Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 15.07.2024 14:17:33
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**

# Экспериментальная механика машин

Направление подготовки/специальность
**23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства**

Профиль/специализация
**Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении**

Квалификация
**инженер**

Формы обучения
**Очная**

Москва, 2024 г

**Разработчик(и):**

Доцент, к.т.н.  /И.Н. Одинцев/

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

## 1. Цели освоения дисциплины.

**Основная цель** освоения курса «Экспериментальная механика машин» состоит в подготовке студентов к научно-технической, организационно-методической и практической деятельности, связанной с проведением работ в области экспериментальных исследования деформационных и прочностных характеристик машин, а также механических свойств конструкционных материалов, применяемых в машиностроении.

**Основные задачи** изучения дисциплины:

- формирование углубленных представлений о целях и общих методологических основах экспериментальных исследований по проблемам механики машин и конструкционных материалов;
- приобретение знаний о физическом базисе, метрологических и технических параметрах современных методов экспериментальной механики деформируемого твердого тела и об особенностях их реализации;
- ознакомление с основным и специализированным испытательным оборудованием и освоение техники инженерного эксперимента;
- изучение методов математической обработки опытных данных и приобретение навыков их использования в реальных задачах экспериментальной механики машин;
- закрепление практических навыков поэтапного выполнения экспериментальных работ целевой направленности и информативного представления результатов исследований.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП специалитета.

Курс «Экспериментальная механика машин» относится к числу дисциплин части, формируемой участниками образовательных отношений основной образовательной программы специалитета. Данная дисциплина взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими учебными курсами и практиками ООП:

– введение в специальность;

– испытание автомобилей и тракторов;
– механика композиционных материалов;
– теория упругости;
– теория пластичности;
– теория ползучести;
– динамика машин;
– программные комплексы инженерного анализа в механике;
– основы физики прочности и механика разрушения;
– 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** | **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине** |
|---|---|---|
| ПК-1 | Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов. | **знать:**<br>общие теоретические и методологические подходы к постановке и проведению научно-исследовательских работ;<br>**уметь:**<br>• обосновывать и грамотно формулировать главные цели выполняемых исследований с учетом их комплексной взаимосвязи с работами в смежных направлениях;<br>• намечать общие пути достижения поставленных целей и комплекс возможных средств из общего экспериментального инструментария;<br>**владеть:**<br>методами реализации стратегий научных исследований. |

## 4. Общая структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, т.е. 288 академических часов (из них 144 часа – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Экспериментальная механика машин» преподаются на третьем и четвертом курсах обучения. В частности:

в **шестом** семестре выделяется 4 зачетные единицы, т.е., 144 академических часа, из них 72 часа – самостоятельная работа студентов;

в **седьмом** семестре выделяется 4 зачетные единицы, т.е., 144 академических часа, из них 72 часа – самостоятельная работа студентов.

**Шестой семестр:** лекции –1 час в неделю (18 часов), семинары – 1 час в неделю (18 часов), лабораторные работы –2 часа в неделю (36 часов). Форма итогового контроля – Зачет.

**Седьмой семестр:** лекции –1 час в неделю (18 часов), семинары – 1 час в неделю (18 часов), лабораторные работы –2 часа в неделю (36 часов). Форма итогового контроля – Экзамен.

Конкретное представление структурных позиций дисциплины «Экспериментальная механика машин» 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 механических испытаний конструкций и материалов (по виду напряженного состояния, по температурному режиму испытаний, по временному воздействию внешней нагрузки, по природе воздействия).

**Раздел 1.**

Подходы и методы в общей 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, возникающих в элементах конструкций машин.

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.

Понятие об основных моделях и методах анализа временных рядов. Регрессионные модели временного ряда. Прогнозирование на основе тренда. Спектральный анализ временного ряда. Фурье анализ. Понятие о вейвлет-анализе.

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.

## 5. Образовательные технологии.

Методика преподавания дисциплины «Экспериментальная механика машин» 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;

– защита расчетно-графических работ по дисциплине;
– обсуждение и защита на семинарских занятиях рефератов и презентаций по актуальным темам 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 «Экспериментальная механика машин», 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 шестом семестре***:
– подготовка к выполнению лабораторных работ; представление и защита отчетов;
– подготовка реферата по общей тематике: «Методы и задачи экспериментального исследования характеристик механического состояния и поведения материалов и элементов конструкций машин» (индивидуально для каждого обучающегося); выступление с презентацией на семинарском занятии.

