

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



Проректор  
по учебно-методической работе

\_\_\_\_\_ А.А.Панфилов

« 10 » февраль 2015 г.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

#### ТЕОРИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Профиль/программа подготовки Процессы механической и физико-технической обработки

Уровень высшего образования магистратура

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
1	5/180	18	18		108	Экзамен (36 час.)
Итого	5/180	18	18		108	Экзамен (36 час.)

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» направлено на достижение следующих целей ОПОП 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»:

Код цели	Формулировка цели
Ц1	Подготовка выпускников к <i>научно-исследовательской деятельности</i> в области разработки и эксплуатации машиностроительных производств, объектов и технологий машиностроения, исходя из задач конкретного исследования; к <i>научно-педагогической деятельности</i> , разработке методического обеспечения и применению современных методов и методик преподавания.
Ц4	Подготовка выпускников к <i>производственно-технологической деятельности</i> при выполнении производственных и исследовательских проектов в профессиональной области, сопровождению их бизнес-процессов, <i>осуществлению организационно-управленческой деятельности</i> .

Целями освоения дисциплины (модуля) «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 ВО

Дисциплина «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» изучается в 1-ом семестре подготовки магистров по направлению 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и относится к обязательным дисциплинам вариативной части (Б1.В.ОД.3).

Для успешного изучения дисциплины «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» студенты должны быть знакомы с основными положениями курсов «Высшая математика», «Информатика».

Из дисциплины «Высшая математика» студент должен знать:

- матричный анализ;
- векторный анализ;
- основы математической статистики

Из дисциплины «Информатика» студент должен знать:

- способы описания и виды алгоритмов;
- стандартные алгоритмы обработки массивов (ввод, вывод массивов, их сортировка, нахождение максимальных и минимальных значений);
- алгоритмы вычислений суммы ряда, произведения ряда, вычисления с заданной точностью.

- алгоритмы организации итерационных вычислений.

Дисциплина «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» является частью блока дисциплин посвященных математическому моделированию процессов, средств и систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

После изучения данной дисциплины студент приобретает знания, умения и опыт, соответствующие результатам ОПОП направления 15.04.05:

Р1, Р3, Р4 (расшифровка результатов обучения приводится в ОПОП направления 15.04.05).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения, согласующиеся с формируемыми компетенциями ОПОП:

способность проводить анализ состояния и динамики функционирования машиностроительных производств и их элементов с использованием надлежащих современных методов и средств анализа, участвовать в разработке методик и программ испытаний изделий, элементов машиностроительных производств, осуществлять метрологическую поверку основных средств измерения показателей качества выпускаемой продукции, проводить исследования появления брака в производстве и разрабатывать мероприятия по его сокращению и устранению (ПК-8):

*знать:* основы планирования физических и численных экспериментов для решения исследовательских и конструкторско-технологических задач;

*уметь:* применять методы планирования эксперимента при оптимизации многофакторных технологических процессов;

*владеть:* навыками применения современных систем компьютерной математики для реализации математического аппарата теории планирования эксперимента.

способность выполнять контроль за испытанием готовых изделий, средствами и системами машиностроительных производств, поступающими на предприятие материальными ресурсами, внедрением современных технологий, методов проектирования, автоматизации и управления производством, жизненным циклом продукции и ее качеством, оценивать производственные и непроизводственные затраты на обеспечение качества (ПК-12):

*знать:* основные организационные и постановочные аспекты экспериментальной работы, приемы анализа и оформления результатов исследования;

*уметь:* проводить априорный анализ доступной информации, составлять план и анализировать результаты экспериментальных исследований при осуществлении контроля за испытанием готовых изделий, средствами и системами машиностроительных производств;

*владеть:* стандартными и экспрессными методами обработки и статистического анализа результатов контроля и испытаний.

