

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)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
по образовательной деятельности

  
А.А.Панфилов  
« 30 » 08 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА  
И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ»**

Направление подготовки: 12.04.01 «Приборостроение»

Профиль/программа подготовки: «Информационно-измерительные технологии»

Уровень высшего образования: магистратура

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоемкость, зач.ед./час.	Лекции час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
II	3/108	18	18	-	45	Экзамен (27)
Итого:	<b>3/108</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	-	<b>45</b>	<b>Экзамен (27)</b>

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины «Планирование эксперимента и обработка результатов измерений» состоит в приобретении студентами знаний, умений и владений в области проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации их результатов.

Задачи:

- формирование представления о принципах и методах теории эксперимента, методах статистического анализа;
- освоение методов многофакторного планирования эксперимента;
- формирование понятий о методах обработки, представления и интерпретации полученных экспериментальных данных.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Планирование эксперимента и обработка результатов измерений» относится к обязательной части учебных дисциплин магистратуры, входящих в основную профессиональную образовательную программу высшего образования (далее – ОПОП ВО), предусмотренных федеральным государственным образовательным стандартом по направлению 12.04.01 Приборостроение (далее – ФГОС ВО).

Пререквизиты дисциплины: «Математика», «Основы теории измерений и обработки данных», «Методология научных исследований».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП.

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ОПК-2	Частичный	<i>Знать:</i> основы теории планирования эксперимента, методов измерения физических величин, методов оценки погрешностей результатов измерений. <i>Уметь:</i> обоснованно сформировать математическую модель объекта исследования, провести отбор значимых факторов и параметра оптимизации. <i>Владеть:</i> методами обработки результатов проведенного эксперимента, проверки значимости коэффициентов математической модели и адекватности полученной математической модели.
ПК-2	Частичный	<i>Знать:</i> оптимальные методы проведения исследований и испытаний. <i>Уметь:</i> разработать матрицу планирования эксперимента и провести полный факторный эксперимент. <i>Владеть:</i> методами обработки экспериментальных данных.
ПК-3	Частичный	<i>Знать:</i> методы оптимизации натуральных экспериментальных исследований приборных систем. <i>Уметь:</i> провести оптимизацию планируемого эксперимента с целью сокращения необходимого числа измерений. <i>Владеть:</i> навыками интерпретации результатов, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований.



#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1.	Планирование эксперимента. Цели и основные понятия.	1	1,2	2	2		2	2/ 50%	
2.	Выбор параметра оптимизации.	1	3,4	2	2		3	2/ 50%	
3.	Обобщенный параметр оптимизации.	1	5,6	2	2		6	2/ 50%	Рейтинг-контроль 1
4.	Влияющие факторы.	1	7,8	2	2		5	2/ 50%	
5.	Математические модели объектов исследования.	1	9,10	2	2		6	2/ 50%	
6.	Полный факторный эксперимент.	1	11,12	2	2		6	2/ 50%	Рейтинг-контроль 2
7.	Реализация плана эксперимента.	1	13,14	2	2		5	2/ 50%	
8.	Принятие решений после построения математической модели.	1	15,16	2	2		6	2/ 50%	
9.	Восхождение по поверхности отклика.	1	17,18	2	2		6	2/ 50%	Рейтинг-контроль 3
Всего за семестр:							45	18/50%	Экзамен (27 часов)
Наличие в дисциплине КП/КР									
<b>Итого по дисциплине</b>				<b>18</b>	<b>18</b>		<b>45</b>		<b>Экзамен (27 часов)</b>

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

Тема 1. Планирование эксперимента. Цели и основные понятия.

Содержание темы. Понятие инженерного эксперимента. Цель эксперимента. Особенности инженерного эксперимента. Целевая функция. Влияющие факторы. Модель исследуемого объекта - «черный ящик». Математическая модель исследуемого объекта. Планирование экспериментального эксперимента.

Тема 2. Выбор параметра оптимизации.

Содержание темы. Понятие параметра оптимизации. Требования к параметру оптимизации. Классификация параметров оптимизации. Объекты с несколькими параметрами оптимизации.

Тема 3. Обобщенный параметр оптимизации.

Содержание темы. Способы построения обобщенного отклика. Натуральные, преобразованные и обобщенные отклики. Построение обобщенного параметра по двухбалльной шкале. Шкала желательности. Функция желательности Харрингтона.

Тема 4. Влияющие факторы.

Содержание темы. Определение фактора. Требования к влияющим факторам при планировании эксперимента. Количественные и качественные влияющие факторы. Уровни факторов.

Тема 5. Математические модели объекта исследования.



Содержание темы. Факторное пространство. Область определения факторов. Поверхность отклика и ее свойства. «Шаговый» принцип движения к оптимуму. Требования к математической модели исследуемого объекта. Полиномиальные модели. Выбор степени алгебраического полинома.

Тема 6. Полный факторный эксперимент.