***На седьмом семестре***:
– подготовка к выполнению лабораторных работ; представление и защита отчетов;
– выполнение расчетно-графической работы по теме «Обработка данных тензометрических измерений»;
– выполнение и защита курсового проекта по общей тематике «Применение методов и средств экспериментальной механики для анализа напряженно-деформированного состояния и прочности элементов конструкций машин» (индивидуальные задания каждому обучающемуся выдаются на втором семестре);

– выступление с презентацией и обсуждением по тематике курсовой работы на семинарском занятии;

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** |
|---|---|
| ПК-1 | Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов. |

В процессе освоения программы данные компетенции формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин, 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** |
| ***ПК-1 Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов.*** | | | | |
| **Знать:** метрологические и технические характеристики основного и специализированног | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний метрологических и | Обучающийся демонстрирует ограниченный объем знаний метрологических и технических характеристик приборов | Обучающийся демонстрирует вполне приемлемое соответствие знаний метрологических и технических | Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний метрологических и технических |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| о оборудования для измерения параметров механического состояния тел (перемещений, деформаций, силовых величин). | технических характеристик приборов и оборудования, используемого в экспериментальной механике. | 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. | характеристик приборов и оборудования, используемого в экспериментальной механике. Допускаются незначительные ошибки, неточности и затруднения в изложении материала. | 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. |

### *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-графической работе, выполнившие курсовую работу, сдавшие итоговые отчеты по ней и выступившие с презентациями по рассмотренным темам.

| **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 2.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

### а) основная литература:

1. Третьяк, Л. Н. Основы теории и практики обработки экспериментальных данных : учебное пособие для вузов / Л. Н. Третьяк, А. Л. Воробьев ; под общей редакцией Л. Н. Третьяк. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 237 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08623-2.
URL: https://urait.ru/bcode/454093
2. Григорьев, Ю.Д. Методы оптимального планирования эксперимента: линейные модели: учебное пособие / Ю.Д. Григорьев. — Санкт-Петербург: Лань, 2015. — 320 с.
URL: https://e.lanbook.com/book/65949

**б) дополнительная литература:**

1. Мойзес, Б. Б. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных: учебное пособие для вузов / Б. Б. Мойзес, И. В. Плотникова, Л. А. Редько. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 118 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11906-0.
URL: https://urait.ru/bcode/476267

**в) Электронные образовательные ресурсы:**

Курс «Экспериментальные методы исследования прочности»
- https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=5611

Курс «Экспериментальные методы исследования прочности (модуль 2)»
- https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=9220

**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 наноперемещений.
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 «Экспериментальная механика машин» по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, профиль: «Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении» (специалист)