способность проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с данными принятых моделей для проверки их адекватности и при необходимости предлагать изменения для улучшения моделей, выполнять математическое моделирование процессов, средств и

систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований, разрабатывать теоретические модели, позволяющие исследовать качество выпускаемых изделий, технологических процессов, средств и систем машиностроительных производств (ПК-16):

*знать:* современные информационно-измерительные и программные комплексы для моделирования и исследования физических процессов, протекающих в сложных технологических системах;

*уметь:* применять методы математического моделирования для исследования физических процессов, протекающих в сложных технологических системах;

*владеть:* навыками применения современных информационно-измерительных и программных комплексов для моделирования и исследования физических процессов, протекающих в сложных технологических системах.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации	
			Неделя семестра	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС			КП / КР
<b>1</b>	<b>Раздел 1</b>	<b>1</b>									
1.1	Основные определения. Параметр оптимизации (функция отклика), факторы, Требования, предъявляемые при выборе факторов и к функции отклика. Полиномиальные модели, принципы выбора модели.		1-2	2	2			12		2/50%	Рейтинг-контроль №1
1.2	Полный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента.		3-4	2	2			12		2/50%	
1.3	Дробный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента, генерирующие соотношения и определяющие контрасты, свойства матрицы полного и дробного факторного эксперимента.		5-6	2	2			12		2/50%	
<b>2</b>	<b>Раздел 2</b>										
2.1	Варианты дублирования и порядок проведения опытов в эксперименте. Порядок обработки результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов.		7-8	2	2			12		2/50%	Рейтинг-контроль №2
2.2	Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов.		9-10	2	2			12		2/50%	
2.3	Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.		11-12	2	2			12		2/50%	
<b>3</b>	<b>Раздел 3</b>										
3.1	Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.		13-14	2	2			12		2/50%	Рейтинг-контроль №3
3.2	Поиск условного оптимума функции отклика методом неопределенных множителей Лагранжа.		15-16	2	2			12		2/50%	
3.3	Применение метода Бокса-Уилсона для оптимизации функции отклика.		17-18	2	2			12		2/50%	
<b>ИТОГО</b>				18	18			108		18/50%	Экзамен

## Лекции

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

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

Тема 3. Дробный факторный эксперимент, правила подготовки матрицы планирования полного факторного эксперимента, генерирующие соотношения и определяющие контрасты, свойства матрицы полного и дробного факторного эксперимента

Тема 4. Варианты дублирования и порядок проведения опытов в эксперименте. Порядок обработки результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов.

Тема 5. Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов.

Тема 6. Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.

Тема 7. Поиск оптимума методом движения по градиенту, расчет крутого восхождения, реализация мысленных опытов.

Тема 8. Поиск условного оптимума функции отклика методом неопределенных множителей Лагранжа.

Тема 9. Применение метода Бокса-Уилсона для оптимизации условий сложных многофакторных процессов.

### Практические занятия

Тема 1. Полный факторный эксперимент. Определение факторов, параметра оптимизации (функции отклика) и составление матрицы планирования факторного эксперимента. Обработка результатов эксперимента при равномерном дублировании опытов.

Тема 2. Полный факторный эксперимент. Обработка результатов эксперимента при неравномерном дублировании опытов.

Тема 3. Полный факторный эксперимент. Обработка результатов эксперимента при отсутствии дублирования опытов.

Тема 4. 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 5. Применение метода Бокса-Уилсона для определения оптимальных параметров режущего инструмента.

Тема 6. Поиск условного оптимума функции отклика методом неопределенных множителей Лагранжа.

Тема 7. Определение коэффициентов уравнения регрессии по ортогональному плану факторного эксперимента, определение адекватности модели и построение поверхности отклика.

Тема 8. Определение коэффициентов уравнения регрессии по ротатабельному плану факторного эксперимента, определение адекватности модели и построение поверхности отклика.

