

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И ИННОВАЦИЙ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

МОО ВО Кыргызско-Российский Славянский университет  
имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина



**УТВЕРЖДАЮ**

Директор  
(должность)  
Лоцев Г.В.  
(ФИО)

3 сентября \_\_\_\_ 2026 г.

## Планирование эксперимента и методы обработки данных

### рабочая программа дисциплины (модуля)

|                        |                                                                                                                           |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Закреплена за кафедрой | <b>Высшая школа Природопользования, мехатроники и транспорта</b>                                                          |
| Учебный план           | Направление 15.03.03 - РФ, 650500 - КР Прикладная механика<br>Профиль "Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг" |
| Квалификация           | <b>бакалавр</b>                                                                                                           |
| Форма обучения         | <b>очная</b>                                                                                                              |

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| Общая трудоемкость      | <b>4 ЗЕТ</b> |
| Часов по учебному плану | 144          |
| в том числе:            |              |
| аудиторные занятия      | 48           |
| самостоятельная работа  | 95,8         |

Виды контроля в семестрах:  
зачет с оценкой 7

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр<br>( <b>&lt;Курс&gt;.&amp;b&gt;&lt;Семестр на курсе&gt;</b> ) | <b>7 (4.1)</b> |      | Итого |      |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------|------|-------|------|
| Недель                                                                | 18             |      |       |      |
| Вид занятий                                                           | уп             | рп   | уп    | рп   |
| Лекции                                                                | 16             | 16   | 16    | 16   |
| Лабораторные                                                          | 16             | 16   | 16    | 16   |
| Практические                                                          | 16             | 16   | 16    | 16   |
| Контактная работа в период теоретического обучения                    | 0,2            | 0,2  | 0,2   | 0,2  |
| В том числе инт.                                                      | 2              | 2    | 2     | 2    |
| В том числе в форме практ.подготовки                                  | 16             |      | 16    |      |
| Итого ауд.                                                            | 48             | 48   | 48    | 48   |
| Контактная работа                                                     | 48,2           | 48,2 | 48,2  | 48,2 |
| Сам. работа                                                           | 95,8           | 95,8 | 95,8  | 95,8 |
| Итого                                                                 | 144            | 144  | 144   | 144  |

Программу составил(и):

к.ф.-м.н., Герман Константин Анатольевич

к.т.н, Джаманкулов Азамат Кенешбекович

Рецензент(ы):

к.ф.-м.н., Комарцов Никита Михайлович

д.т.н, Муслимов Аннас Поясович

Согласовано РОП:

к.ф.-м.н., Герман Константин Анатольевич

Рабочая программа дисциплины

**Планирование эксперимента и методы обработки данных**

разработана в соответствии с ФГОС 3++:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика (приказ Минобрнауки России от 09.08.2021 г. № 729)

составлена на основании учебного плана:

Направление 15.03.03 - РФ, 650500 - КР Прикладная механика

Профиль "Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг"

утвержденного учёным советом вуза от 26.06.2026 протокол № 11.

Рабочая программа одобрена на заседании **Высшей школы Природопользования, мехатроники и транспорта**

Протокол от 02.09.2026 г. № 1

Срок действия программы: 2026-2032 уч.г.

Руководитель подразделения: Алсеитов Мирлан Тилегенович

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**  
**к рабочей программе дисциплины (модуля)**

**Планирование эксперимента и методы обработки данных**

| <b>№<br/>п/п</b> | <b>Основание<br/>внесения<br/>изменения</b> | <b>Раздел/ пункт</b> | <b>Содержание изменения</b> |
|------------------|---------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| <b>1.</b>        |                                             |                      |                             |
| <b>2.</b>        |                                             |                      |                             |
| <b>3.</b>        |                                             |                      |                             |
| <b>4.</b>        |                                             |                      |                             |
| <b>5.</b>        |                                             |                      |                             |

### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1 | формирование у студентов системных знаний и практических навыков планирования, проведения и анализа экспериментальных исследований в области прикладной механики. Дисциплина направлена на освоение методов выбора факторов и параметров эксперимента, формирования экспериментальных планов и получения достоверных данных о механических объектах и процессах. Особое внимание уделяется применению статистических методов обработки, оценивания погрешностей, проверки значимости результатов и построения математических моделей исследуемых процессов. В результате освоения дисциплины студент должен приобрести способность самостоятельно организовывать экспериментальное исследование, обрабатывать полученные данные и обоснованно интерпретировать результаты для решения инженерных задач. |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

|                    |                                                                                                              |        |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Цикл (раздел) ООП: |                                                                                                              | Б1.В.1 |
| 2.1                | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>                                                 |        |
| 2.1.1              | Б1.О.3.03. Сопротивление материалов                                                                          |        |
| 2.1.2              | Б1.О.3.05. Материаловедение                                                                                  |        |
| 2.1.3              | Б1.В.1.ДВ.06.01. Специальные главы высшей математики                                                         |        |
| 2.1.4              | Б1.О.3.01. Введение в профессиональную деятельность                                                          |        |
| 2.1.5              | Б1.О.2.02. Математический анализ                                                                             |        |
| 2.1.6              | Б1.О.2.03. Линейная алгебра и аналитическая геометрия                                                        |        |
| 2.1.7              | Б1.О.2.05. Теория вероятностей и математическая статистика                                                   |        |
| 2.2                | <b>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |        |
| 2.2.1              | Б3.О.02. Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена                                                |        |
| 2.2.2              | Б1.В.1.ДВ.04.01. Экспериментальная механика деформируемого твердого тела                                     |        |
| 2.2.3              | Б2.О.02(Пд). Преддипломная практика                                                                          |        |
| 2.2.4              | Б3.О.03. Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы                            |        |

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ПК-1: Способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследования, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности**

|                 |                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Знать:</b>   |                                                                                                                                                                                                                                              |
| Уровень 1       | Знать:<br><input type="checkbox"/> Физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;           |
| Уровень 2       |                                                                                                                                                                                                                                              |
| Уровень 3       |                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Уметь:</b>   |                                                                                                                                                                                                                                              |
| Уровень 1       | Уметь:<br><input type="checkbox"/> Применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности; |
| Уровень 2       |                                                                                                                                                                                                                                              |
| Уровень 3       |                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Владеть:</b> |                                                                                                                                                                                                                                              |
| Уровень 1       | Владеть:<br><input type="checkbox"/> физико-математический аппаратом для проведения исследований;<br><input type="checkbox"/> навыками использования математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности  |
| Уровень 2       |                                                                                                                                                                                                                                              |
| Уровень 3       |                                                                                                                                                                                                                                              |

