

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего образования  
 «Владимирский государственный университет  
 имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
 (ВлГУ)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

УТВЕРЖДАЮ

Директор института

Елксин А.И.

« 31 »

2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕОРИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

(наименование дисциплины)

**15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»**

(код и наименование направления подготовки (специальности))

**Процессы механической и физико-технической обработки**

(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир

2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» являются:

- обучение студентов основам планирования физических и численных экспериментов для решения исследовательских и конструкторско-технологических задач;
- обучение студентов навыкам построения и исследования математической модели технологического процесса в зависимости от поставленной задачи с целью его оптимизации;
- формирование у студентов навыков использования современных систем компьютерной математики для реализации математического аппарата теории планирования эксперимента, построенного на сочетании методов математической статистики и методов решения экстремальных задач;
- воспитание ответственности за продукт своих разработок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» изучается в 1 семестре подготовки магистров по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательных отношений (Б1.В.02).

Для успешного изучения дисциплины «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» студенты должны быть знакомы с основами матричного анализа, математической статистики и стандартными алгоритмами обработки массивов данных.

**Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) дисциплинами и обеспечивающими (последующими) дисциплинами**

| Наименование обеспечивающих (последующих) дисциплин | Разделы данной дисциплины, которые необходимы для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   | 1 семестр   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|   | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |   |
| <b>Последующие дисциплины</b>                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1. Математическое моделирование в машиностроении.   | +   | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2. Надежность и диагностика технологических систем. | +   | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 3. Технологическое обеспечение качества.            | +   | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 4. Преддипломная практика.                          | +   | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 5. Выпускная квалификационная работа.               | +   | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)   | Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции  |   | Наименование оценочного средства  |
|---|---|---|---|
|   | Индикатор достижения компетенции  | Результаты обучения по дисциплине   |   |
| ПК-2. Способен контролировать технологические процессы производства деталей машиностроения высокой сложности и управлять ими. | ПК-2.1. Знает разновидности технологических операций технологических процессов изготовления деталей машиностроения высокой сложности.<br>ПК-2.2. Умеет обеспечивать технологическую дисциплину при реализации | Знает разновидности технологических операций. Умеет обеспечивать технологическую дисциплину при реализации технологических процессов. Владеет навыками исследования | Индивидуальное практико-ориентированное задание, контрольные и тестовые вопросы |

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | <p>технологических процессов изготовления деталей машиностроения высокой сложности.</p> <p>ПК-2.3. Умеет контролировать правильность эксплуатации технологического оборудования и оснастки при реализации технологических процессов изготовления деталей машиностроения высокой сложности.</p> <p>ПК-2.4. Владеет навыками выявления причин брака в изготовлении деталей машиностроения высокой сложности, а также подготовки предложений по предупреждению и ликвидации брака.</p> <p>ПК-2.5. Владеет навыками внесения изменений в технологическую документацию на технологические процессы изготовления деталей машиностроения высокой сложности.</p> <p>ПК-2.6. Владеет навыками исследования технологических операций технологических процессов изготовления деталей машиностроения высокой сложности.</p> | <p>технологических операций технологических процессов изготовления деталей машиностроения высокой сложности.</p> |  |
|--|---|--|--|