| 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.** (шестой 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. Основные этапы развития технической базы для измерений механических величин: краткий обзор принципов, методов и средств измерений перемещений, деформаций и напряжений в объектах исследования. **Выдача тем рефератов.** | 6 | 1 | 4 | | | 1 | | | | | + | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Выдача заданий на курсовой проект** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | *Лекционное занятие:*<br>Механические средства измерений механических величин. Тензометр Гугенбергера. Кернерный тензометр. Индикаторы часового типа.<br>Оптомеханические и оптические тензометры. Тензометр Мартенса.<br>Струнный тензометр.<br>Пневматические тензометры.<br>*Лабораторная работа:*<br>Тензометры. Экспериментальная проверка базовых положений сопромата (с использованием механических датчиков перемещений). | 6 | 2 | 2 | | 2 | 4 | | | | | + | | | |
| 1.3 | *Лекционное занятие:*<br>Общая характеристика класса электрических датчиков для измерения механических величин.<br>Емкостные, индуктивные, трансформаторные и индукционные датчики: физические принципы, входные (измеряемые) величины, варианты реализации.<br>Пьезоэлектрические датчики давления.<br>Подкласс датчиков сопротивления.<br>Реохордные и реостатные преобразователи.<br>Механотронный преобразователь.<br>Тензорезисторные преобразователи: физический принцип (тензоэффект). Типы и виды тензодатчиков.<br>*Семинарское занятие:*<br>Варианты мостовых схем (мост Уитстона) | 6 | 3 | 2 | 2 | | 2 | | | | | + | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | включения тензодатчиков в измерительные электрические цепи. | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 | *Семинарское занятие:*<br>Расчет датчиков перемещений, усилий, моментов и давлений на основе тензорезисторов.<br>*Лабораторная работа:*<br>Тарировка тензорезисторов. | 6 | 4 | | 2 | 2 | 4 | | | | | + | | | |
| 1.5 | *Семинарское занятие:*<br>Вывод зависимостей для определения полного набора параметров деформированного состояния с помощью розеток тензорезисторов различного вида.<br>*Лабораторная работа*:<br>Тензометрическое исследование деформированного состояния цилиндрической оболочки при различных видах внешней нагруженности.<br>Часть 1. Подготовка и проведение испытаний. | 6 | 5 | | 2 | 2 | 4 | | | | | + | | | |
| 1.6 | *Лекционное занятие:*<br>Оптоволоконные датчики: виды и типы; классификация. Датчики деформаций на основе внутриволоконных Брэгговских решеток.<br>*Семинарское занятие:*<br>Расчет параметров чувствительности интерференционных оптоволоконных датчиков деформации и давления.<br>*Лабораторная работа:*<br>Тензометрическое исследование деформированного состояния цилиндрической оболочки при различных | 6 | 6 | 1 | 1 | 2 | 4 | | | | | + | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | видах внешней нагруженности.<br>Часть 2. Обработка результатов, составление и защита отчетов. | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.7 | *Лекционное занятие:*<br>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.<br>*Лабораторная работа:*<br>Ознакомление с современным оборудованием и методами рентгеновской дифрактометрии (на базе специальной лаборатории ИМАШ РАН); демонстрация практического решения специфических задач экспериментальной механики и материаловедения. | 6 | 7 | 2 | | 2 | 4 | | | | | + | | | |
| 1.8 | *Лекционное занятие:*<br>Метод хрупких покрытий: физико-механический принцип, материалы хрупких покрытий, общий подход к определению поля напряжений, качественный анализ.<br>*Семинарское занятие:*<br>Вывод основных зависимостей для численной оценки параметров напряженного состояния по данным метода хрупких покрытий.<br>*Лабораторная работа:*<br>Тарировка (калибровка) хрупкого | 6 | 8 | 1 | 1 | 2 | 4 | | | | | + | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | тензочувствительного покрытия. | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.9 | *Лекционное занятие:*<br>Квазиконтинуальное измерение полей перемещений и деформаций: метод сеток и реперных точек.<br>Метод муаровых полос: физический принцип и основные характеристики. Экспериментальные схемы для измерения тангенциальных и нормальных перемещений и деформаций.<br>*Семинарское занятие:*<br>Вывод базовых формул для геометрических параметров муаровых полос при жестких смещениях, поворотах и деформации рабочего растра.<br>*Лабораторная работа:*<br>Исследование полей перемещений и деформаций методом муаровых полос. | 6 | 9 | 1 | 1 | 2 | 4 | | | | | + | | | |