**ПК-3: Готовностью проводить патентные исследования для определения характеристик машин, конструкций, сооружений, установок, агрегатов, оборудования, приборов и аппаратуры, и их элементов**

|               |
|---------------|
| <b>Знать:</b> |
|---------------|

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уровень 1       | Знать:<br><input type="checkbox"/> алгоритмы проведения патентных исследований в национальных и международных базах;<br><input type="checkbox"/> нормативно-правовое законодательство при проведении патентных исследований<br><input type="checkbox"/> патентные базы                                                                                                      |
| Уровень 2       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Уровень 3       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Уметь:</b>   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Уровень 1       | Уметь:<br><input type="checkbox"/> проводить патентные исследований в национальных и международных базах;                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Уровень 2       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Уровень 3       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Владеть:</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Уровень 1       | Владеть:<br><input type="checkbox"/> методами проведения патентных исследований в национальных и международных базах;<br><input type="checkbox"/> методами проведения расчетно-экспериментальных работ в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий |
| Уровень 2       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Уровень 3       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

|            |                                                                                                           |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3.1</b> | <b>Знать:</b>                                                                                             |
| 3.1.1      | основные принципы и методы планирования экспериментальных исследований;                                   |
| 3.1.2      | виды экспериментальных планов и области их применения в прикладной механике;                              |
| 3.1.3      | методы статистической обработки экспериментальных данных;                                                 |
| 3.1.4      | методы оценки погрешностей и неопределенности измерений;                                                  |
| 3.1.5      | методы проверки статистических гипотез, оценки значимости факторов и адекватности математических моделей; |
| 3.1.6      | основные методы регрессионного и корреляционного анализа.                                                 |
| <b>3.2</b> | <b>Уметь:</b>                                                                                             |
| 3.2.1      | формулировать цель и задачи экспериментального исследования;                                              |
| 3.2.2      | выбирать факторы, параметры и диапазоны их изменения;                                                     |
| 3.2.3      | разрабатывать план проведения эксперимента с учетом требуемой точности и объема исследований;             |
| 3.2.4      | выполнять статистическую обработку и анализ экспериментальных данных;                                     |
| 3.2.5      | оценивать погрешности измерений и достоверность полученных результатов;                                   |
| 3.2.6      | строить и оценивать математические модели исследуемых механических процессов;                             |
| 3.2.7      | интерпретировать результаты эксперимента и формулировать инженерные выводы.                               |
| <b>3.3</b> | <b>Владеть:</b>                                                                                           |
| 3.3.1      | методами планирования и организации экспериментальных исследований в прикладной механике;                 |
| 3.3.2      | методами статистической и математической обработки экспериментальных данных;                              |
| 3.3.3      | навыками применения компьютерных средств для обработки, визуализации и анализа данных;                    |
| 3.3.4      | методами оценки точности, воспроизводимости и достоверности результатов эксперимента;                     |
| 3.3.5      | навыками представления и документирования результатов экспериментальных исследований.                     |