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часов

##### Тематический план форма обучения – очная

| № п/п                      | Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины  | Семестр | Неделя семестра | Контактная работа обучающихся с педагогическим работником |                      |                     |                                 |     | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|----------------------------|---|---------|-----------------|---|----------------------|---------------------|---------------------------------|-----|------------------------|---|
|                            |   |         |                 | Лекции  | Практические занятия | Лабораторные работы | в форме практической подготовки | СРП |                        |   |
|                            | <b>Раздел 1.</b>  |         |                 |   |                      |                     |                                 |     |                        |   |
| 1                          | Основные определения. Параметр оптимизации (функция отклика), факторы, Требования, предъявляемые при выборе факторов и к функции отклика. Полиномиальные модели, принципы выбора модели.                                | 1       | 1-2             | 2   |                      |                     |                                 |     | 13                     | Рейтинг контроль № 1  |
| 2                          | Полный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента.  | 1       | 3-4             | 2   | 2                    |                     |                                 |     | 13                     |   |
| 3                          | Дробный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента, генерирующие соотношения и определяющие контрасты, свойства матрицы полного и дробного факторного эксперимента. | 1       | 5-6             | 2   | 2                    |                     |                                 |     | 13                     |   |
|                            | <b>Раздел 2.</b>  |         |                 |   |                      |                     |                                 |     |                        |   |
| 4                          | Варианты дублирования и порядок проведения опытов в эксперименте. Порядок обработки результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов.   | 1       | 7-8             | 2   | 2                    |                     |                                 |     | 13                     | Рейтинг контроль № 2  |
| 5                          | Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов.   | 1       | 9-10            | 2   | 2                    |                     |                                 |     | 13                     |   |
| 6                          | Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.  | 1       | 11-12           | 2   | 2                    |                     |                                 |     | 13                     |   |
|                            | <b>Раздел 3.</b>  |         |                 |   |                      |                     |                                 |     |                        |   |
| 7                          | Регрессионный анализ, особенности регрессионного анализа при равномерном и неравномерном дублирования опытов.   | 1       | 13-14           | 2   | 4                    |                     | 2                               |     | 13                     | Рейтинг контроль № 3  |
| 8                          | Поиск условного оптимума функции отклика методом неопределенных множителей Лагранжа.  | 1       | 15-16           | 2   | 2                    |                     |                                 |     | 13                     |   |
| 9                          | Применение метода Бокса-Уилсона для оптимизации функции отклика.  | 1       | 17-18           | 2   | 2                    |                     |                                 |     | 13                     |   |
| Всего за 1 семестр:        |   |         |                 | 18  | 18                   |                     |                                 |     | 117                    | Экзамен (27ч.)  |
| Наличие в дисциплине КП/КР |   | -       | -               | -   | -                    | -                   | -                               | -   | -                      | -   |
| Итого по дисциплине        |   |         |                 | 18  | 18                   |                     |                                 |     | 117                    | Экзамен (27ч.)  |

## Содержание лекционных занятий по дисциплине

### Раздел 1.

Тема 1. Содержание темы: Основные определения. Параметр оптимизации (функция отклика), факторы, Требования, предъявляемые при выборе факторов и к функции отклика. Полиномиальные модели, принципы выбора модели.

Тема 2. Содержание темы: Полный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента

### Тема 3.

Содержание темы: Дробный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента, генерирующие соотношения и определяющие контрасты, свойства матрицы полного и дробного факторного эксперимента

### Раздел 2.

### Тема 4.

Содержание темы: Варианты дублирования и порядок проведения опытов в эксперименте. Порядок обработки результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов.

### Тема 5.

Содержание темы: Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов.

### Тема 6.

Содержание темы: Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.

### Раздел 3.

### Тема 7.

Содержание темы: Регрессионный анализ, особенности регрессионного анализа при равномерном и неравномерном дублировании опытов.

### Тема 8.

Содержание темы: Поиск условного оптимума функции отклика методом неопределенных множителей Лагранжа.

### Тема 9.

Содержание темы: Применение метода Бокса-Уилсона для оптимизации условий сложных многофакторных процессов.

## Содержание практических занятий по дисциплине

### Раздел 1.

### Тема 2.

Содержание практических занятий: Полный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента.

### Тема 3.

Содержание практических занятий: Дробный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента, определение генерирующих соотношений и определяющих контрастов

### Раздел 2.

### Тема 4.

Содержание практических занятий: Полный факторный эксперимент. Определение факторов, параметра оптимизации (функции отклика) и составление матрицы планирования факторного эксперимента. Обработка результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов.

### Тема 5.

Содержание практических занятий: Полный факторный эксперимент. Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов.

### Тема 6.

Содержание практических занятий: Полный факторный эксперимент. Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.

### Раздел 3.

### Тема 7.

Содержание практических занятий: Дробный факторный эксперимент. Определение факторов, генерирующего соотношения и составление матрицы планирования дробного факторного эксперимента. Обработка результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов, сравнение с результатами обработки при полном факторном эксперименте.

Тема 8.

Содержание практических занятий: Регрессионный анализ, определение коэффициентов уравнения регрессии, определение адекватности модели и построение поверхности отклика. Применение метода Бокса-Уилсона для определения оптимальных параметров исследуемого процесса.