Тема 9. Применение симплексного метода решения оптимизационных задач линейного программирования для поиска условного оптимума функции отклика.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ориентация на тактические образовательные технологии, являющиеся конкретным способом достижения целей образования в рамках намеченной стратегической

технологии. При чтении лекций используется метод проблемного изложения с использованием интерактивной формы проведения занятия. При проведении лабораторных работ используются поисковый и исследовательский методы, в том числе, case study.

Ниже приводится описание образовательных технологий, обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения дисциплины. Специфика сочетания методов и форм организации обучения отражается в матрице (см. табл). Перечень методов обучения и форм организации обучения может быть расширен.

Методы и формы организации обучения (ФОО)

ФОО	Лекции	Лабораторные работы	СРС
Методы			
IT-методы			
Работа в команде		+	+
Case study		+	
Игра			
Методы проблемного обучения.	+		
Обучение на основе опыта	+	+	
Опережающая самостоятельная работа			+
Проектный метод			
Поисковый метод		+	+
Исследовательский метод		+	+
Другие методы			

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

### **Вопросы для рейтинг-контроля**

#### *Рейтинг-контроль №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?

*Рейтинг-контроль №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?

*Рейтинг-контроль №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?

#### **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.

номер строки g	Циклы					$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_5$	$z_6$	$z_7$	Результаты, кОм				
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$Y_{g1}$	$Y_{g2}$	$Y_{g3}$	$Y_{g4}$	$Y_{g5}$
1	4	2	3	6	8	-	-	-	+	+	+	-	11,4	10,5	13,8	14,0	12,1
2	3	3	6	2	5	+	-	-	-	-	+	+	18,1	17,4	15,2	16,8	19,2
3	8	6	2	4	1	-	+	-	-	+	-	+	10,8	9,3	11,6	12,1	9,8
4	6	1	7	1	6	+	+	-	+	-	-	-	18,8	29,6	22,0	22,8	20,7
5	5	8	1	3	4	-	-	+	+	-	-	+	12,9	12,8	13,6	15,2	14,0
6	2	5	5	7	2	+	-	+	-	+	-	-	12,0	11,6	14,2	13,4	12,5
7	1	7	4	8	7	-	+	+	-	-	+	-	15,1	14,8	16,8	18,1	17,0
8	7	4	8	5	3	+	+	+	+	+	+	+	13,5	11,9	14,3	17,0	16,2

Найти коэффициенты регрессии и определить их значимость.

4. Составить матрицы полуреплики  $2^{4-1}$  для определяющих контрастов  
 $1 = x_1 x_2 x_3 x_4$                        $1 = x_1 x_2 x_4$

5. Из листа площадью **4а** 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	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	у, 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	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	у, 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			

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  $x_1 x_2 x_3$  на первых трех шагах крутого восхождения.

Выбранный шаг движения для фактора  $x_2 \Delta = 10$ .

Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование	Факторы			
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Основной уровень	0,40	840	60	-
Интервал варьирования	0,15	100	60	-
Верхний уровень (+)	0,55	940	120	Графитовый тигель
Нижний уровень (-)	0,25	740	0	Шамотный тигель

## 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.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная литература (электронно-библиотечная система ВлГУ):

1. Воробьёв А.Л. Планирование и организация эксперимента в управлении качеством [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Воробьёв А.Л., Любимов И.И., Косых Д.А.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 344 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33648>.
2. Костин В.Н. Теория эксперимента [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Костин В.Н., Паничев В.В.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2013.— 209 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30132>.
3. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad: Учебное пособие/Ф.И.Карманов, В.А.Острейковский - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 208 с.: 60x90 1/16 (Обложка) ISBN 978-5-905554-96-4, <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=508241>.
4. Попов А.А. Оптимальное планирование эксперимента в задачах структурной и параметрической идентификации моделей многофакторных систем [Электронный ресурс]: монография/ Попов А.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.— 296 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45413>.