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/                | Семестр / Курс | Часов | Компетенции | Литература | Инте ракт. | Пр. подг. | Примечание |
|-------------|----------------------------------------------------------|----------------|-------|-------------|------------|------------|-----------|------------|
|             | Раздел 1. Постановка эксперимента и достоверность данных |                |       |             |            |            |           |            |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |   |           |                              |  |  |  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----------|------------------------------|--|--|--|
| 1.1 | <p>Постановка экспериментального исследования в прикладной механике</p> <p>Исследовательский вопрос и измеряемый отклик: определение жёсткости, деформации или собственной частоты; различие физического и вычислительного эксперимента.</p> <p>Управляемые факторы, мешающие переменные и ограничения: нагрузка, геометрия образца, температура, условия закрепления; выбор диапазонов без выхода за допустимые режимы.</p> <p>Экспериментальная единица, независимый повтор и повторное считывание прибора; предотвращение псевдоповторностей при испытании одного образца.</p> <p>Последовательность исследования: предварительные опыты, основной план, контрольные опыты; рандомизация и блокирование как способы уменьшения влияния мешающих переменных.</p> <p>Структура протокола: идентификатор образца, единицы, условия, порядок опытов и исходные данные; использование описаний аналогичных испытательных устройств при подготовке эксперимента.</p> <p>/Лек/</p> | 7 | 2 | ПК-1 ПК-3 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 1.2 | <p>Постановка задачи исследования жёсткости механического элемента и составление паспорта факторов /Пр/</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 7 | 2 | ПК-1 ПК-3 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 1.3 | <p>Регистрация серии повторных измерений перемещения и ведение электронного протокола /Лаб/</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 7 | 2 | ПК-1      | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |   |      |                              |  |  |  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|------|------------------------------|--|--|--|
| 1.4 | Первичная обработка результатов и оценивание неопределённости измерений<br>Выборочное среднее, стандартное отклонение и стандартная ошибка среднего; смысл показателей при серии независимых измерений. Графики исходных данных, пропуски и подозрительные наблюдения; проверка причин отклонений без автоматического удаления неудобных результатов. Погрешность и неопределённость: различие понятий, систематические эффекты и поправки; оценивание стандартной неопределённости по типам А и В. Модель косвенного измерения и коэффициенты чувствительности; суммарная стандартная неопределённость с учётом независимости или корреляции входных величин. Доверительный интервал среднего и расширенная неопределённость; выбор коэффициента охвата и запись результата на примере определения модуля упругости. /Лек/ | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 1.5 | Расчёт статистических характеристик серии измерений и бюджета неопределённости модуля упругости /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 1.6 | Компьютерная обработка серии измерений и оценивание неопределённости косвенного результата. /Лаб/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |   |    |           |                              |   |  |                  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|-----------|------------------------------|---|--|------------------|
| 1.7  | <p>Проверка гипотез и сравнение результатов механических испытаний</p> <p>Нулевая и альтернативная гипотезы, уровень значимости, р-значение и ошибки первого и второго рода; различие статистической и инженерной значимости.</p> <p>Сравнение двух независимых серий: t-критерий Уэлча; парные измерения как отдельная схема, требующая другого анализа.</p> <p>Однофакторный дисперсионный анализ при сравнении трёх режимов испытания; межгрупповая и внутригрупповая изменчивость. Независимость, распределение ошибок и однородность дисперсий; графическая диагностика и выбор альтернативы при нарушении предпосылок.</p> <p>Практически существенный эффект, доверительные интервалы и ориентировочный выбор объёма выборки; ограничения выводов по малым сериям.</p> <p>/Лек/</p> | 7 | 2  | ПК-1      | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |   |  |                  |
| 1.8  | Сравнение двух серий механических испытаний и дисперсионный анализ режимов нагружения /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 7 | 2  | ПК-1      | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 | 2 |  | командная работа |
| 1.9  | Проверка гипотез о различии механических характеристик двух выборок. /Лаб/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 7 | 2  | ПК-1      | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |   |  |                  |
| 1.10 | <p>Выбор механического объекта; схема измерений, перечень факторов и поиск двух патентных аналогов испытательного устройства.</p> <p>Повторение статистики; расчёт интервала среднего и бюджета неопределённости косвенного измерения</p> <p>Обоснование гипотез, выбор независимой или парной схемы, оценка практически значимого эффекта /Ср/</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 7 | 34 | ПК-1 ПК-3 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |   |  |                  |
|      | <b>Раздел 2. Построение экспериментальных планов</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   |    |           |                              |   |  |                  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |   |      |                              |  |  |  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|------|------------------------------|--|--|--|
| 2.1 | <p>Полный факторный эксперимент и взаимодействие факторов</p> <p>Переход от поочерёдного изменения факторов к совместному варьированию; преимущества факторного плана при исследовании взаимодействий.</p> <p>Натуральные и кодированные значения факторов; нулевой уровень и интервал варьирования; построение матрицы плана <math>2^2</math> и её расширение до <math>2^3</math>.</p> <p>Главные эффекты и двухфакторные взаимодействия; различие эффекта фактора и коэффициента регрессии в кодированных переменных.</p> <p>Ортогональность столбцов плана и оценка коэффициентов; механический смысл взаимодействия нагрузки и геометрии при анализе отклика.</p> <p>Независимые повторы, рандомизированный порядок и центральные точки; получение оценки случайного разброса и обнаружение признаков кривизны.</p> <p>/Лек/</p> | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 2.2 | <p>Построение полного факторного плана <math>2^2</math> и оценка главных эффектов и взаимодействия /Пр/</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 2.3 | <p>Обработка результатов полного факторного эксперимента <math>2^2</math> с независимыми повторами. /Лаб/</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |    |      |                              |  |  |  |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|------|------------------------------|--|--|--|
| 2.4 | Дробные факторные планы и организация серий опытов<br>Сокращение числа опытов с помощью дробной реплики $2^k$ (к-р); выбор плана при ограниченных образцах и времени стенда.<br>Генерирующее соотношение, определяющее соотношение и смешивание эффектов на примере плана $2^{3-1}$ .<br>Разрешающая способность плана и ограничения интерпретации главных эффектов при наличии взаимодействий.<br>Блокирование по партиям материала и дням испытаний; различие блокирования и полного смешения фактора с днём проведения опытов.<br>Последовательное расширение плана: дополнительные комбинации, повторы и центральные точки; выбор следующей серии по выявленной неопределённости.<br>/Лек/ | 7 | 2  | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 2.5 | Построение дробной реплики $2^{3-1}$ и анализ смешивания эффектов с учётом блокирования /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 7 | 2  | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 2.6 | Формирование и анализ дробного факторного плана в статистическом программном обеспечении. /Лаб/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 7 | 2  | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 2.7 | Кодирование факторов, рандомизация плана $2^2$ , расчёт коэффициентов и взаимодействия<br>Смешивание эффектов дробной реплики и предложение дополнительной серии /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 7 | 22 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
|     | <b>Раздел 3. Математические модели экспериментальных зависимостей.<br/>Вычислительный эксперимент и инженерная интерпретация.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |    |      |                              |  |  |  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |      |                              |  |  |  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|------|------------------------------|--|--|--|
| 3.1 | Регрессионное моделирование и проверка пригодности модели<br>Линейная по коэффициентам регрессионная модель, матрица плана и метод наименьших квадратов; требования к рангу и числу наблюдений.<br>Парная и множественная регрессия; корреляция, коллинеарность и границы причинной интерпретации зависимости.<br>Оценки коэффициентов, стандартные ошибки, доверительные интервалы и проверка значимости; сохранение иерархии модели при наличии взаимодействий. Остатки, выбросы, неодинаковая дисперсия и влияние отдельных наблюдений; коэффициент детерминации как один из показателей, а не доказательство адекватности. Разделение остаточной суммы квадратов на чистую ошибку и несоответствие модели при наличии повторов; доверительный интервал среднего отклика и интервал прогноза.<br>/Лек/ | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 3.2 | Оценивание коэффициентов регрессии и проверка несоответствия модели экспериментальным данным /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 3.3 | Построение регрессионной модели и диагностика остатков. /Лаб/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |   |      |                              |  |  |  |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|------|------------------------------|--|--|--|
| 3.4 | <p>Поверхности отклика и последовательный поиск рациональных режимов</p> <p>Обнаружение кривизны и переход от модели первого порядка к квадратичной модели двух факторов.</p> <p>Структура центрального композиционного плана: факторные, звёздные и центральные точки; проверка допустимости каждой комбинации режимов.</p> <p>Оценивание линейных, квадратичных членов и взаимодействия; количество коэффициентов, ранг плана и достаточность числа опытов.</p> <p>Изолинии поверхности, стационарная точка и проверка характера экстремума; ограничения по прочности, перемещениям и диапазонам факторов.</p> <p>Выбор рациональной области с учётом разброса и проведение подтверждающих опытов; отказ от экстраполяции за исследованный диапазон.</p> <p>/Лек/</p> | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 3.5 | <p>Построение центрального композиционного плана и определение стационарной точки поверхности отклика /Пр/</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 3.6 | <p>Построение поверхности отклика и проверка выбранного режима по контрольным данным. /Лаб/</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 7 | 2 | ПК-1 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   |      |           |                              |  |  |  |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------|-----------|------------------------------|--|--|--|
| 3.7  | Планы вычислительных экспериментов и сопоставление с испытаниями<br>Отличие детерминированного расчёта от физического опыта; численная ошибка, изменчивость входных параметров и ошибка модели как разные источники расхождений.<br>Латинский гиперкуб как способ заполнения многомерной области для серии компьютерных расчётов; отличие такой выборки от физического повторения опыта. Проверка чувствительности результата к размеру сетки и шагу расчёта; отделение численной сходимости от соответствия реальному объекту.<br>Сопоставление расчётных и экспериментальных откликов при одинаковых нагрузках и граничных условиях; калибровочные и независимые проверочные данные.<br>Воспроизводимый отчёт: исходные данные, версии программ, обработка, графики с единицами и интервалами; инженерный вывод с указанием области применимости модели.<br>/Лек/ | 7 | 2    | ПК-1 ПК-3 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 3.8  | Разработка плана вычислительных опытов и схемы независимой проверки расчётной модели /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 7 | 2    | ПК-1 ПК-3 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 3.9  | Сопоставление экспериментальных и расчётных данных с подготовкой воспроизводимого отчёта. /Лаб/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 7 | 2    | ПК-1      | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 3.10 | Регрессия, анализ остатков и проверка несоответствия модели при повторях.<br>Квадратичная модель, ограничения области и план подтверждения выбранного режима.<br>Сборка индивидуального исследования; проверка воспроизводимости и подготовка к промежуточной аттестации. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 7 | 39,8 | ПК-1 ПК-3 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |
| 3.11 | Консультации и проведение зачета /КрТО/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 7 | 0,2  | ПК-1 ПК-3 | Л1.1Л2.1<br>Л2.2Л3.1<br>Л3.2 |  |  |  |