Тема 9.

Содержание практических занятий: Поиск условного оптимума функции отклика методом неопределенных множителей Лагранжа.

## **5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

**5.1. Текущий контроль успеваемости (рейтинг-контроль 1, рейтинг-контроль 2, рейтинг-контроль 3).**

### **Вопросы к рейтинг-контролю №1**

1. Что такое математическая модель? Каковы основные этапы получения математических моделей?
2. Каковы два подхода к изучению сложных систем и в чем их сущность?
3. Какие существуют модели для описания сложных систем? Что такое «полиномиальная модель»?
4. Что такое «планирование эксперимента»?
5. Какие концепции (принципы) лежат в основе математической теории планирования эксперимента?
6. Каковы основные понятия сложных систем, к которым относится технологический процесс?
7. Что называется экспериментом, какие бывают эксперименты?
8. Что называется планированием эксперимента?
9. Что образует план эксперимента, что называется спектром плана?
10. Что такое «системный анализ» и «системные исследования»?
11. Что такое «эксперимент» с научной точки зрения, каковы основные цели (задачи) эксперимента?
12. По каким основным признакам осуществляется классификация экспериментов?
13. В чем состоит стратегия проведения многофакторного эксперимента?
14. Какова цель разработки и применения теории математического планирования экспериментов?
15. Чем характеризуется объект исследования? Дайте определение факторному пространству.
16. Что такое регрессионные полиномы и где они применяются?
17. Перечислите условия, необходимые для определения коэффициентов регрессии.
18. Что называется полным факторным экспериментом?
19. Какие вы знаете методы активного эксперимента. Назовите основные отличия методов пассивного и активного эксперимента?
20. Какой порядок выборов действующих факторов, области определения эксперимента?
21. Какой имеют вид уравнения регрессии при полном факторном эксперименте?
22. Что такое план эксперимента?
23. Факторы и требования, предъявляемые к ним?
24. Что такое отклик или критерий оптимизации?
25. Какие виды параметров оптимизации вы знаете? Каковы требования, предъявляемые к параметру оптимизации?

## Вопросы к рейтинг-контролю №2

1. Что такое функция отклика, и каков ее вид?
2. Что такое поверхность отклика, каков ее геометрический образ, когда число факторов равно двум?
3. Что такое основной (нулевой) уровень изучаемых факторов, как он определяется?
4. Как осуществляется выбор интервалов варьирования факторов?
5. Что такое матрица планирования, каковы ее свойства?
6. Как определяется число экспериментов, необходимых для реализации всех сочетаний уровней факторов?
7. Каковы правила построения планов полного факторного эксперимента?
8. По какой формуле рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии? Что означает численное значение коэффициента уравнения регрессии и его знак?
9. Какой вид имеет математическая модель для двух факторов с учетом эффекта взаимодействия?
10. Свойства матрицы полного факторного эксперимента.
11. Полный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования эксперимента.
12. Требования, предъявляемые при выборе факторов и к функции отклика.
13. Как производится построение матрицы планирования полного факторного эксперимента, ее назначение?
14. Каков порядок расчет коэффициентов математической модели?
15. Как производится определение значимости коэффициентов регрессии?
16. Что такое планы полного факторного эксперимента  $3^k$ ?
17. Порядок обработки результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов.
18. Варианты дублирования и порядок проведения опытов в эксперименте
19. Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов.
20. Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.
21. Каков существенный недостаток полного факторного эксперимента?
22. Что такое «дробные» реплики, какова их эффективность?
23. Построение матрицы дробного факторного эксперимента, дробные реплики?
24. Разрешающая способность дробной реплики, генерирующее соотношение, определяющий контраст?
25. Крутое восхождение по поверхности отклика?

