная работа:* Исследование полей перемещений и	2		1		1	4			+	+				

	деформаций методом муаровых полос.														
1.8	*Лекционное занятие:* Поляризационно-оптический метод определения параметров напряженного состояния в плоских образцах из фотоупругого материала. Физический принцип. Работа с применением плоского и кругового полярископов. Полосы и изоклины. Закон Вертгейма. Метод разделения переменных с использованием соотношений теории упругости. Объемная фотоупругость – метод «замораживания» (в рамках качественных представлений). *Лабораторная работа:* Тарировка фотоупругого материала.	2		1		1	4			+	+				
1.9	*Лекционное занятие:* Методы голографической интерферометрии: двух экспозиций, реального времени и усреднения по времени. Исходное уравнение для интерпретации картин полос в терминах компонент перемещений. Основные оптические схемы голографического интерферометра. Корреляционная спекл-интерферометрия – оптические схемы для регистрации полей отдельных компонент вектора перемещений. Возможности применения компьютерно-цифровых технологий для автоматизации эксперимента. Метод корреляции цифровых изображений:	2		2			4			+	+				

	базовые соотношения, реализация в измерительной системе VIC.														
1.10	*Лабораторная работа:* Голографическая и спекл-интерферометрия – общие подходы и методы.	2				2	2			+	+				
1.11	*Лекционное занятие:* Типы и конструктивное оформление испытательных машин для исследования механических свойств материалов. Механические и серво-гидравлические разрывные машины. Машины для ударных испытаний (копры). Машины для испытаний на ползучесть и длительную прочность. Твердомеры. Машины для проведения специальных испытаний. Контрольно-измерительная аппаратура испытательных машин. Вспомогательное оборудование.	2		4			2			+	+				
1.12	*Лабораторная работа*: Получение и анализ диаграмм квазистатического деформирования конструкционных материалов (на разрывной испытательной машине).	2				2	2			+	+				
1.13	*Лабораторная работа:* Испытание образцов с концентраторами напряжений с анализом деформированного состояния методом КЦИ (на разрывной испытательной машине).	2				2	2			+	+				
1.14	*Лабораторная работа:* Методы дефектоскопии и неразрушающего контроля в машиностроении.	2				4	2			+	+				
	Форма аттестации	2									РГР				+

	Всего часов по дисциплине во втором семестре			**16**		**16**	**40**								
2	**Раздел 2.** (третий семестр)														
2.1	*<u>Лабораторная работа:</u>* Общие подходы и задачи апостериорной обработки исходных данных эксперимента. Элементарная теория ошибок измерений. Случайные ошибки. Базовые положения теории вероятностей и математической статистики. Функции распределения и плотности распределения случайной величины. Типичные виды функции распределений случайной величины, их параметры и свойства. Нормальный закон распределения Гаусса. Работа со статистическими таблицами. Решение типичных задач. **<u>Выдача тем рефератов.</u>**	3				2	5			+		+			
2.2	*<u>Лабораторная работа:</u>* Точечное выборочное оценивание параметров эмпирических распределений случайной величины (математического ожидания и дисперсии). Интервальное оценивание параметров распределения случайной величины. Решение типичных задач.	3				4	5			+		+			
2.3	*<u>Лабораторная работа:</u>* Проверка статистических гипотез: общие понятия и подходы. Гипотезы о параметрах распределения случайной величины. Отсев грубых	3				2	5			+		+			