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 5.1. Контрольные вопросы и задания

1 Вопросы для текущего контроля

1. Лекция 1. Как определить отклик и управляемые факторы при испытании на изгиб? Чем независимый повтор отличается от нескольких отсчётов на одном образце? Какие сведения необходимы в протоколе?
2. Лекция 2. Почему стандартное отклонение наблюдений отличается от стандартной ошибки среднего? Какие данные используют при оценивании по типам А и В? Как включить корреляцию входных величин в бюджет неопределённости?
3. Лекция 3. Что означает р-значение? Когда применяют независимый и парный анализ? Какие предпосылки необходимо проверить перед однофакторным ANOVA?
4. Лекция 4. Как перейти к кодированным факторам? Чем эффект фактора отличается от коэффициента модели? Как обнаружить взаимодействие нагрузки и геометрии?
5. Лекция 5. Что означает смешивание эффектов? Какие ограничения имеет план разрешения III? Как различаются рандомизация и блокирование?
6. Лекция 6. Почему высокий  $R^2$  не доказывает пригодность модели? Какие признаки видны на графике остатков? Когда можно отделить чистую ошибку от несоответствия модели?
7. Лекция 7. Для чего нужны звёздные и центральные точки? Как определить характер стационарной точки? Почему найденный режим необходимо подтвердить?
8. Лекция 8. Почему повтор одинакового детерминированного расчёта не оценивает экспериментальный разброс? Чем численная сходимость отличается от валидации? Какие данные следует сохранить для воспроизведения анализа?

## 2 Задания для текущего контроля

### 31 Обработка повторных измерений

Получены независимые измерения перемещения, мм: 10,02; 9,98; 10,01; 10,03; 9,96. При допущении нормальности ошибок вычислить среднее, исправленное стандартное отклонение, стандартную ошибку и двусторонний 95-процентный доверительный интервал среднего. Указать, какие составляющие неопределённости этим расчётом не учтены.

### 32 Неопределённость косвенного измерения

Для модели  $E = F L / (A \delta)$  заданы  $F = 1000$  Н,  $L = 500$  мм,  $A = 100$  мм<sup>2</sup>,  $\delta = 0,025$  мм. Стандартные неопределённости независимых входных величин: 5 Н; 0,5 мм; 0,5 мм<sup>2</sup>; 0,0005 мм соответственно. Найти  $E$ , суммарную стандартную и расширенную неопределённость при заданном  $k = 2$ . Использовать линейное распространение неопределённости. Объяснить влияние общей калибровки входных величин на допущение независимости.

### 33 Сравнение независимых серий

Две независимые выборки модуля упругости, ГПа:  $A = \{198; 202; 200; 199; 201\}$ ,  $B = \{208; 212; 210; 209; 211\}$ . При нормальных ошибках проверить двустороннюю гипотезу равенства средних критерием Уэлча при  $\alpha = 0,05$ . Оценить разность  $B - A$  и её доверительный интервал. Практически существенным заранее считается различие 5 ГПа.

### 34 Полный факторный эксперимент

Для кодированных комбинаций  $(x_1, x_2) = (-1, -1), (+1, -1), (-1, +1), (+1, +1)$  получены тройки независимых откликов, мм: {7,8; 8,0; 8,2}, {11,8; 12,0; 12,2}, {9,8; 10,0; 10,2}, {17,8; 18,0; 18,2}. Построить модель  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$ , найти эффекты факторов и чистую ошибку. Объяснить, можно ли проверить несоответствие этой модели по четырём уникальным комбинациям.

### 35 Проверка несоответствия модели

После добавления центральных опытов модель оценена заново. Даны сумма квадратов чистой ошибки  $SS_{PE} = 0,40$  при 10 степенях свободы и сумма квадратов несоответствия  $SS_{LOF} = 9,60$  при 1 степени свободы. При  $\alpha = 0,05$  проверить гипотезу отсутствия несоответствия. Объяснить, почему значимость регрессии сама по себе не заменяет эту проверку.

### 36 Дробная реплика

Для плана  $2^{3-1}$  задан генератор  $x_3 = x_1x_2$ . Составить четыре комбинации, записать определяющее соотношение и цепочки смешивания главных эффектов. Оценить, можно ли независимо интерпретировать главный эффект  $x_1$  при возможном взаимодействии  $x_2x_3$ .

### 37 Поверхность отклика

Дана модель  $y = 20 + 4x_1 + 2x_2 - 2x_1^2 - x_2^2$  в области  $-1,5 \leq x_1, x_2 \leq 1,5$ . Найти стационарную точку, определить характер экстремума и значение отклика. Предложить независимые подтверждающие опыты вблизи выбранного режима.