| 1.10 | *Лекционное занятие:*<br>Поляризационно-оптический метод определения параметров напряженного состояния в плоских образцах из фотоупругого материала. Физический принцип. Плоский полярископ. Полосы и изоклины. Закон Вертгейма.<br>Метод разделения переменных с использованием соотношений теории упругости.<br>Объемная фотоупругость – метод «замораживания» (в рамках качественных представлений).<br>Метод оптически-чувствительных покрытий. | 6 | 10 | 1 | 1 | 2 | 4 | | | | | + | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Семинарское занятие:*<br>Вывод базовых соотношений для кругового полярископа.<br>*Лабораторная работа:*<br>Тарировка фотоупругого материала. | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.11 | *Лекционное занятие:*<br>Полевые когерентно-оптические и оптико-корреляционные методы экспериментальной механики: методы голографической интерферометрии, спекл-интерферометрии и корреляции цифровых изображений.<br>*Семинарское занятие:*<br>Расшифровка картин полос, получаемых методами когерентной оптики и КЦИ: вывод базовых формул и решение типичных задач объектов. | 6 | 11 | 2 | 2 | | 4 | | | | | + | | | |
| 1.12 | *Семинарское занятие:*<br>Вывод базовых формул для метода цифровой спекл-интерферометрии, решение имитационных задач.<br>*Лабораторная работа:*<br>Голографическая интерферометрия – общие подходы и методы. | 6 | 12 | | 2 | 2 | 4 | | | | | + | | | |
| 1.13 | *Лабораторная работа*:<br>Спекл-интерферометрия и КЦИ – общие подходы и методы. | 6 | 13 | | | 4 | 4 | | | | | + | | | |
| 1.14 | *Лекционное занятие:*<br>Типы и конструктивное оформление испытательных машин для исследования механических свойств материалов.<br>Механические и серво-гидравлические разрывные машины. Машины для ударных | 6 | 14 | 2 | | 2 | 4 | | | | | + | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | испытаний (копры). Машины для испытаний на ползучесть и длительную прочность. Твердомеры. Машины для проведения специальных испытаний. Контрольно-измерительная аппаратура испытательных машин. Вспомогательное оборудование для проведения испытаний в расширенном диапазоне температур. *Лабораторная работа:* Получение и анализ диаграмм квазистатического деформирования конструкционных материалов (на разрывной испытательной машине). | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.15 | *Лабораторная работа:* Испытание образцов с концентраторами напряжений с анализом деформированного состояния методом КЦИ (на разрывной испытательной машине). | 6 | 15 | | | 4 | 5 | | | | | + | | | |
| 1.16 | *Лабораторная работа:* Определение механических свойств сварных соединений (на разрывной испытательной машине). | 6 | 16 | | | 4 | 5 | | | | | + | | | |
| 1.17 | *Лабораторная работа:* Методы дефектоскопии и неразрушающего контроля в машиностроении. | 6 | 17 | | | 4 | 5 | | | | | + | | | |
| 1.18 | *Семинарское занятие:* Выступление с презентаций по темам подготовленных рефератов. Общий анализ. | 6 | 18 | | 4 | | 6 | | | | | + | | | |
| | ***Форма аттестации*** | 6 | | | | | | | | | | Реферат | | | + |
| | ***Всего часов по дисциплине в шестом семестре*** | 6 | | **18** | **18** | **36** | **72** | | | | | | | | |
| 2 | **Раздел 2.** (седьмой семестр) | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.1 | *Лекционное занятие:*<br>Общие подходы и задачи обработки исходных данных эксперимента. Элементарная теория ошибок измерений. Классификация ошибок измерений. Случайные ошибки.<br>Базовые сведения из теории вероятностей и математической статистики. Функции распределения и плотности распределения Типичные виды функции распределений случайной величины. Их параметры и свойства. Нормальный закон Гаусса распределения случайной величины.<br>Вычисление параметров эмпирических распределений случайной величины. Выборочное точечное и интервальное оценивание. оценивание математического ожидания и дисперсии. | 7 | 1 | 4 | | | 3 | | | + | | | | | |
| 2.2 | *Лекционное занятие:*<br>Проверка статистических гипотез: общие понятия и подходы.<br>Гипотезы о параметрах распределения случайной величины. Отсев грубых погрешностей. Сравнение рядов наблюдений.<br>Проверка гипотез о виде функции распределения случайной величины. Построение гистограмм распределений. Критерий согласия.<br>*Лабораторная работа:*<br>Прямые и косвенные измерения: апостериорная оценка погрешностей по экспериментальным выборкам данных. | 7 | 2 | 2 | | 2 | 4 | | | + | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.3 | *Семинарское занятие:*<br>Решение типовых задач по методам проверки статистических гипотез.<br>*Лабораторная работа:*<br>Статистическая обработка данных при измерениях твердости в заготовительных прокатных изделиях (на основе имитационного моделирования результатов экспериментов). | 7 | 3 | | 2 | 2 | 4 | | | + | | | | | |
| 2.4 | *Лекционное занятие:*<br>Построение эмпирических зависимостей. Интерполирование экспериментальных точек (табличных функций). Полиномиальная интерполяция. Вычисление значений полинома по схеме Горнера. Полиномы Лагранжа. Интерполирование периодических функций. Интерполирование точек кусочно-непрерывными функциями.<br>*Семинарское занятие:*<br>Приобретение практических навыков построения интерполяционных полиномов. | 7 | 4 | 2 | 2 | | 3 | | | + | | | | | |