## Вопросы к рейтинг-контролю №3

1. Поиск условного оптимума функции отклика методом неопределенных множителей Лагранжа.
2. Опишите план нахождения построчной дисперсии выходной величины?
3. Для чего нужно расчетное значение коэффициента Кохрена и как он находится?
4. Что такое критерий Стьюдента и где он используется?
5. Каким образом проводится проверка гипотезы адекватности получаемой модели?
6. Чем определяется F-критерий Фишера и как его применяют?
7. Какие существуют методы для сокращения числа опытов?
8. В каких случаях целесообразнее использовать метод Бокса-Уилсона?
9. Что такое концепция рандомизации и в чем ее смысл?
10. Что такое концепция репликации?
11. Каков смысл концепции последовательного выполнения эксперимента?
12. В чем сущность концепции оптимального использования «факторного пространства»? Каковы этапы выполнения экспериментальных исследований?
13. Какой вид имеет математическая модель, содержащая квадратичные члены?
14. Что такое критерии оптимальности планов экспериментов?
15. Каково назначение планов второго порядка?
16. Какие подходы существуют при решении оптимизационных задач?
17. Какие существуют методы поиска экстремума? В чем их сущность?
18. Как осуществляется оптимизация методом композиционного планирования Бокса-Уилсона?

19. В чем состоит суть дисперсионного анализа?
20. Что такое дисперсия воспроизводимости?
21. Какие характеристики рассчитываются при выполнении дисперсионного анализа?
22. Что оценивается критерием Кохрена, и как он определяется?
23. Что оценивает критерий Фишера, и как он рассчитывается?
24. Каким образом производится интерпретация результатов экспериментальных исследований при поиске оптимума?
25. О чем свидетельствуют величины коэффициентов уравнения регрессии и их знаки?

## 5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.

### Вопросы к экзамену

1. Что такое математическая модель? Каковы основные этапы получения математических моделей?
2. Каковы два подхода к изучению сложных систем и в чем их сущность?
3. Какие существуют модели для описания сложных систем? Что такое «полиномиальная модель»?
4. Что такое «планирование эксперимента»?
5. Какие концепции (принципы) лежат в основе математической теории планирования эксперимента?
6. Каковы основные понятия сложных систем, к которым относится технологический процесс?
7. Что называется экспериментом, какие бывают эксперименты?
8. Что называется планированием эксперимента?
9. Что образует план эксперимента, что называется спектром плана?
10. Что такое «системный анализ» и «системные исследования»?
11. Что такое «эксперимент» с научной точки зрения, каковы основные цели (задачи) эксперимента?
12. По каким основным признакам осуществляется классификация экспериментов?
13. В чем состоит стратегия проведения многофакторного эксперимента?
14. Какова цель разработки и применения теории математического планирования экспериментов?
15. Чем характеризуется объект исследования? Дайте определение факторному пространству.
16. Что такое регрессионные полиномы и где они применяются?
17. Перечислите условия, необходимые для определения коэффициентов регрессии.
18. Что называется полным факторным экспериментом?
19. Какие вы знаете методы активного эксперимента. Назовите основные отличия методов пассивного и активного эксперимента?
20. Какой порядок выборов действующих факторов, области определения эксперимента?
21. Какой имеют вид уравнения регрессии при полном факторном эксперименте?
22. Что такое план эксперимента?
23. Факторы и требования, предъявляемые к ним?
24. Что такое отклик или критерий оптимизации?
25. Какие виды параметров оптимизации вы знаете? Каковы требования, предъявляемые к параметру оптимизации?
26. Что такое функция отклика, и каков ее вид?
27. Что такое поверхность отклика, каков ее геометрический образ, когда число факторов равно двум?
28. Что такое основной (нулевой) уровень изучаемых факторов, как он определяется?
29. Как осуществляется выбор интервалов варьирования факторов?
30. Что такое матрица планирования, каковы ее свойства?
31. Как определяется число экспериментов, необходимых для реализации всех сочетаний уровней факторов?
32. Каковы правила построения планов полного факторного эксперимента?
33. По какой формуле рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии? Что означает численное значение коэффициента уравнения регрессии и его знак?
34. Какой вид имеет математическая модель для двух факторов с учетом эффекта взаимодействия?