### 38 План и проверка модели

Для исследования влияния двух геометрических параметров на жёсткость предложить план физических опытов и отдельный план детерминированных расчётов. Указать ограничения параметров, независимые экспериментальные единицы, контроль сеточной сходимости и данные, которые нельзя использовать одновременно для калибровки и независимой проверки.

### 39 Поиск технических аналогов

Выбрать испытательное приспособление для растяжения, изгиба или измерения деформаций. Выполнить поиск в национальном и международном патентном ресурсе. Представить запросы и даты поиска, номера публикаций двух релевантных документов, ссылки, признаки устройств и вывод об их полезности для схемы эксперимента. Различать технический аналог и доказательство патентной чистоты; не заявлять правовой статус без проверки в официальном реестре.

## 3 Вопросы для промежуточной аттестации

1. Постановка механического эксперимента: отклик, факторы, ограничения и экспериментальная единица.
2. Рандомизация, блокирование и независимые повторы; последствия псевдоповторности.
3. Погрешность, поправка и неопределённость; оценивание по типам А и В.
4. Бюджет неопределённости косвенного измерения и роль ковариаций.
5. Доверительный интервал среднего и интервал прогноза единичного наблюдения.
6. Проверка гипотез: р-значение, уровень значимости, мощность и практически существенный эффект.
7. Сравнение независимых и парных выборок; однофакторный дисперсионный анализ.
8. Планы  $2^2$  и  $2^3$ ; кодирование факторов и интерпретация взаимодействий.

9. Дробный факторный план, смешивание эффектов и разрешающая способность.
10. Метод наименьших квадратов, ранг матрицы и коллинеарность.
11. Диагностика остатков, чистая ошибка и проверка несоответствия модели.
12. Квадратичная модель, центральный композиционный план и подтверждение экстремума.
13. План вычислительного эксперимента и выборки, заполняющие область параметров.
14. Численная сходимость, калибровка и независимая проверка расчётной модели.
15. Воспроизводимость анализа, структура отчёта и проверяемость технических источников.
16. Поиск аналогов испытательного устройства в национальных и международных патентных базах; пределы выводов по поисковой выдаче.

Практическая часть промежуточной аттестации формируется из заданий 31–38 с равноценными вариантами исходных данных. 39 проверяется по журналу фактически выполненного поиска и индивидуальному объяснению выбранных аналогов.

## 5.2. Темы курсовых работ (проектов)

курсовые работы не предусмотрены

## 5.3. Фонд оценочных средств

### 1 Матрица текущего контроля

Темы Контроль и материалы Представляемое свидетельство

Лекции 1–2 Опрос; ПР-1, ПР-2; ЛР-1, ЛР-2; 31, 32 Паспорт опыта, протокол, интервал среднего и бюджет неопределённости

Лекция 3 Опрос; ПР-3; ЛР-3; 33 Гипотезы, обоснование критерия, расчёт и инженерный вывод

Лекции 4–5 Опрос; ПР-4, ПР-5; ЛР-4, ЛР-5; 34, 36 Матрицы планов, коэффициенты, эффекты и смешивание

Лекции 6–7 Опрос; ПР-6, ПР-7; ЛР-6, ЛР-7; 35, 37 Файл регрессии, остатки, проверка модели и режима

Лекция 8 и обобщение ПР-8; ЛР-8; 38, 39; тест; защита исследования Сопоставление расчёта и опыта, воспроизводимый отчёт, журнал поиска

### 2 Тестовые задания

В каждом вопросе один правильный ответ. За правильный ответ начисляется 1 балл, за неправильный или отсутствующий — 0. Максимум 12 баллов. Ответы приведены после заданий.

1. Что является независимым повтором испытания образцов одной партии?

А. Десять отсчётов на одном образце; Б. Испытания отдельных независимо выбранных образцов при заданных условиях; В. Десятикратное копирование строки данных.

2. Для чего рандомизируют порядок опытов?

А. Чтобы исключить любые ошибки; Б. Чтобы увеличить точность прибора; В. Чтобы уменьшить систематическую связь условий опыта с дрейфом во времени.

3. Как изменится стандартная ошибка среднего при увеличении числа независимых наблюдений в четыре раза при том же разбросе?

А. Уменьшится вдвое; Б. Увеличится вдвое; В. Не изменится.

4. Оценивание стандартной неопределённости по типу В использует:

А. Только повторные наблюдения; Б. Сертификаты калибровки, спецификации и другую доступную информацию; В. Только р-значение.

5. Корректное определение р-значения:

А. Вероятность истинности нулевой гипотезы; Б. Вероятность ошибки прибора; В. При справедливости нулевой гипотезы вероятность получить не менее экстремальную статистику.

6. Число комбинаций в полном двухуровневом плане для трёх факторов без повторов и центральных точек равно:

А. 8; Б. 6; В. 9.

7. В модели  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$  коэффициент  $b_{12}$  описывает:

А. Среднее значение отклика; Б. Взаимодействие факторов; В. Только случайную ошибку.

8. В дробной реплике с  $I = x_1x_2x_3$  главный эффект  $x_1$  смешан с:

А.  $x_1x_2$ ; Б.  $x_1x_3$ ; В.  $x_2x_3$ .

9. Высокий  $R^2$  без анализа остатков:

А. Не доказывает пригодность модели; Б. Доказывает отсутствие смещения; В. Доказывает причинную связь.

10. Для отдельной F-проверки несоответствия модели нужны:

А. Только большое значение  $R^2$ ; Б. Данные для чистой ошибки и положительное число степеней свободы несоответствия; В. Только один опыт.

11. Повтор одного детерминированного расчёта с неизменными входными данными:

А. Заменяет испытания независимых образцов; Б. Определяет экспериментальную дисперсию; В. Сам по себе не оценивает физический разброс.

12. Подтверждение выбранного режима означает:

А. Новые опыты при выбранных условиях с заранее заданным критерием сравнения; Б. Повторное построение того же графика; В. Удаление всех отклоняющихся наблюдений.

Ключ: 1 — Б; 2 — В; 3 — А; 4 — Б; 5 — В; 6 — А; 7 — Б; 8 — В; 9 — А; 10 — Б; 11 — В; 12 — А.