	погрешностей. Сравнение рядов наблюдений. Проверка гипотез о виде функции распределения случайной величины. построение гистограмм распределений. Критерий согласия. Решение типичных задач.														
2.4	*Лабораторная работа:* Статистическая обработка данных при измерениях твердости в заготовительных прокатных изделиях (на основе имитационного моделирования результатов экспериментов).	3				2	5			+		+			
2.5	*Лабораторная работа:* Построение эмпирических зависимостей. Интерполирование экспериментальных точек (табличных функций). Полиномиальная интерполяция. Регрессионный анализ. Вывод базовых соотношений метода наименьших квадратов. Линейная регрессия. Рабочая система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Регрессионная матрица. Методы решения СЛАУ. Линейная множественная регрессия. Основные подходы к нелинейной регрессии.	3				4	6			+		+			
2.6	*Лабораторная работа:* Основные методы и приемы численного дифференцирования табличных функций. Методы численного интегрирования. Формула прямоугольников. Формула трапеций. Формула Симпсона.	3				2	5			+		+			

	Решение типовых задач.														
2.7	*Лабораторная работа:* Методология планирования эксперимента: цели, основные определения и понятия. Логические основы планирования. Планирование первого порядка. Полный факторный эксперимент. Дробный факторный эксперимент. Планирование второго порядка. Оптимальные планы.	3				2	5			+		+			
2.8	*Лабораторная работа:* Экспериментально-расчетное определение полного набора параметров упругости анизотропных конструкционных материалов (композитов). Часть 1. Подготовка и выполнение экспериментальных работ.	3				2	6			+		+			
2.9	*Лабораторная работа:* Экспериментально-расчетное определение полного набора параметров упругости анизотропных конструкционных материалов (композитов). Часть 2. Защита отчетов по выполненным исследованиям с обобщением результатов по всем вариантам работы.	3				4	5			+		+			
2.10	*Лабораторная работа:* Экспериментально-расчетное определение остаточных напряжений в исходных материалах и элементах конструкций методом сверления отверстий-индикаторов. Часть 1. Подготовка и проведение экспериментов.	3				4	5			+		+			
2.11	*Лабораторная работа:*	3				2	5			+		+			

	Экспериментально-расчетное определение остаточных напряжений в исходных материалах и элементах конструкций методом сверления отверстий-индикаторов. Часть 2. Обработка результатов, составление и защита отчета.														
2.12	*Лабораторная работа:* Экспериментально-расчетное определение параметров напряженного состояния в окрестности трещиноподобного дефекта (в терминах механики разрушения). Часть 1. Подготовка и проведение экспериментов.	3				2	5			+		+			
2.13	*Лабораторная работа:* Экспериментально-расчетное определение параметров напряженного состояния в окрестности трещиноподобного дефекта (в терминах механики разрушения). Часть 2. Обработка результатов, составление и защита отчета.	3				2	5			+		+			
2.14	*Лабораторная работа:* Выступление с презентациями по темам подготовленных рефератов.	3				2	5			+		+			
	Форма аттестации									К.П.		Реферат		+	
	Всего часов по дисциплине в третьем семестре					**36**	**72**								
	Всего часов по дисциплине во втором и третьем семестрах			**16**		**52**	**112**			**+**	**+**	**+**		+	+

Приложение 3

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление подготовки:

23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»

Профиль: Компьютерное моделирование и прочностной анализ транспортно-технологических комплексов

Форма обучения: **очная**

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Экспериментальные методы исследования прочности»

Составитель:

доцент, к.т.н. И.Н. Одинцев

Москва, 2025 год

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

«Экспериментальные методы исследования прочности»

23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие **компетенции**:

КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования компетенций**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИН-ДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	ИУК-6.1. Оценивает свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные), оптимально их использует для успешного выполнения порученного задания. ИУК-6.2. Определяет приоритеты профессионального роста и способы совершенствования собственной деятельности на основе самооценки по выбранным критериям. ИУК-6.3. Выстраивает собственную профессиональную траекторию, используя инструменты непрерывного образования, с учетом накопленного опыта профессиональной деятельности и динамично изменяющихся требований рынка труда.	лекции, самостоятельная работа, семинарские занятия, лабораторные работы.	П, Р, ДС З Э	**Базовый уровень** Обучающийся способен, исходя из технических характеристик средств измерений, осуществлять и грамотно обосновывать их выбор, наиболее эффективный для достижения поставленных целей. **Повышенный уровень** Обучающийся способен, исходя из технических характеристик средств измерений, не только осуществлять и грамотно обосновывать их выбор, наиболее эффективный для достижения поставленных целей, но и обладает устойчивыми навыками их эксплуатации.
ОПК-4	Способен проводить исследования, организовывать самостоятельную и	ИОПК-4.1 Проводит исследования при решении инженерных и научно-исследовательских задач ИОПК-4.2 Организует	лекции, самостоятельная работа, семинарские	П, Р, ДС З	**Базовый уровень** Обучающийся способен самостоятельно определять оптимальный вариант решения конкретно сформулированной задачи,