Содержание темы. Принятие решений перед проведением эксперимента. Алгоритм выбора основного уровня факторов. Определение интервалов варьирования влияющих факторов. Натуральные и кодированные значения факторов. Построение матрицы планирования эксперимента типа  $2^k$ . Расчет коэффициентов математической модели.

Тема 7. Реализация плана эксперимента.

Содержание темы. Формулировка цели исследования. Ранжирование целей по степени важности. Отбор влияющих факторов. Определение необходимого числа опытов. Выбор уровней факторов. Учет априорной информации. Проверка однородности дисперсий. Критерий Фишера. Критерий Кохрена. Проверка адекватности математической модели.

Тема 8. Принятие решений после построения математической модели.

Содержание темы. Алгоритм принятия решений при условии адекватности линейной модели. Возможные варианты: все коэффициенты регрессии значимы; часть коэффициентов регрессии значимы, часть незначимы; все коэффициенты регрессии незначимы.

Тема 9. Восхождение по поверхности отклика.

Содержание темы. Движение по градиенту. Расчет крутого восхождения. Реализация мысленных опытов. Алгоритм принятия решений после крутого восхождения. Возможные варианты: крутое восхождение эффективно, область оптимума достигнута; крутое восхождение эффективно, область оптимума не достигнута.

### **Содержание практических занятий**

Тема 1. Планирование эксперимента. Цели и основные понятия.

Содержание темы. Понятие о планировании эксперимента. Классификация инженерных экспериментов. Цели и задачи планирования эксперимента. Математическая модель исследуемого объекта. Функция отклика. Задача оптимизации. Планирование экстремального эксперимента.

Тема 2. Выбор параметра оптимизации.

Содержание темы. Конструктивные, технологические, экономические, технико-экономические параметры оптимизации. Ранговый подход к выбору параметра оптимизации.

Тема 3. Обобщенный параметр оптимизации.

Содержание темы. Способы построения обобщенного отклика. Шкала желательности. Преобразование частных откликов в частные функции желательности. Функция желательности при односторонних ограничениях. Функция желательности при двухсторонних ограничениях.

Тема 4. Влияющие факторы.

Содержание темы. Основной уровень фактора. Интервалы варьирования факторов. Требования к влияющим факторам при планировании эксперимента. Количественные и качественные влияющие факторы. Требования к совокупности факторов. Совместимость и независимость факторов. Точность фиксации факторов.

Тема 5. Математические модели объекта исследования.

Содержание темы. Факторное пространство. Поверхность отклика. Допущения о характере поверхности отклика. Поиск оптимума по методу Гаусса-Зейделя. «Шаговый» принцип движения к оптимуму. Полиномиальные модели. Выбор степени алгебраического полинома. Построение интерполяционной модели.

Тема 6. Полный факторный эксперимент.

Содержание темы. Алгоритмы выбора интервалов варьирования при низкой, средней и высокой точности фиксирования факторов. Натуральные и кодированные значения факторов. Построение матрицы планирования эксперимента. Буквенная запись матрицы планирования. Построение матриц планирования большей размерности. Расчет коэффициентов математической модели. Построение матрицы планирования с эффектом взаимодействия факторов.

Тема 7. Реализация плана эксперимента.



Содержание темы. Учет априорной информации. Условия и результаты, достигнутые при исследовании аналогов. Ошибки параллельных опытов. Дисперсия параметра оптимизации. Рандомизация опытов при проведении эксперимента. Проверка однородности дисперсий. Критерий Бартлетта. Проверка значимости коэффициентов математической модели. Критерий Стьюдента.

Тема 8. Принятие решений после построения математической модели.

Содержание темы. Алгоритм принятия решений при условии неадекватности линейной модели. Возможные варианты: изменение интервалов варьирования факторов; перенос центра плана эксперимента; доработка плана эксперимента.

Тема 9. Восхождение по поверхности отклика.

Содержание темы. Движение по градиенту. Расчет крутого восхождения. Реализация мысленных опытов. Алгоритм принятия решений после крутого восхождения. Возможные варианты: крутое восхождение неэффективно, область оптимума близка; крутое восхождение неэффективно, область оптимума не достигнута.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Технические измерения в науке и промышленности» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- Интерактивная лекция (тема № 1,4,5);
- Групповая дискуссия (тема 2,3);
- Тренинг (тема № 6,7).
- Анализ ситуаций (тема № 8);
- Разбор конкретных ситуаций (тема № 9);

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

### 6.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости:

- а) решение задач по изучаемой теме на практических занятиях;
- б) устный или письменный опрос студентов во время занятий по изучаемому материалу.

Основным оценочным средством текущего контроля успеваемости является рейтинг-контроль. Всего по дисциплине проводится 3 рейтинг-контроля.

### Вопросы для рейтинг-контроля

#### 1-й рейтинг-контроль.

1. Планирование эксперимента. Цели и основные понятия.
2. Параметры оптимизации и требования, предъявляемые к ним.
3. Выбор модели эксперимента.
4. Принятие решений перед планированием эксперимента.
5. Выбор основного уровня факторов.
6. Выбор интервалов варьирования факторов.
7. Принятие решений при низкой точности фиксирования факторов.
8. Принятие решений при высокой точности фиксирования факторов.
9. Полный факторный эксперимент.