### 3 Эталоны и ориентиры оценивания расчётных заданий

31. Среднее 10,000 мм; исправленное  $s \approx 0,02915$  мм; стандартная ошибка  $\approx 0,01304$  мм. При  $t_{0,975;4} \approx 2,776$  интервал среднего:  $10,000 \pm 0,0362$  мм. Не учтены калибровка, разрешение прибора и другие не заданные составляющие. Интервал относится к среднему в принятой модели.

32.  $E = 200\,000 \text{ Н/мм}^2 = 200\,000 \text{ МПа} = 200 \text{ ГПа}$ . При независимости квадрат относительной стандартной

неопределённости равен сумме квадратов  $u(F)/F$ ,  $u(L)/L$ ,  $u(A)/A$ ,  $u(\delta)/\delta$ . Получается  $u_c(E) \approx 4247$  МПа и  $U \approx 8495$  МПа при  $k = 2$ . Допустимая запись после округления:  $E = (200,0 \pm 8,5)$  ГПа,  $k = 2$ . Заданное  $k$  не следует автоматически объявлять точным 95-процентным охватом.

33. Средние 200 и 210 ГПа; обе выборочные дисперсии 2,5 ГПа<sup>2</sup>. Для  $B - A$ :  $t = 10$ , число степеней свободы 8,  $p \approx 8,49 \cdot 10^{-6}$ . Нулевая гипотеза отвергается при  $\alpha = 0,05$ . 95-процентный интервал разности:  $10 \pm 2,306$  ГПа, то есть  $[7,694; 12,306]$  ГПа. При данных предпосылках весь интервал выше принятого порога 5 ГПа.

34.  $b_0 = 12$ ;  $b_1 = 3$ ;  $b_2 = 2$ ;  $b_{12} = 1$  мм. Главные эффекты равны 6 и 4 мм; эффект взаимодействия — 2 мм.  $SS_{PE} = 0,32$  мм<sup>2</sup>;  $df_{PE} = 8$ ;  $MS_{PE} = 0,04$  мм<sup>2</sup>. Четыре коэффициента описывают четыре уникальные точки:  $df_{LOF} = 0$ . Отдельная проверка несоответствия без дополнительных уникальных точек невозможна, хотя повторы оценивают чистую ошибку.

35.  $F = (9,60/1)/(0,40/10) = 240$ . Критическое значение  $F_{0,95}(1;10) \approx 4,965$ . Гипотеза отсутствия несоответствия отвергается. Необходимо проверить условия опыта и форму модели, затем обосновать расширение плана; нельзя автоматически признать любой более сложный полином пригодным.

36. Комбинации:  $(-1, -1, +1)$ ,  $(+1, -1, -1)$ ,  $(-1, +1, -1)$ ,  $(+1, +1, +1)$ . Определяющее соотношение  $I = x_1 x_2 x_3$ . Смешивание:  $x_1 \leftrightarrow x_2 x_3$ ;  $x_2 \leftrightarrow x_1 x_3$ ;  $x_3 \leftrightarrow x_1 x_2$ . План имеет разрешение III. Для разделения главных эффектов и взаимодействий нужна дополнительная информация или расширение плана.

37. Из  $4 - 4x_1 = 0$  и  $2 - 2x_2 = 0$  получаем  $(1;1)$ ;  $y = 23$ . Матрица вторых производных диагональна с элементами  $-4$  и  $-2$ , поэтому это максимум, расположенный внутри заданной области. Требуются независимые подтверждающие опыты и оценка разброса; точность модели в условии не задана.

38. Единственного числового эталона нет. Обязательны определённые отклики, реалистичные ограничения, факторы и уровни, физические экспериментальные единицы, порядок опытов, контроль численной сходимости и отдельные проверочные данные. Повтор детерминированного расчёта не считается физическим повтором.

39. Единственного списка патентов нет. Проверяются воспроизводимость запросов, наличие национального и международного ресурса, корректные номера и ссылки, релевантность двух документов и инженерное сопоставление. Вывод о правовом статусе не принимается без указания проверенного источника и даты.

#### 4 Индивидуальное расчётно исследовательское задание

Тема: «Планирование и обработка исследования жёсткости механического элемента». Студент выбирает балку, стержень либо иной согласованный объект. Исследование охватывает два управляемых фактора; допускается использовать выданный учебный массив при явном указании его происхождения. Новые физические испытания выполняются только по согласованной процедуре и на допущенном оборудовании.

1. Сформулировать инженерный вопрос, отклик, факторы, интервалы варьирования, ограничения и экспериментальную единицу.

2. Провести документированный поиск технических аналогов измерительного или нагрузочного приспособления по заданию 39.

3. Составить полный факторный план  $2^2$ : четыре комбинации и по три независимых повтора на комбинацию. Предусмотреть три независимых центральных опыта для проверки поведения модели в центре; всего 15 наблюдений.

4. Представить исходный массив с единицами и порядком опытов. Для предоставленных данных отделить известные условия от отсутствующих сведений и объяснить ограничения выводов.

5. Оценить неопределённость хотя бы одной измеряемой или косвенно определяемой характеристики; построить модель с взаимодействием.

6. Проанализировать остатки, чистую ошибку и несоответствие при наличии необходимых степеней свободы. Проверка по центральной точке не доказывает отсутствие любых видов кривизны во всей области.

7. Сформулировать инженерные выводы и предложить независимые подтверждающие опыты. При наличии расчётной модели отдельно описать численную сходимость и данные для её проверки.

8. Сдать отчёт, исходные данные, файл анализа и краткую инструкцию воспроизведения. На защите объяснить выбор плана, коэффициенты, ограничения и источники.

Критерии индивидуального задания: постановка и план — 4 балла; патентный поиск — 4; обработка и неопределённость — 4; проверка модели — 4; воспроизводимость, инженерные выводы и защита — 4. Каждый критерий: 4 — выполнен полностью и обоснован; 3 — есть небольшие недочёты; 2 — основа верна, но обоснование неполно; 1 — существенные ошибки; 0 — результат отсутствует или не объяснён студентом.

#### 5 Процедуры и критерии текущего контроля

Устный опрос проводится после завершения темы и служит обратной связью без отдельных баллов в предлагаемой шкале. Полный ответ связывает определения с условиями применения метода и механическим примером. Если студент воспроизводит формулу, но не объясняет предпосылки, ответ требует доработки.

Каждая практическая работа оценивается от 0 до 2 баллов: 2 — расчёт и вывод верны, предпосылки названы; 1 — подход верен, но есть исправимые ошибки или неполный вывод; 0 — работа отсутствует либо принципиально неверна. Всего 16 баллов за восемь работ.