| 2.5 | *Лекционное занятие:*<br>Регрессионный анализ. Идея метода наименьших квадратов. Линейная регрессия. Рабочая система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Регрессионная матрица. Преобразование к нормальному матричному уравнению. Методы решения СЛАУ.<br>Линейная множественная регрессия.<br>Понятие и основные подходы к нелинейной регрессии. | 7 | 5 | 2 | 2 | | 4 | | | + | + | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Семинарское занятие:*<br>Приобретение практических навыков аппроксимации экспериментальных точек по методу наименьших квадратов. Оценка значимости коэффициентов аппроксимации.<br>**Выдача заданий на РГР** | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.6 | *Лекционное занятие:*<br>Основные методы и приемы численного дифференцирования табличных функций. Методы численного интегрирования. Формула прямоугольников. Формула трапеций. Формула Симпсона.<br>*Семинарское занятие:*<br>Приобретение практических навыков численного дифференцирования и интегрирования функций, заданных в табличном виде. Анализ ошибок. | 7 | 6 | 2 | 2 | | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.7 | *Лабораторная работа:*<br>Экспериментально-расчетное определение параметров упругости изотропных и анизотропных конструкционных материалов. Часть 1. Подготовка и выполнение экспериментальных работ. | 7 | 7 | | | 4 | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.8 | *Лабораторная работа:*<br>Экспериментально-расчетное определение параметров упругости изотропных и анизотропных конструкционных материалов. Часть 2. Защита отчетов по выполненным исследованиям с обобщением результатов работ. | 7 | 8 | | | 4 | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.9 | *Лекционное занятие:*<br>Обработка экспериментальных данных как | 7 | 9 | 2 | 2 | | 4 | | | + | + | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | обратная задача механики деформируемого твердого тела. Метод номинального отклика. Итерационный метод.<br>*Семинарское занятие:*<br>Приобретение практических навыков решения обратной задачи экспериментальной механики. Алгоритмы компьютерного анализа. | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.10 | *Лабораторная работа:*<br>Экспериментально-расчетное определение параметров напряженного состояния в окрестности трещиноподобного дефекта (в терминах механики разрушения). Часть 1. Подготовка и проведение экспериментов. | 7 | 10 | | | 4 | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.11 | *Лабораторная работа:*<br>Экспериментально-расчетное определение параметров напряженного состояния в окрестности трещиноподобного дефекта (в терминах механики разрушения). Часть 2. Обработка результатов, составление и защита отчета. | 7 | 11 | | | 4 | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.12 | *Лабораторная работа:*<br>Экспериментально-расчетное определение остаточных напряжений методом сверления отверстий-индикаторов. Часть 1. Подготовка и проведение экспериментов. | 7 | 12 | | | 4 | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.13 | *Лабораторная работа:*<br>Экспериментально-расчетное определение остаточных напряжений методом сверления отверстий-индикаторов. Часть 2. Обработка результатов, составление и защита отчета. | 7 | 13 | | | 4 | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.14 | *Лекционное занятие:* | 7 | 14 | 2 | 2 | | 4 | | | + | + | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Понятие об основных моделях и методах анализа временных рядов. Регрессионные модели временного ряда. Прогнозирование на основе тренда. Спектральный анализ временного ряда. Фурье анализ. Понятие о вейвлет-анализе.<br>*Семинарское занятие:*<br>Приобретение практических навыков анализа временных рядов. | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.15 | *Лабораторная работа:*<br>Исследование кинетики накопления рассеянных повреждений в материале акусто-эмиссионным методом. | 7 | 15 | | | 4 | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.16 | *Лабораторная работа:*<br>Ознакомление с современным оборудованием и методами исследования явлений трения и износа в деталях машин (на базе специальной лаборатории ИМАШ РАН). | 7 | 16 | | | 4 | 4 | | | + | + | | | | |
| 2.17 | *Лекционное занятие:*<br>Методология планирования эксперимента: цели, основные определения и понятия. Логические основы планирования.<br>Планирование первого порядка. Полный факторный эксперимент. Дробный факторный эксперимент.<br>Планирование второго порядка.<br>Оптимальные планы.<br>*Семинарское занятие:*<br>Приобретение практических навыков построения планов эксперимента. | 7 | 17 | 2 | 2 | | 5 | | | + | + | | | | |
| 2.18 | *Семинарское занятие:*<br>Выступление с презентациями по темам | 7 | 18 | | 4 | | 5 | | | + | + | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | выполненных курсовых проектов. | | | | | | | | | | | | | | |
| | ***Форма аттестации*** | | | | | | | | | К.П. | РГР | | | + | |
| | ***Всего часов по дисциплине в седьмом семестре*** | | | **18** | **18** | **36** | **72** | | | | | | | | |
| | ***Всего часов по дисциплине в шестом и седьмом семестрах*** | | | **36** | **36** | **72** | **144** | | | + | + | + | | + | + |