	коллективную научно-исследовательскую деятельность при решении инженерных и научно-технических задач, включающих планирование и постановку эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов	самостоятельную и коллективную работу при решении инженерных и научно-исследовательских задач ИОПК-4.3 Планирует и ставит эксперименты, оценивает и интерпретирует результаты	занятия.	Э	исходя из требований к получаемым результатам, на основе приобретенных знаний в ходе обучения по данной дисциплине. **Повышенный уровень** Обучающийся способен не только самостоятельно определять оптимальный вариант решения конкретно сформулированной задачи, исходя из требований к получаемым результатам и на основе приобретенных в ходе обучения знаний, но и обоснованно выбрать экспериментальный метод или, при необходимости, комплекс методов и способы расширенной обработки данных как из перечня рассмотренных непосредственно в ходе освоения данной дисциплины, так и на основании более широких представлений, в том числе, получаемых в результате самостоятельной работы. .

Перечень оценочных средств по дисциплине

«Экспериментальные методы исследования прочности»

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Расчетно-графическая работа (РГР)	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.	Задания для выполнения расчетно-графической работы
2	Реферат (Р)	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные подходы и даёт им собственную оценку.	Темы рефератов
3	Доклад, сообщение (ДС)	Результат самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по изученной им научной теме	Темы докладов
4	Проект (П)	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.	Темы индивидуальных (курсовых) проектов
5	Зачет (З)	Средство проведения промежуточной аттестации по результатам выполнения всех видов учебной работы в течении семестра с проставлением оценки «зачтено» или «не зачтено»	Примеры зачетных билетов
6	Экзамен (Экз)	Средство проведения промежуточной аттестации по результатам выполнения всех видов учебной работы в течении семестра с проставлением оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «не удовлетворительно»	Примеры экзаменационных билетов

Приложение 3.

Пример зачетных и экзаменационных билетов (УК-6, ОПК-4)

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 Экспериментальные методы исследования прочности
Направление 23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы
Курс 1, семестр 2

ЗАЧЕТНЫЙ БИЛЕТ № 4.

1. Что фактически измеряет струнный тензометр?
2. Охарактеризуйте в общем виде основные конструктивные особенности разрывных испытательных машин

Утверждено на заседании кафедры «___» сентября 202__ г., протокол № ___

Зав. кафедрой _____ /А.А.Скворцов/

Перечень вопросов к зачету (2 семестр)

Вопросы к зачету	**Код компетенции**
Перечислите основные метрологические средства измерений.	**УК-6, ОПК-4**
На каком общем принципе основаны механические датчики перемещений (деформаций)?	**УК-6, ОПК-4**
От чего зависит точность измерений деформации образца с помощью тензометра Мартенса?	**УК-6, ОПК-4**
Что фактически измеряет струнный тензометр?	**УК-6, ОПК-4**
В каком случае целесообразнее использовать дифференциальные пневматические датчики вместо обычных?	**УК-6, ОПК-4**
Назовите примеры активных и пассивных датчиков.	**УК-6, ОПК-4**
Поясните понятие «Тензоэффект».	**УК-6, ОПК-4**
Каковы основные преимущества и недостатки металлических и полупроводниковых тензорезисторов?	**УК-6, ОПК-4**
Каковы преимущества использования мостовых схем подключения тензорезисторов в электрическую цепь?	**УК-6, ОПК-4**
С чем связан эффект «мнимой деформации» при температурном воздействии на тензорезисторы? Каковы основные пути его преодоления?	**УК-6, ОПК-4**
Что такое дифференциальные индуктивные датчики перемещений?	**УК-6, ОПК-4**