35. Свойства матрицы полного факторного эксперимента.
36. Полный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования эксперимента.
37. Требования, предъявляемые при выборе факторов и к функции отклика.
38. Как производится построение матрицы планирования полного факторного эксперимента, ее назначение?
39. Каков порядок расчет коэффициентов математической модели?
40. Как производится определение значимости коэффициентов регрессии?
41. Что такое планы полного факторного эксперимента  $3^k$ ?
42. Порядок обработки результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов.
43. Варианты дублирования и порядок проведения опытов в эксперименте
44. Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов.
45. Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.
46. Каков существенный недостаток полного факторного эксперимента?
47. Что такое «дробные» реплики, какова их эффективность?
48. Построение матрицы дробного факторного эксперимента, дробные реплики?
49. Разрешающая способность дробной реплики, генерирующее соотношение, определяющий контраст?
50. Крутое восхождение по поверхности отклика?
51. Поиск условного оптимума функции отклика методом неопределенных множителей Лагранжа.
52. Опишите план нахождения построчной дисперсии выходной величины?
53. Для чего нужно расчетное значение коэффициента Кохрена и как он находится?
54. Что такое критерий Стьюдента и где он используется?
55. Каким образом проводится проверка гипотезы адекватности получаемой модели?
56. Чем определяется F-критерий Фишера и как его применяют?
57. Какие существуют методы для сокращения числа опытов?
58. В каких случаях целесообразнее использовать метод Бокса-Уилсона?
59. Что такое концепция рандомизации и в чем ее смысл?
60. Что такое концепция репликации?
61. Каков смысл концепции последовательного выполнения эксперимента?
62. В чем сущность концепции оптимального использования «факторного пространства»? Каковы этапы выполнения экспериментальных исследований?
63. Какой вид имеет математическая модель, содержащая квадратичные члены?
64. Что такое критерии оптимальности планов экспериментов?
65. Каково назначение планов второго порядка?
66. Какие подходы существуют при решении оптимизационных задач?
67. Какие существуют методы поиска экстремума? В чем их сущность?
68. Как осуществляется оптимизация методом композиционного планирования Бокса-Уилсона?
69. В чем состоит суть дисперсионного анализа?
70. Что такое дисперсия воспроизводимости?
71. Какие характеристики рассчитываются при выполнении дисперсионного анализа?
72. Что оценивается критерием Кохрена, и как он определяется?
73. Что оценивает критерий Фишера, и как он рассчитывается?
74. Каким образом производится интерпретация результатов экспериментальных исследований при поиске оптимума?
75. О чем свидетельствуют величины коэффициентов уравнения регрессии и их знаки?

#### Задачи к экзамену

1. Используя критерий Стьюдента проверить статистическую значимость коэффициентов регрессии:  

$$Y = 4,458 + 0,161x_1 + 0,151x_2 - 0,006x_3 + 0,024x_4.$$
Дисперсия параметра оптимизации  $S_y^2 = 0,124$ .  
Число опытов в матрице планирования  $N = 8$ .  
Число параллельных опытов  $n = 2$ .
2. Используя критерий Фишера проверить адекватность модели:

$$Y = 83,1 + 20x_1 + 11,9x_2 - 5,1x_3 - 9,4x_4.$$

Все коэффициенты статистически значимы.

Дисперсия параметра оптимизации  $S_y^2 = 4$  при числе степеней свободы  $f = 2$ .

Матрица планирования

| № опыта | Порядок реализации | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $y$ |
|---------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 1       | 4                  | +     | +     | +     | +     | +     | 100 |
| 2       | 3                  | +     | -     | +     | +     | -     | 81  |
| 3       | 8                  | +     | +     | -     | +     | -     | 95  |
| 4       | 5                  | +     | -     | -     | +     | +     | 36  |
| 5       | 7                  | +     | +     | +     | -     | -     | 130 |
| 6       | 2                  | +     | -     | +     | -     | +     | 69  |
| 7       | 1                  | +     | +     | -     | -     | +     | 90  |
| 8       | 6                  | +     | -     | -     | -     | -     | 64  |

3. План эксперимента, его пятикратная реализация представлена в таблице.