Приложение 3

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Специальность:

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Профиль: Компьютерный инжиниринг в автомобилестроении

Форма обучения: **очная**

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

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

# ПО ДИСЦИПЛИНЕ

# «Экспериментальная механика машин»

**Составитель:**

доцент, к.т.н. И.Н. Одинцев

Москва, 2024 год

# ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

## «Экспериментальная механика машин»

23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства. Специализация: автомобили и тракторы»

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** | **ФОРМУЛИРОВ-КА** | | | | |
| ПК-1 | Способен организовывать разработку конструкций АТС и их компонентов. | **знать:**<br>общие теоретические и методологические подходы к постановке и проведению научно-исследовательских работ;<br>**уметь:**<br>• обосновывать и грамотно формулировать главные цели выполняемых исследований с учетом их комплексной взаимосвязи с работами в смежных направлениях;<br>• намечать общие пути достижения поставленных целей и комплекс возможных средств из общего экспериментального инструментария;<br>**владеть:**<br>методами реализации стратегий научных исследований. | лекции, самостоятельная работа, семинарские занятия. | П,<br>Р<br>З<br>Э | **Базовый уровень**<br>Обучающийся способен анализировать и обобщать информацию, полученную непосредственно в процессе освоения дисциплины.<br><br>**Повышенный уровень**<br>Обучающийся способен углубленно анализировать и обобщать информацию, полученную как непосредственно в процессе освоения данной дисциплины, так и в ходе обучения по смежным дисциплинам, а также приобретаемой самостоятельно. |

**Перечень оценочных средств по дисциплине**

# «Экспериментальная механика машин»

| № 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 |
| 4 | 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 |
| 5 | 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

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 Экспериментальная механика машин
Специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства
Курс 3, семестр 6

**ЗАЧЕТНЫЙ БИЛЕТ № 4.**

1. Что фактически измеряет струнный тензометр?
2. Какими способами создается спекл-структура в методе КЦИ?

Утверждено на заседании кафедры «___» сентября 20__ г., протокол № ___

Зав. кафедрой _____ /А.А.Скворцов/

---

Перечень вопросов к зачету (6 семестр)

| **Вопросы к зачету** | **Код компетенции** |
|---|---|
| Перечислите основные метрологические средства измерений. | **ПК-1** |
| На каком общем принципе основаны механические датчики перемещений (деформаций)? | **ПК-1** |
| От чего зависит точность измерений деформации образца с помощью тензометра Мартенса? | **ПК-1** |
| Что фактически измеряет струнный тензометр? | **ПК-1** |
| В каком случае целесообразнее использовать дифференциальные пневматические датчики вместо обычных? | **ПК-1** |
| Назовите примеры активных и пассивных датчиков. | **ПК-1** |
| Поясните понятие «Тензоэффект». | **ПК-1** |
| Каковы основные преимущества и недостатки металлических и полупроводниковых тензорезисторов? | **ПК-1** |
| Каковы преимущества использования мостовых схем подключения тензорезисторов в электрическую цепь? | **ПК-1** |
| С чем связан эффект «мнимой деформации» при температурном воздействии на тензорезисторы? Каковы основные пути его преодоления? | **ПК-1** |
| Что такое дифференциальные индуктивные датчики перемещений? | **ПК-1** |
| В чем состоит основной принцип метода муаровых полос? Какие механические характеристики определяются с его помощью? | **ПК-1** |