В чем состоит основной принцип метода муаровых полос? Какие механические характеристики определяются с его помощью?	**УК-6, ОПК-4**
Сформулируйте принцип действия волоконно-оптических датчиков на Брэгговских решетках.	**УК-6, ОПК-4**
Какие характеристики поля напряжений определяются по полосам и изоклинам в методе фотоупругости?	**УК-6, ОПК-4**
В чем заключается отличие методов двух экспозиций и реального масштаба времени в голографической интерферометрии?	**УК-6, ОПК-4**
Что такое спекл-эффект?	**УК-6, ОПК-4**
На чем базируется корреляционный метод спекл-интерферометрии?	**УК-6, ОПК-4**
Что является эталоном для измерения перемещений в методах голографической и спекл-интерферометрии?	**УК-6, ОПК-4**
В чем заключается сущность метода корреляции цифровых изображений?	**УК-6, ОПК-4**
Какими способами создается спекл-структура в методе КЦИ?	**УК-6, ОПК-4**
Сравните (в численном выражении) диапазоны измерений перемещений методами корреляционной спекл-интерферометрии и корреляции цифровых изображений?	**УК-6, ОПК-4**
Охарактеризуйте в общем виде основные конструктивные особенности разрывных испытательных машин.	**УК-6, ОПК-4**
Назовите основные типы машин для ударных испытаний (копров).	**УК-6, ОПК-4**
Каковы основные способы нагрева образцов при механических испытаниях материалов в условиях повышенной температуры?	**УК-6, ОПК-4**
Какие средства используются для исследования влияния параметров климатических условий на свойства материалов?	**УК-6, ОПК-4**

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 Экспериментальные методы исследования прочности
Направление 23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы
Курс 2, семестр 3

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5.

1. От чего зависит точность измерений деформации образца с помощью тензометра Мартенса?
2. На чем базируется корреляционный метод спекл-интерферометрии?

Утверждено на заседании кафедры «___» сентября 202__ г., протокол № ___

Зав. кафедрой _____ /А.А.Скворцов/

Перечень вопросов к экзамену (3 семестр)

Вопросы к зачету	**Код компетенции**
Метрологическая классификация методов измерений. Типы и виды средств измерений.	**УК-6, ОПК-4**
Механические датчики перемещений и деформаций.	**УК-6, ОПК-4**
Оптические и оптомеханические датчики перемещений и деформаций.	**УК-6, ОПК-4**
Струнный тензометр: принцип действия и применение.	**УК-6, ОПК-4**
Пневматический тензометр: принцип действия и варианты реализации.	**УК-6, ОПК-4**
Реохордные и реостатные датчики перемещений: принцип действия и варианты реализации.	**УК-6, ОПК-4**
Резистивная тензометрия: тензоэффект, виды и типы тензодатчиков.	**УК-6, ОПК-4**
Резистивная тензометрия: способы подключения датчиков в измерительную цепь моста Уитстона.	**УК-6, ОПК-4**
Резистивная тензометрия: получение и обработка результатов для общего случая напряженно-деформированного состояния.	**УК-6, ОПК-4**
Емкостные датчики: физический принцип и реализация.	**УК-6, ОПК-4**
Индуктивные датчики: физический принцип и реализация.	**УК-6, ОПК-4**
Трансформаторные датчики: физический принцип и реализация.	**УК-6, ОПК-4**
Индукционные датчики скорости вращения: физический принцип и реализация.	**УК-6, ОПК-4**
Волоконно-оптические датчики: принцип и общая классификация. Датчики на основе Брэгговских решеток.	**УК-6, ОПК-4**