Найти коэффициенты регрессии и определить их значимость.

| номер строки | Циклы |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |             | Результаты. КОМ |          |          |          |          |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
|              | $k_1$ | $k_2$ | $k_3$ | $k_4$ | $k_5$ | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $Y_{p1}$        | $Y_{p2}$ | $Y_{p3}$ | $Y_{p4}$ | $Y_{p5}$ |
| 1            | 4     | 2     | 3     | 6     | 8     | 1     | -1    | -1    | -1    | 1        | 1        | 1        | -1          | 11,4            | 10,5     | 13,8     | 14       | 12,1     |
| 2            | 3     | 3     | 6     | 2     | 5     | 1     | 1     | -1    | -1    | -1       | -1       | 1        | 1           | 18,1            | 17,4     | 15,2     | 16,8     | 19,2     |
| 3            | 8     | 6     | 2     | 4     | 1     | 1     | -1    | 1     | -1    | -1       | 1        | -1       | 1           | 10,8            | 9,3      | 11,6     | 12,1     | 9,8      |
| 4            | 6     | 1     | 7     | 1     | 6     | 1     | 1     | 1     | -1    | 1        | -1       | -1       | -1          | 18,8            | 20,6     | 22       | 22,8     | 20,7     |
| 5            | 5     | 8     | 1     | 3     | 4     | 1     | -1    | -1    | 1     | 1        | -1       | -1       | 1           | 12,9            | 12,8     | 13,6     | 15,2     | 14       |
| 6            | 2     | 5     | 5     | 7     | 2     | 1     | 1     | -1    | 1     | -1       | 1        | -1       | -1          | 12              | 11,6     | 14,2     | 13,4     | 12,5     |
| 7            | 1     | 7     | 4     | 8     | 7     | 1     | -1    | 1     | 1     | -1       | -1       | 1        | -1          | 15,1            | 14,8     | 16,8     | 18,1     | 17       |
| 8            | 7     | 4     | 8     | 5     | 3     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 1           | 13,5            | 11,9     | 14,3     | 17       | 16,2     |

4. Составить матрицы полуреплики  $2^{4-1}$  для определяющих контрастов

$$I = x_1 x_2 x_3 x_4 \quad I = x_1 x_2 x_4$$

5. Из листа площадью  $4a$  изготовить параллелепипед, имеющий наибольший объем. Определить длину, высоту и ширину параллелепипеда поиском условного оптимума функции методом неопределенных множителей Лагранжа.

6. План эксперимента представлен в таблице.

Матрица планирования и результаты опытов

| № опыта                | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $y$ , мин |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 1                      | +     | -     | -     | -     | +     | -     | 34,7      |
| 2                      | +     | +     | -     | -     | -     | +     | 29,8      |
| 3                      | +     | -     | +     | -     | -     | +     | 42,5      |
| 4                      | +     | +     | +     | -     | +     | -     | 39,2      |
| 5                      | +     | -     | -     | +     | +     | +     | 35,5      |
| 6                      | +     | +     | -     | +     | -     | -     | 16,7      |
| 7                      | +     | -     | +     | +     | -     | -     | 31,0      |
| 8                      | +     | +     | +     | +     | +     | +     | 39,5      |
| № опыта в центре плана |       |       |       | $Y_u$ |       |       |           |
| 1                      |       |       |       | 33,1  |       |       |           |

|   |      |
|---|------|
| 2 | 33,5 |
| 3 | 34,0 |
| 4 | 33,8 |

Найти коэффициенты регрессии и определить их значимость.

7. План эксперимента представлен в таблице.

Матрица планирования и результаты опытов

| № опыта                | X <sub>0</sub> | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | Y, мин |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| 1                      | +              | -              | -              | -              | +              | -              | 34,7   |
| 2                      | +              | +              | -              | -              | -              | +              | 29,8   |
| 3                      | +              | -              | +              | -              | -              | +              | 42,5   |
| 4                      | +              | +              | +              | -              | +              | -              | 39,2   |
| 5                      | +              | -              | -              | +              | +              | +              | 35,5   |
| 6                      | +              | +              | -              | +              | -              | -              | 16,7   |
| 7                      | +              | -              | +              | +              | -              | -              | 31,0   |
| 8                      | +              | +              | +              | +              | +              | +              | 39,5   |
| № опыта в центре плана |                |                |                | Y <sub>u</sub> |                |                |        |
| 1                      |                |                |                | 33,1           |                |                |        |
| 2                      |                |                |                | 33,5           |                |                |        |
| 3                      |                |                |                | 34,0           |                |                |        |
| 4                      |                |                |                | 33,8           |                |                |        |

Уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 33,625 - 2,3x_1 + 4,45x_2 - 2,925x_3 + 3,625x_4 + 3,225x_5$$

Проверить адекватность модели по критерию Фишера.