| | |
|---|---|
| Сформулируйте принцип действия волоконно-оптических датчиков на Брэгговских решетках. | **ПК-1** |
| Какие характеристики поля напряжений определяются по полосам и изоклинам в методе фотоупругости? | **ПК-1** |
| В чем заключается отличие методов двух экспозиций и реального масштаба времени в голографической интерферометрии? | **ПК-1** |
| Что такое спекл-эффект? | **ПК-1** |
| На чем базируется корреляционный метод спекл-интерферометрии? | **ПК-1** |
| Что является эталоном для измерения перемещений в методах голографической и спекл-интерферометрии? | **ПК-1** |
| В чем заключается сущность метода корреляции цифровых изображений? | **ПК-1** |
| Какими способами создается спекл-структура в методе КЦИ? | **ПК-1** |
| Сравните (в численном выражении) диапазоны измерений перемещений методами корреляционной спекл-интерферометрии и корреляции цифровых изображений? | **ПК-1** |
| Охарактеризуйте в общем виде основные конструктивные особенности разрывных испытательных машин. | **ПК-1** |
| Назовите основные типы машин для ударных испытаний (копров) | **ПК-1** |
| Каковы основные способы нагрева образцов при механических испытаниях материалов в условиях повышенной температуры? | **ПК-1** |
| Какие средства используются для исследования влияния параметров климатических условий на свойства материалов? | **ПК-1** |
| Рентгеновский метод измерения остаточных напряжений. | **ПК-1** |
| Соотношение Глокера-Хесса-Шаабера и его последующая интерпретация | **ПК-1** |
| Закон Вульфа-Брэгга. | **ПК-1** |

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 Экспериментальная механика машин
Специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства
Курс 4, семестр 7

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5.**

1. Пневматический тензометр: принцип действия и варианты реализации.
2. Метод хрупких покрытий.

Утверждено на заседании кафедры «___» сентября 20__ г., протокол № ___

Зав. кафедрой _____ /А.А.Скворцов/

---

Перечень вопросов к экзамену (7 семестр)

| **Вопросы к экзамену** | **Код компетенции** |
|---|---|
| Метрологическая классификация методов измерений. Типы и виды средств измерений. | **ПК-1** |
| Механические датчики перемещений и деформаций. | **ПК-1** |
| Оптические и оптомеханические датчики перемещений и деформаций. | **ПК-1** |
| Струнный тензометр: принцип действия и применение. | **ПК-1** |
| Пневматический тензометр: принцип действия и варианты реализации. | **ПК-1** |
| Реохордные и реостатные датчики перемещений: принцип действия и варианты реализации. | **ПК-1** |
| Резистивная тензометрия: тензоэффект, виды и типы тензодатчиков. | **ПК-1** |
| Резистивная тензометрия: способы подключения датчиков в измерительную цепь моста Уитстона. | **ПК-1** |
| Резистивная тензометрия: получение и обработка результатов для общего случая напряженно-деформированного состояния. | **ПК-1** |
| Емкостные датчики: физический принцип и реализация. | **ПК-1** |
| Индуктивные датчики: физический принцип и реализация. | **ПК-1** |
| Трансформаторные датчики: физический принцип и реализация. | **ПК-1** |
| Индукционные датчики скорости вращения: физический принцип и реализация. | **ПК-1** |
| Волоконно-оптические датчики: принцип и общая классификация. Датчики на основе Брэгговских решеток. | **ПК-1** |