Метод хрупких покрытий.	**УК-6, ОПК-4**
Рентгеновский метод измерения остаточных напряжений.	**УК-6, ОПК-4**
Методы муаровых полос: получение и обработка результатов для случая плоской деформации.	**УК-6, ОПК-4**
Методы муаровых полос: получение и обработка результатов для случая деформации изгиба.	**УК-6, ОПК-4**
Методы фотоупругости: плоский полярископ, получение и обработка результатов.	**УК-6, ОПК-4**
Метод оптически-чувствительных покрытий.	**УК-6, ОПК-4**
Основные методы голографической интерферометрии.	**УК-6, ОПК-4**
Основные методы спекл-интерферометрии.	**УК-6, ОПК-4**
Метод корреляции цифровых изображений: принцип получения и обработки результатов.	**УК-6, ОПК-4**
Основные понятия и характеристики в элементарной теории ошибок измерений.	**УК-6, ОПК-4**
Функции распределения случайной величины и плотности распределения, их параметры и основные свойства. Нормальный закон распределения Гаусса.	**УК-6, ОПК-4**
Точечное выборочное оценивание математического ожидания и дисперсии.	**УК-6, ОПК-4**
Интервальное оценивание параметров распределения случайной величины. Доверительный интервал и доверительная вероятность. Оценивание математического ожидания.	**УК-6, ОПК-4**
Интервальное оценивание параметров распределения случайной величины. Доверительный интервал и доверительная вероятность. Оценивание дисперсии.	**УК-6, ОПК-4**
Проверка статистических гипотез. Отсев грубых погрешностей (по критерию Смирнова).	**УК-6, ОПК-4**
Проверка статистических гипотез. Сравнение двух дисперсий (по критерию Фишера).	**УК-6, ОПК-4**
Проверка статистических гипотез. Проверка однородности нескольких дисперсий (по критерию Кочрена).	**УК-6, ОПК-4**
Проверка статистических гипотез. Сравнение математического ожидания с заданной величиной (по критерию Стьюдента).	**УК-6, ОПК-4**
Проверка статистических гипотез. Сравнение двух математических ожиданий (по критерию Стьюдента).	**УК-6, ОПК-4**
Проверка гипотез о виде функции распределения случайной величины. Построение гистограммы распределения случайной величины.	**УК-6, ОПК-4**
Проверка гипотез о виде функции распределения случайной величины по критериям Пирсона и Колмогорова – Смирнова.	**УК-6, ОПК-4**
Полиномиальная интерполяция. Полиномы Лагранжа.	**УК-6, ОПК-4**
Методы численного дифференцирования табличных функций.	**УК-6, ОПК-4**
Методы численного интегрирования: формулы	**УК-6, ОПК-4**