Каждая лабораторная работа оценивается от 0 до 4 баллов, по одному баллу за: исходные данные с единицами и условиями; корректный воспроизводимый анализ; диагностику и оценку точности в пределах темы; самостоятельное объяснение и инженерный вывод. Критерий получает 1 балл при выполнении и 0 при невыполнении; всего 32 балла.

Отчёт по лабораторной работе содержит название, исходный протокол, используемый метод и предпосылки, расчётные результаты, графики по теме, вывод и приложение с файлом анализа. На защите студент повторяет один этап расчёта и объясняет ограничения результата. Работа с недостаточными свидетельствами дорабатывается с сохранением исходной версии данных.

#### 6 Промежуточная аттестация

Предлагаемая процедура включает один теоретический вопрос из раздела 4.3, одно расчётное задание 31–37 и

интерпретацию инженерной ситуации по 38 либо по данным индивидуального исследования. Поиск 39 оценивается заранее в индивидуальном задании; на аттестации студент может пояснять журнал поиска. Конкретная форма и длительность процедуры устанавливаются после уточнения учебного плана и локальных требований.

За теоретическую часть — до 5 баллов: определения и связи — 2; предпосылки — 2; механический пример — 1. За расчёт — до 10: постановка и метод — 2; расчёт с единицами — 5; проверка и интерпретация — 3. За инженерную ситуацию — до 5: выявление ограничения — 2; обоснование решения — 2; проверяемость вывода — 1. Частичные баллы начисляются за выполненные элементы.

Пример комплекта 1: вопрос 4 о бюджете неопределённости; 34; ситуация «все режимы одной серии испытывались утром, другой — вечером» с объяснением смещения режима с дрейфом стенда. Пример комплекта 2: вопрос 9 о дробных планах; 32; ситуация «расчёт совпал с опытами, по которым подбирались параметры» с предложением независимой проверки. Примеры не образуют закрытого набора билетов. При формировании вариантов преподаватель сохраняет одинаковый объём действий и доступность справочных величин. Для расчётов допускаются согласованные калькулятор, статистические таблицы или программное обеспечение; выбор средства не заменяет объяснения метода.

#### 5.4. Перечень видов оценочных средств

1. Устный опрос по ключевым понятиям и предпосылкам статистических методов.
2. Тест с выбором ответа по планированию, неопределённости, гипотезам и диагностике моделей.
3. Расчётные задания на статистическую обработку, кодирование факторов, оценку эффектов и проверку регрессии.
4. Отчёты по лабораторным работам с исходными данными, файлами анализа и индивидуальной защитой.
5. Индивидуальное расчётно-исследовательское задание с планом эксперимента, анализом данных и поиском аналогов испытательного устройства.
6. Комплексное задание промежуточной аттестации: теоретический вопрос, расчёт и интерпретация инженерной ситуации.

### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 6.1. Рекомендуемая литература

##### 6.1.1. Основная литература

|      | Авторы, составители | Заглавие                               | Издательство, год |
|------|---------------------|----------------------------------------|-------------------|
| Л1.1 | Ивлев Ю.В.          | Логика. Эксперимент: учебник для вузов | М.: Наука 1994    |

##### 6.1.2. Дополнительная литература

|      | Авторы, составители                 | Заглавие                                                                                                           | Издательство, год        |
|------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Л2.1 | Чен Б.Б., Козлов П.В., Денисов Г.С. | Основы теории погрешностей измерений.<br>Автоматизированная обработка результатов эксперимента:<br>учебное пособие | Бишкек: Изд-во КРСУ 2005 |
| Л2.2 | Рагрин Н.А.                         | Методы построения математических моделей по результатам экспериментов: монография                                  | Бишкек: Изд-во КРСУ 2019 |

##### 6.1.3. Методические разработки

|      | Авторы, составители      | Заглавие                                                                                                         | Издательство, год        |
|------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Л3.1 | Рычков Б.А.              | Экспериментальная механика деформируемого твердого тела: учебник                                                 | Бишкек: Изд-во КРСУ 2019 |
| Л3.2 | Рычков Б.А., Волков А.В. | Методические указания к выполнению лабораторных работ по экспериментальной механике деформируемого твердого тела | Бишкек: Изд-во КРСУ 2015 |

#### 6.3. Перечень информационных и образовательных технологий

##### 6.3.1 Компетентностно-ориентированные образовательные технологии

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.3.1.1 | 1. Python с NumPy, pandas, SciPy, statsmodels и Matplotlib — подготовка данных, статистические критерии, регрессия, диагностика, визуализация и формирование вычислительных планов. Для воспроизводимости сохраняются скрипты и версии библиотек. Документация: <a href="https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/stats.html">https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/stats.html</a> ; <a href="https://www.statsmodels.org/stable/regression.html">https://www.statsmodels.org/stable/regression.html</a> . |
| 6.3.1.2 | 2. R — свободная среда статистических вычислений: описательная статистика, линейные модели, дисперсионный анализ и графики; основной альтернативный инструмент анализа. <a href="https://www.r-project.org/about.html">https://www.r-project.org/about.html</a> .                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 6.3.1.3 | 3. jamovi — свободное приложение с графическим интерфейсом для описательной статистики, t-тестов, ANOVA, корреляции и регрессии; подходит для освоения анализа без обязательного написания кода. <a href="https://www.jamovi.org/features.html">https://www.jamovi.org/features.html</a> .                                                                                                                                                                                                                        |
| 6.3.1.4 | 4. MATLAB со Statistics and Machine Learning Toolbox — планирование эксперимента, статистический анализ и регрессионные модели при наличии соответствующей лицензии. <a href="https://www.mathworks.com/products/statistics.html">https://www.mathworks.com/products/statistics.html</a> .                                                                                                                                                                                                                        |
| 6.3.1.5 | 5. LibreOffice Calc — ввод и проверка первичных таблиц, расчёт базовых характеристик и построение графиков; свободный инструмент для начальной обработки. <a href="https://www.libreoffice.org/">https://www.libreoffice.org/</a> .                                                                                                                                                                                                                                                                               |

##### 6.3.2 Перечень информационных справочных систем и программного обеспечения

|         |                              |
|---------|------------------------------|
| 6.3.2.1 | Профессиональные базы данных |
|---------|------------------------------|