| | |
|---|---|
| Метод хрупких покрытий. | **ПК-1** |
| Рентгеновский метод измерения остаточных напряжений. | **ПК-1** |
| Методы муаровых полос: получение и обработка результатов для случая плоской деформации. | **ПК-1** |
| Методы муаровых полос: получение и обработка результатов для случая деформации изгиба. | **ПК-1** |
| Методы фотоупругости: плоский полярископ, получение и обработка результатов. | **ПК-1** |
| Метод оптически-чувствительных покрытий. | **ПК-1** |
| Основные методы голографической интерферометрии. | **ПК-1** |
| Основные методы спекл-интерферометрии. | **ПК-1** |
| Метод корреляции цифровых изображений: принцип получения и обработки результатов. | **ПК-1** |
| Функции распределения случайной величины и плотности распределения, их параметры и основные свойства. Нормальный закон распределения Гаусса. | **ПК-1** |
| Точечное выборочное оценивание математического ожидания и дисперсии. | **ПК-1** |
| Интервальное оценивание параметров распределения случайной величины. Доверительный интервал и доверительная вероятность. Оценивание математического ожидания. | **ПК-1** |
| Интервальное оценивание параметров распределения случайной величины. Доверительный интервал и доверительная вероятность. Оценивание дисперсии. | **ПК-1** |
| Проверка статистических гипотез. Отсев грубых погрешностей (по критерию Смирнова). | **ПК-1** |
| Проверка статистических гипотез. Сравнение двух дисперсий (по критерию Фишера). | **ПК-1** |
| Проверка статистических гипотез. Проверка однородности нескольких дисперсий (по критерию Кочрена). | **ПК-1** |
| Проверка статистических гипотез. Сравнение математического ожидания с заданной величиной (по критерию Стьюдента). | **ПК-1** |
| Проверка статистических гипотез. Сравнение двух математических ожиданий (по критерию Стьюдента). | **ПК-1** |
| Проверка гипотез о виде функции распределения случайной величины. Построение гистограммы распределения случайной величины. | **ПК-1** |
| Проверка гипотез о виде функции распределения случайной величины по критериям Пирсона и Колмогорова – Смирнова. | **ПК-1** |
| Полиномиальная интерполяция. Полиномы Лагранжа. | **ПК-1** |
| Методы численного дифференцирования табличных функций. | **ПК-1** |
| Методы численного интегрирования: формулы прямоугольников, трапеций, Симпсона. | **ПК-1** |
| Регрессионный анализ. Метод наименьших квадратов. | **ПК-1** |

| | |
|---|---|
| Задачи и методы анализа временных рядов. | **ПК-1** |
| Фурье-анализ временных рядов. | **ПК-1** |
| Вейвлет-анализ временных рядов. | **ПК-1** |
| Методология планирования эксперимента. Планирование первого порядка: понятия о полном и дробном факторном эксперименте. | **ПК-1** |
| Типы и конструктивные особенности разрывных испытательных машин. | **ПК-1** |
| Типы и конструктивные особенности машин для ударных испытаний (копров). | **ПК-1** |
| Типы и конструктивные особенности машин для исследования ползучести и длительной прочности | **ПК-1** |

**Примерные темы курсовых проектов**

по общей тематике «Применение методов и средств экспериментальной механики для анализа напряженно-деформированного состояния и прочности элементов конструкций машин»

**(седьмой семестры)**

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).

**Примерные темы рефератов с последующим докладом (сообщением)**
по общей тематике «Методы и задачи экспериментального исследования характеристик механического состояния и поведения материалов и элементов конструкций машин»
(**шестой семестр**)

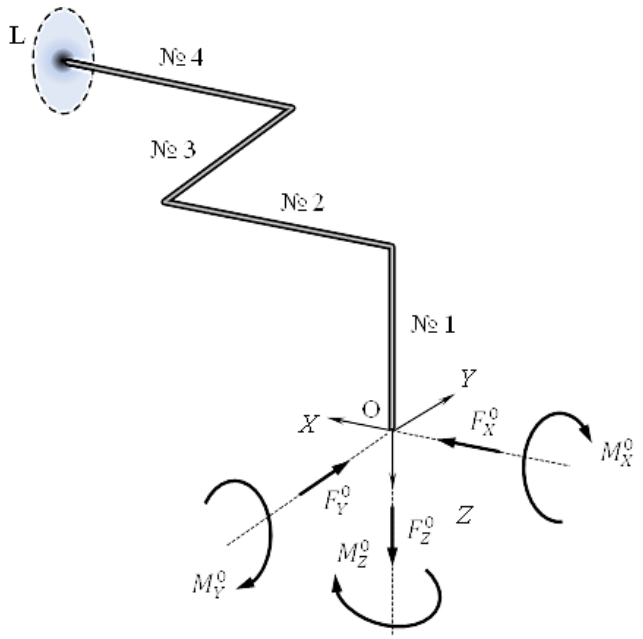
1. Методы испытаний материалов в расширенном диапазоне температур.
2. Методы экспериментального определения коэффициентов интенсивности напряжений.
3. Акустические методы исследования остаточных напряжений.
4. Мониторинг механического состояния композитных конструкций с использованием интегрированных 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

## Пример задания на выполнение расчетно-графической работы

по теме «Обработка данных тензометрических измерений»
**(седьмой 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"
```