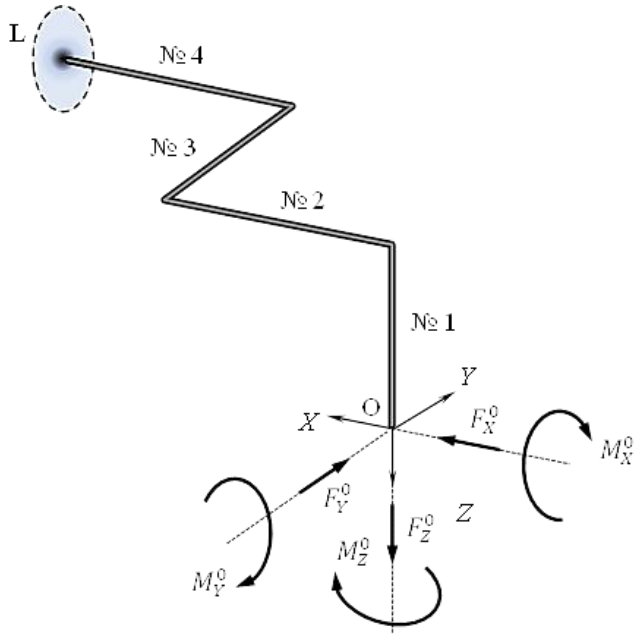
прямоугольников, трапеций, Симпсона.	
Регрессионный анализ. Метод наименьших квадратов.	**УК-6, ОПК-4**
Методология планирования эксперимента. Планирование первого порядка: понятия о полном и дробном факторном эксперименте.	**УК-6, ОПК-4**
Типы и конструктивные особенности разрывных испытательных машин.	**УК-6, ОПК-4**
Типы и конструктивные особенности машин для ударных испытаний (копров).	**УК-6, ОПК-4**
Типы и конструктивные особенности машин для исследования ползучести и длительной прочности.	**УК-6, ОПК-4**
Технические и методические особенности проведения исследования свойств материалов в расширенном диапазоне температур	**УК-6, ОПК-4**

Примерные темы курсовых проектов (УК-6, ОПК-4)
по общей тематике «Применение методов и средств экспериментальной механики для анализа напряженно-деформированного состояния и прочности элементов конструкций»
(**третий семестр**)

1. Расчет характеристик деформированного состояния элемента конструкции (указывается конкретный объект) по данным тензометрических измерений.
2. Экспериментальное определение коэффициента концентрации деформаций в зоне локальной геометрической особенности (указывается конкретный объект изучения).
3. Исследование остаточных напряжений в элементах машиностроительных конструкций (указывается конкретный объект изучения).
4. Экспериментальное определение эффективной изгибной жесткости перфорированных пластин.
5. Определение основных виброхарактеристик элементов конструкций (указывается конкретный объект изучения) с применением методов когерентно-оптической виброметрии.
6. Обнаружение и идентификация скрытых конструктивных дефектов в объектах класса пластин и оболочек (указывается конкретный объект) с использованием интерференционно-оптических методов.
7. Экспериментально-расчетный метод определения коэффициента интенсивности напряжений в образце с трещиной.
8. Построение диаграмм микропластического деформирования конструкционных материалов по данным испытаний образцов с применением бесконтактных методов визуализации полей перемещений.
9. Определение упругих свойств анизотропных (композитных) материалов по данным оптических измерений.
10. Статистический анализ результатов определения характеристик твердости в машиностроительных изделиях (указывается конкретный вид).

Пример задания на выполнение расчетно-графической работы
(УК-6, ОПК-4)
по теме «Обработка данных тензометрических измерений»
(**второй семестр**)

Расчетно-графическая работа посвящена решению обратной задачи по восстановлению внешних нагрузок (усилий, крутящих и изгибающих моментов, внутреннего давления и его градиента), действующих на участок имитационного трубопровода в виде пространственного ломаного стержня. Примерная схема участка трубопровода представлена ниже на рисунке.



Типичная расчетная схема имитационного участка трубопровода (для выдачи задания по РГР).