8. Модель:

$$Y = 83,1 + 20x_1 + 11,9x_2 - 5,1x_3 - 9,4x_4$$

Определить значения факторов x<sub>1</sub> x<sub>2</sub> x<sub>3</sub> на первых трех шагах кругого восхождения.

Выбранный шаг движения для фактора x<sub>2</sub> Δ = 10.

Уровни и интервалы варьирования факторов

| Наименование          | Факторы        |                |                |                   |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
|                       | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub>    |
| Основной уровень      | 0,4            | 840            | 60             | -                 |
| Интервал варьирования | 0,1            | 100            | 60             | -                 |
| Верхний уровень (+)   | 0,5            | 940            | 120            | Графитовый тигель |
| Нижний уровень (-)    | 0,2            | 740            | 0              | Шамотный тигель   |

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Самостоятельная работа студентов включает текущую и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу.

Самостоятельная работа студентов направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает в себя:

- работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашнего задания;
- опережающую самостоятельную работу;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовку к практическим занятиям;
- подготовку к контрольным работам.

#### Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине

Перечень научных проблем и направлений научных исследований:

- Выявление доминирующих факторов с помощью метода ранговой корреляции;

- Применение однофакторного дисперсионного анализа для выявления факторов, оказывающих влияние на функцию отклика;
- Метод сверхнасыщенных планов для выявления доминирующих факторов.

Темы, выносимые на самостоятельную проработку:

- ортогональные планы факторного эксперимента;
- определение коэффициентов уравнения регрессии при ортогональном плане факторного эксперимента;
- определение адекватности модели и построение поверхности отклика при ортогональном плане факторного эксперимента;
- ротатабельные планы факторного эксперимента;
- определение коэффициентов уравнения регрессии при ротатабельном плане факторного эксперимента;
- определение адекватности модели и построение поверхности отклика при ротатабельном плане факторного эксперимента;
- применение симплексного метода решения оптимизационных задач линейного программирования для поиска условного оптимума функции отклика.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

| Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство   | Год издания | КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ   |
|---|-------------|---|
|   |             | Наличие в электронном каталоге ЭБС  |
| <b>Основная литература</b>  |             |   |
| 1. Сагдеев Д.И. Основы научных исследований, организация и планирование эксперимента: учебное пособие / Сагдеев Д.И. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. - 324 с. — ISBN 978-5-7882-2010-9.                             | 2016        | Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/79455.html">https://www.iprbookshop.ru/79455.html</a>   |
| Химченко А.В. Планирование эксперимента: учебное пособие / Химченко А.В., Мищенко Н.И., Быков В.В. — Саратов: Вузовское образование, 2021. — 127 с. — ISBN 978-5-4487-0793-3.   | 2021        | Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/110117.html">https://www.iprbookshop.ru/110117.html</a>   |
| Юдин Ю.В. Организация и математическое планирование эксперимента: учебное пособие / Юдин Ю.В., Майсурадзе М.В., Водолазский Ф.В. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018. — 124 с. — ISBN 978-5-7996-2486-6.   | 2015        | Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/106473.html">https://www.iprbookshop.ru/106473.html</a>   |
| Смирнов И.Н. Планирование эксперимента: учебное пособие / Смирнов И.Н. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2017. — 79 с. — ISBN 978-5-7937-1396-2   | 2021        | Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <a href="https://www.iprbookshop.ru/102659.html">https://www.iprbookshop.ru/102659.html</a> (дата обращения: 30.11.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <a href="https://doi.org/10.23682/102659">https://doi.org/10.23682/102659</a> |
| <b>Дополнительная литература</b>  |             |   |
| 1. Бойко А.Ф. Теория планирования многофакторных экспериментов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Бойко А.Ф., Воронкова М.Н.— Электрон. текстовые данные. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2013. — 73 с | 2013        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/28403">http://www.iprbookshop.ru/28403</a>   |
| 2. Воробьев А.Л. Планирование и организация эксперимента в управлении качеством [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Воробьев А.Л., Любимов И.И., Косых Д.А.— Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 344 с  | 2014        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/33648">http://www.iprbookshop.ru/33648</a>   |