б) дополнительная литература (электронно-библиотечная система ВлГУ):

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.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28403>.
2. Планирование и организация эксперимента [Электронный ресурс]: методические указания к практическим занятиям для студентов, обучающихся по направлению подготовки 221700 «Стандартизация и метрология»/ — Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2014.— 83 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/25512>.

3. Планирование и организация эксперимента [Электронный ресурс]: методические указания/ — Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 55 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30012>.
4. Порсев Е.Г. Организация и планирование экспериментов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Порсев Е.Г.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 155 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45415>.
5. Гусев В.Г. Теория и практика планирования многофакторных экспериментов : [учебное пособие по изучению курса для магистрантов и аспирантов] / В.Г. Гусев Владимирский государственный университет (ВлГУ). — Владимир: [Владимирский государственный университет (ВлГУ)], 2008. — 121 с.: ил., табл. — (Приоритетные национальные проекты, Образование) (Инновационная образовательная программа, Проект 2: индивидуальная траектория обучения и качество образования. Цель: ориентированное на требования рынка образовательных услуг, улучшение качества подготовки и переподготовки специалистов). — Библиогр.: с. 119.

в) Internet–ресурсы:

[http://miel.tusur.ru/files/method/Muhachev%20-%20PiORE\(theory\).pdf](http://miel.tusur.ru/files/method/Muhachev%20-%20PiORE(theory).pdf)

<http://vunivere.ru/work19110>

[http://portal.tpu.ru/departments/kafedra/iksu/ucheb\\_rabota/literatura/special/Tab/KonspPExp.pdf](http://portal.tpu.ru/departments/kafedra/iksu/ucheb_rabota/literatura/special/Tab/KonspPExp.pdf)

[http://cm.ilc.edu.ru/assets/files/open\\_access/L.A.\\_Slavytskii\\_-\\_](http://cm.ilc.edu.ru/assets/files/open_access/L.A._Slavytskii_-_Osнови_registracii_dannih_i_planirovaniya_eksperimenta.pdf)

[\\_Osнови\\_registracii\\_dannih\\_i\\_planirovaniya\\_eksperimenta.pdf](http://cm.ilc.edu.ru/assets/files/open_access/L.A._Slavytskii_-_Osнови_registracii_dannih_i_planirovaniya_eksperimenta.pdf)

[http://www.kafedra-aoi.ru/folder/1090MTPJE\\_lekcii.pdf](http://www.kafedra-aoi.ru/folder/1090MTPJE_lekcii.pdf)

#### **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, 2016. - 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, 2016. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
3. Иванченко А.Б. Оценочные средства 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, 2016. - 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 Образовательная программа 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» <http://op.vlsu.ru/index.php?id=56>


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

1. Суперкомпьютер «СКИФ МОНОМАХ» производительностью 4,7 Т-Флопс.
2. Четыре компьютерных класса, обеспечивающие связь с суперкомпьютером «СКИФ МОНОМАХ».
3. Лицензионное программное обеспечение: математические пакеты Mathcad, MATLAB.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

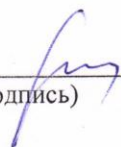
Рабочую программу составил к.т.н., доцент Швакченко А.В.   
(ФИО, подпись)

Рецензент:  
(представитель работодателя) ООО «Конструкторское бюро технологий машиностроения», генеральный директор

Дарсалия Р.Т.   
(место работы, должность, ФИО, подпись)

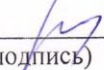


Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Технология машиностроения  
Протокол № 6 от 9.08.2015 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В.   
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Протокол № 6 от 9.08.2015 года

Председатель комиссии д.т.н., профессор Морозов В.В.   
(ФИО, подпись)

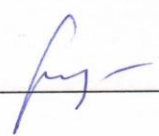


**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2016/2017 учебный год

Протокол заседания кафедры № 9/11 от 21.04.2016 года

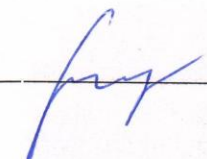
Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_



Рабочая программа одобрена на 2017/2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 29.08.2017 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_



Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_

## РЕЦЕНЗИЯ

на рабочую программу по дисциплине

«Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении»

Направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Программа подготовки: Процессы механической и физико-технической обработки

Разработчик: Иванченко А.Б., к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО, определяющим требования и уровень подготовки выпускников направления подготовки магистратуры 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Целями освоения дисциплины (модуля) «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.