Основой для выполняемых оценок являются показания системы тензодатчиков, располагаемых в заданных позициях на поверхности отдельных звеньев. Конкретная пространственная ориентация звеньев, характерные размеры, а также таблицы показаний датчиков, выдаваемые индивидуально каждому обучающемуся в качестве варианта задания, в каждом случае генерируются специальной компьютерной программой случайным образом. Форма выдачи типичного задания представлена ниже:

```
"VARIANT N 1"
"E [MPa]         = 210000"
"Poisson's ratio = .29"
"Rext [m]        = .105"
"Rint [m]        = .1"
"Coordinates of corner points X, Y, Z [m]:"
"N1"
"      X = 0"
"      Y = 0"
"      Z = 0"
```

```
"N2"
"      X = 0"
"      Y =-5"
"      Z = 0"
"N3"
"      X = 13"
"      Y =-5"
"      Z = 0"
"N4"
"      X = 13"
"      Y =-5"
"      Z =-7"
"N5"
"      X = 13"
"      Y =-9"
"      Z =-7"
"Strain gage rosettes:"
"in bar N1    => Type  1"
"in bar N2    => Type  3"
"in bar N3    => Type  2"
"in bar N4    => Type  1"
"Angles for position of rosettes ALP [o]:"
"ALF(1) =  0"
"ALF(2) =  120"
"ALF(3) =  240"
"Angles for position of gages BET [o]:"
"BET(1) =  90"
"BET(2) =  45"
"BET(3) =  0"
"Experimental  values  of  voltage  in  Wheatstone
bridge [V]:"
"In bar N1"
"At ALF(1):"
"at BET(1):     -1.116E-05"
"at BET(2):      7E-08"
"at BET(3):      1.439E-05"
"At ALF(2):"
"at BET(1):     -7.17E-06"
"at BET(2):      1.49E-06"
"at BET(3):      1.323E-05"
"At ALF(3):"
"at BET(1):      .0000078"
"at BET(2):      6.81E-06"
"at BET(3):      8.89E-06"
"In bar N2"
"at ALF(1):     -6.81E-06"
"at ALF(2):     -6.81E-06"
"at ALF(3):     -6.81E-06"
"In bar N3"
"at ALF(1):     -2.364E-05"
"at ALF(2):      2.227E-05"
"at ALF(3):      1.36E-06"
"In bar N4"
```

```
"At ALF(1):"
"at BET(1):      -2.63E-06"
"at BET(2):       3.03E-06"
"at BET(3):       1.102E-05"
"At ALF(2):"
"at BET(1):      -1.729E-05"
"at BET(2):      -2.18E-06"
"at BET(3):       1.528E-05"
"At ALF(3):"
"at BET(1):       9.87E-06"
"at BET(2):       7.47E-06"
"at BET(3):       .0000074"
```

Примерные темы рефератов

по общей тематике «Методы и задачи экспериментального исследования характеристик механического поведения материалов и элементов конструкций; задачи и методы математической обработки первичных результатов эксперимента»

(**третий семестр**)

1. Методы испытаний материалов в расширенном диапазоне температур.
2. Методы экспериментального определения коэффициентов интенсивности напряжений.
3. Акустические методы исследования остаточных напряжений.
4. Мониторинг механического состояния композитных конструкций с использованием интегрированных волоконно-оптических датчиков деформации.
5. Принципы интегральной фотоупругости.
6. Рентгеновский метод исследования остаточных напряжений
7. Решение контактных задач с использованием метода голографической интерферометрии.
8. Датчики перемещений.
9. Датчики ускорения, применяемые при виброиспытаниях.
10. Датчики скорости, применяемые при виброиспытаниях.
11. Практическое применение экспериментальных методов анализа напряженно-деформированного состояния в элементах машиностроительных конструкций: по материалам текущих публикаций в научно-технических изданиях.
12. Емкостные датчики: физические принципы и варианты реализации.

13. Индуктивные датчики: физические принципы и варианты реализации
14. Трансформаторные датчики: физические принципы и варианты реализации
15. Методы квазиконтинуальных измерений полей перемещений и деформаций на поверхности деформируемых тел.
16. Структурные элементы физического эксперимента.
17. Принципы создания и современные реализации эталонов физических величин
18. Датчики перемещений, усилий, моментов и давлений на основе тензорезисторных преобразователей.
19. Типы и конструктивное оформление испытательных машин для исследования механических свойств материалов.
20. Контрольно-измерительная аппаратура испытательных машин. Вспомогательное оборудование для проведения испытаний в расширенном диапазоне температур
21. Конструктивно оформленные комплексные датчики: цепочки, прямоугольные.
22. Индукционные датчики
23. Пьезоэлектрические датчики
24. Дельта-розетки