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.3.2.2 | 1. PATENTSCOPE Всемирной организации интеллектуальной собственности — поиск патентных публикаций и технических аналогов испытательных и измерительных устройств. <a href="https://www.wipo.int/en/web/patentscope">https://www.wipo.int/en/web/patentscope</a> .                                                                                                                                                                          |
| 6.3.2.3 | 2. Espacenet Европейского патентного ведомства — поиск патентной информации для сопоставления конструктивных решений измерительных систем и приспособлений. <a href="https://www.epo.org/en/searching-for-patents/technical/espacenet">https://www.epo.org/en/searching-for-patents/technical/espacenet</a> .                                                                                                                             |
| 6.3.2.4 | 3. Информационно-поисковые ресурсы Роспатента и ФИПС — национальный патентный поиск для российского массива; актуальный вход выбирается через официальный сайт. <a href="https://rospatent.gov.ru/ru/faq/gde-samostoyatelno-provesti-patentnyy-poisk-v-internete">https://rospatent.gov.ru/ru/faq/gde-samostoyatelno-provesti-patentnyy-poisk-v-internete</a> . Российский ресурс не подменяет национальный реестр Кыргызской Республики. |
| 6.3.2.5 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 6.3.2.6 | Информационные справочные системы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 6.3.2.7 | 1. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods — статистические справочные материалы по экспериментальным планам, регрессии, анализу остатков и проверке моделей. <a href="https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/">https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/</a> .                                                                                                                                                                 |
| 6.3.2.8 | 2. Официальная коллекция JCGM на сайте BIPM — руководство GUM и связанные документы по неопределённости измерений и моделям измерения. <a href="https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications">https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications</a> .                                                                                                                                                                    |
| 6.3.2.9 | 3. Официальная документация SciPy и statsmodels — справочные определения функций, предположений и вычислительных процедур обработки данных. <a href="https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/">https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/</a> ; <a href="https://www.statsmodels.org/stable/">https://www.statsmodels.org/stable/</a> .                                                                                               |

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 1 Подготовка к изучению тем

Перед началом курса повторите выборочные характеристики, нормальное распределение и распределение Стюдента, проверку гипотез, производные функций нескольких переменных и операции с матрицами. Из сопоставления материалов потребуются связь нагрузки, напряжения и деформации, формулы перемещений и ограничения линейно-упругой модели. Перед каждой лекцией просмотрите соответствующую тему и выпишите обозначения с единицами. На лекции фиксируйте не только формулы, но и условия их применимости. Для каждого метода отвечайте на три содержательных вопроса: какие данные необходимы, какое утверждение метод проверяет и какой инженерный вывод допускает результат.

#### 2 Выполнение практических работ

Начинайте решение с определения экспериментальной единицы, отклика и схемы данных. Запишите гипотезы и предположения до вычисления р-значений. Покажите хотя бы один расчёт вручную или в прозрачной электронной таблице, затем сверяйте результат со статистической программой. Сохраняйте размерность величин на промежуточных этапах. Не округляйте исходные данные и коэффициенты преждевременно. В итоговой записи согласуйте число знаков результата с его неопределённостью. Если условия применения критерия не выполнены, объясните ограничение и обсудите с преподавателем подходящий анализ; не выбирайте метод только ради желаемого вывода.

#### 3 Выполнение лабораторных работ

До начала измерений изучите согласованную схему установки и инструкцию. Проверьте допустимые нагрузки, закрепление образца, рабочий диапазон датчика и единицы регистрации. Изменять схему нагружения или превышать режимы без разрешения преподавателя нельзя. В компьютерной работе заранее проверьте структуру таблицы и значения пропусков. Ведите отдельный неизменяемый файл исходных данных. Сохраните идентификаторы образцов, партии, время, порядок опытов, показания приборов и сведения о калибровке, если они доступны. Исправления, исключения и преобразования выполняйте в копии с пояснением причины. Результат исключения подозрительного наблюдения сравните с анализом полного массива.

Выполняйте обработку последовательно: проверка единиц и полноты, визуализация, оценка разброса, применение выбранного метода, диагностика, интерпретация. Графики должны иметь обозначенные оси и единицы; интервалы на них необходимо назвать. Для модели сохраняйте формулу, коэффициенты, кодирование факторов и область применения.

#### 4 Организация самостоятельной работы

Планируйте работу по восьми тематическим блокам раздела 2.3. После тем 1–3 подготовьте паспорт исследования и расчёт точности; после тем 4–5 — матрицу плана; после тем 6–7 — модель с диагностикой; после темы 8 — итоговый отчёт. Это части одного исследования, поэтому повторно создавать одинаковые описания не требуется.

При патентном поиске начните с русских и английских терминов, например «приспособление для испытания на изгиб» и “bending test fixture”. Зафиксируйте базу, дату, запрос, ограничения поиска и номера документов. Изучайте описание и схему устройства, а не только заголовок. Найденный аналог используйте для обоснования инженерного решения с точной ссылкой.

#### 5 Работа с программами и вычислительными моделями

Выберите одну основную среду анализа и используйте её последовательно. Сохраняйте файл проекта либо скрипт, версии программы и библиотек и порядок запуска. Для случайной выборки или рандомизации фиксируйте начальное значение

генератора; это делает вычисления воспроизводимыми, но не превращает зависимые наблюдения в независимые. В серии компьютерных расчётов различайте изменение геометрии и физики задачи и изменение численных настроек. Сначала убедитесь в достаточной численной точности, затем сопоставляйте расчёт с физическими данными. Совпадение с калибровочной выборкой не заменяет проверку на независимых наблюдениях.

#### 6 Подготовка к защите и аттестации

Проверьте, что исходные данные и результаты связаны идентификаторами, графики снабжены единицами, а выводы не выходят за исследованную область. Подготовьте объяснение различий между эффектом и коэффициентом, разбросом и неопределённостью, статистической значимостью и инженерной полезностью. Решите задания 31–38 и сверьте ход решения с эталонами, не ограничиваясь конечным числом.

На защите покажите происхождение данных, воспроизведите один этап анализа и объясните, что изменится при нарушении предпосылок. Если достоверный вывод невозможен, назовите недостающие данные и предложите дополнительные опыты. Такой вывод содержательнее необоснованного заявления о точности модели.