На изучение дисциплины отводится 180 часов, из них аудиторных – 36 часов (лекции и практические работы) и 108 часов самостоятельной работы. Формой промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплиной является экзамен (36 час.).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения, согласующиеся с формируемым компетенциям ОПОП:

способность проводить анализ состояния и динамики функционирования машиностроительных производств и их элементов с использованием надлежащих современных методов и средств анализа, участвовать в разработке методик и программ испытаний изделий, элементов машиностроительных производств, осуществлять метрологическую поверку основных средств измерения показателей качества выпускаемой продукции, проводить исследования появления брака в производстве и разрабатывать мероприятия по его сокращению и устранению (ПК-8):

*знать:* основы планирования физических и численных экспериментов для решения исследовательских и конструкторско-технологических задач;

*уметь:* применять методы планирования эксперимента при оптимизации многофакторных технологических процессов;

*владеть:* навыками применения современных систем компьютерной математики для реализации математического аппарата теории планирования эксперимента.

способность выполнять контроль за испытанием готовых изделий, средствами и системами машиностроительных производств, поступающими на предприятие материальными ресурсами, внедрением современных технологий, методов проектирования, автоматизации и управления производством, жизненным циклом продукции и ее качеством, оценивать производственные и непроизводственные затраты на обеспечение качества (ПК-12):

*знать:* основные организационные и постановочные аспекты экспериментальной работы, приемы анализа и оформления результатов исследования;

*уметь:* проводить априорный анализ доступной информации, составлять план и анализировать результаты экспериментальных исследований при осуществлении контроля за испытанием готовых изделий, средствами и системами машиностроительных производств;

*владеть:* стандартными и экспрессными методами обработки и статистического анализа результатов контроля и испытаний.

способность проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с данными принятых моделей для проверки их адекватности и при необходимости предлагать изменения для улучшения моделей, выполнять математическое моделирование процессов, средств и систем машиностроительных производств с использованием современных технологий проведения научных исследований, разрабатывать теоретические модели, позволяющие исследовать качество выпускаемых изделий, технологических процессов, средств и систем машиностроительных производств (ПК-16):

*знать:* современные информационно-измерительные и программные комплексы для моделирования и исследования физических процессов, протекающих в сложных технологических системах;

*уметь:* применять методы математического моделирования для исследования физических процессов, протекающих в сложных технологических системах;

*владеть:* навыками применения современных информационно-измерительных и программных комплексов для моделирования и исследования физических процессов, протекающих в сложных технологических системах.

Основные разделы рабочей программы отражают цели и задачи дисциплины. Результаты обучения, тематический план курса, темы практических работ, оценочные средства текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам аттестации освоения дисциплины, рекомендуемая литература и ресурсы интернет.

*Достоинством* рабочей программы является: организация сопровождения изучения дисциплины – размещение материалов дисциплины на образовательном сервере, таким образом, реализуется методическая обеспеченность аудиторной и самостоятельной работы.

В качестве дальнейшего совершенствования и развития содержания рабочей программы *рекомендуется* детализировать вид отчетности самостоятельной работы по темам, актуализировать перечень основной и рекомендуемой литературы.

На основании вышеизложенного можно заключить, что рабочая программа, автора *Иванченко А.Б.* может быть использована для обеспечения основной образовательной программы по направлению подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» по дисциплине «Теория планирования многофакторных экспериментов в машиностроении» как базовый вариант в учебном процессе ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Рецензент:

Генеральный директор ООО «Конструкторское бюро технологий машиностроения»



Дарсалия Р.Г.