## 6.2. Периодические издания:

1. СТИН: научно-технический журнал. – Москва: ООО "СТИН".
- 2 Вестник машиностроения: научно-технический и производственный журнал - Москва: Машиностроение
3. Технология машиностроения: обзорно-аналитический, научно-технический и производственный журнал. – Москва: Технология машиностроения.
4. Электронный журнал «САПР и графика». Журнал может использоваться как практическое руководство при проектировании оснастки. Режим доступа <https://sapr.ru/issue>.

## 6.3. Интернет-ресурсы

| <i>Название портала</i>  | <i>ссылка</i>   |
|--|---|
| Учебно-методический комплекс дисциплины размещен на образовательном сервере ВлГУ.  | <a href="https://cs.cdo.vlsu.ru">https://cs.cdo.vlsu.ru</a>   |
| Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU   | <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>                                   |
| «Единое окно» доступа к образовательным ресурсам   | <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>   |
| Междисциплинарное обучение   | <a href="http://www.nano-obr.ru/">http://www.nano-obr.ru/</a>   |
| Статьи о машиностроении  | <a href="http://machineguide.ru/">http://machineguide.ru/</a>   |
| Портал отраслевой информации о машиностроении  | <a href="http://www.mashportal.ru/">http://www.mashportal.ru/</a>   |
| Ресурс о машиностроении  | <a href="http://www.i-mash.ru/">http://www.i-mash.ru/</a>   |
| Техническая литература по машиностроению   | <a href="http://www.mirstan.ru/index.php?page=tech">http://www.mirstan.ru/index.php?page=tech</a>               |
| Библиотека технической литературы  | <a href="http://window.edu.ru/library?p_rubr=2.2.75.11.34">http://window.edu.ru/library?p_rubr=2.2.75.11.34</a> |
| Все о машиностроении   | <a href="http://dlja-mashinostroitelja.info/">http://dlja-mashinostroitelja.info/</a>                           |
| Союз машиностроителей России   | <a href="http://www.soyuzmash.ru/">http://www.soyuzmash.ru/</a>   |
| Информационно-аналитический сайт по материалам зарубежной печати о современных технологиях и инструментах для металлообработки | <a href="http://www.stankoinform.ru/index.htm">http://www.stankoinform.ru/index.htm</a>                         |

## Учебно-методические издания

1. Иванченко А.Б. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» для студентов направления 15.04.05 [Электронный ресурс] / сост. Иванченко А.Б.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
2. Иванченко А.Б. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» для студентов направления 15.04.05 [Электронный ресурс] / сост. Иванченко А.Б.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
3. Иванченко А.Б. Оценочные материалы по дисциплине «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» для студентов направления 15.04.05 [Электронный ресурс] / сост. Иванченко А.Б.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2021. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

## Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- 1) Портал Центр дистанционного обучения ВлГУ [электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
- 2) Раздел официального сайта ВлГУ, содержащий описание образовательной программы [электронный ресурс] / - Режим доступа: Образовательная программа 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» <http://op.vlsu.ru/index.php?id=56>

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теоретические занятия, проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным оборудованием. Практические занятия проводятся в компьютерных классах, связанных с суперкомпьютером «СКИФ МОНОМАХ» производительностью 4,7 Т-Флопс. Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: программные комплексы компьютерной математики MATLAB, MathCAD.

Рабочую программу составил к.т.н., доцент. стар. МС Шванченко А.В. ШВ  
(ФИО, должность, подпись)

Рецензент (представитель работодателя):  
Ведущий инженер ООО «МВ-Модуль»

Симанцев М.Н.

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Технология машиностроения»  
Протокол № 1 от 31.08.2021 года  
Заведующий кафедрой Морозов В.В., д.т.н., профессор МВ  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
на заседании учебно-методической комиссии направления 15.04.05 «Конструкторско-  
технологическое обеспечение машиностроительных производств»  
Протокол № 1 от 31.08.2021 года  
Заведующий кафедрой Морозов В.В., д.т.н., профессор МВ  
(ФИО, должность, подпись)