#### 2-й рейтинг-контроль.

1. Анализ априорной информации перед проведением эксперимента.
2. Реализация плана эксперимента.
3. Ошибки параллельных опытов.



4. Дисперсия параметра оптимизации.
5. Проверка однородности дисперсий. Критерий Фишера.
6. Проверка однородности дисперсий. Критерий Кохрена.
7. Рандомизация опытов при проведении эксперимента.
8. Расчет коэффициентов математической модели.

#### 3-й рейтинг-контроль.

1. Проверка адекватности математической модели.
2. Дисперсия коэффициентов регрессии. Критерий Стьюдента.
3. Интерпретация результатов эксперимента.
4. Принятие решений после построения модели. Линейная модель адекватна.
5. Принятие решений после построения модели. Линейная модель неадекватна.
6. Крутое восхождение по поверхности отклика.
7. Расчет крутого восхождения к оптимуму.
8. Реализация мысленных опытов.
9. Принятие решений после крутого восхождения. Восхождение эффективно.
10. Принятие решений после крутого восхождения. Восхождение неэффективно.

### 6.2. Вопросы к экзамену (промежуточная аттестация)

Промежуточная аттестация обучающихся проводится с целью выявления соответствия уровня теоретических знаний, практических умений и навыков обучающихся по дисциплине требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки в форме экзамена.

1. Планирование эксперимента. Цели и основные понятия.
2. Параметр оптимизации. Обобщенный параметр оптимизации.
3. Влияющие факторы и требования к ним.
4. Факторное пространство. Поверхность отклика.
5. Выбор модели эксперимента.
6. Шаговый принцип при поиске оптимума.
7. Выбор основного уровня факторов.
8. Выбор интервалов варьирования факторов.
9. Принятие решений при низкой точности фиксирования факторов.
10. Принятие решений при средней точности фиксирования факторов.
11. Принятие решений при высокой точности фиксирования факторов.
12. Полный факторный эксперимент.
13. Анализ априорной информации перед проведением эксперимента
14. Реализация плана эксперимента.
15. Ошибки параллельных опытов.
16. Дисперсия параметра оптимизации.
17. Проверка однородности дисперсий. Критерий Фишера.
18. Проверка однородности дисперсий. Критерий Кохрена.
19. Рандомизация опытов при проведении эксперимента.
20. Расчет коэффициентов математической модели.
21. Проверка адекватности математической модели.
22. Дисперсия коэффициентов регрессии. Критерий Стьюдента.
23. Интерпретация результатов эксперимента.
24. Принятие решений после построения модели. Линейная модель адекватна.
25. Принятие решений после построения модели. Линейная модель неадекватна.
26. Крутое восхождение по поверхности отклика.
27. Расчет крутого восхождения к оптимуму.
28. Реализация мысленных опытов.
29. Принятие решений после крутого восхождения. Восхождение эффективно.
30. Принятие решений после крутого восхождения. Восхождение неэффективно.



### 6.3 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы студентов по дисциплине

Подготовить ответы и/или презентации на следующие вопросы:

1. Влияющие факторы и требования к ним.
2. Факторное пространство. Поверхность отклика.
3. Функция отклика.
4. Уровни факторов.
5. Шаговый принцип при поиске оптимума.
6. Принятие решений при средней точности фиксирования факторов.
7. Сбор информации перед проведением эксперимента.
8. Матрица планирования эксперимента.
9. Дробный факторный эксперимент.
10. Минимизация числа опытов. Дробная реплика. Выбор полуреplik.
11. Генерирующие соотношения и определяющие контрасты.
12. Реплики большой дробности.
13. Эффективность применения дробных реplik.
14. Случайный характер проведения опытов.
15. Обработка результатов эксперимента.
16. Принятие решений после построения модели.
17. Движение по градиенту функции отклика.
18. Типовые решения после крутого восхождения по поверхности отклика.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенции обучающихся по дисциплине «Планирование эксперимента и обработка результатов измерений» оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, изда- тельство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпля- ров изданий в библиоте- ке ВлГУ в соответ- ствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература			
1. Основы научных исследований. Организация и планирование эксперимента [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.Г. Сафин, А.И. Иванов, Н.Ф. Тимерба-ев. - Казань : Издательство КНИТУ, 2013.	2013		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788214122.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788214122.html</a>
2. Прикладные методы анализа статистических данных [Электронный ре-	2012		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97857598086">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN97857598086</a>



сурс]: учеб. пособие / Горяинова Е.Р., Панков А.Р., Платонов Е.Н. - М. : ИД Высшей школы экономики, 2012			64.html
3. Основы научных исследований [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Кожухар В.М. - М. : Дашков и К, 2012	2015		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785394017117.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785394017117.html</a>
<b>Дополнительная литература</b>			
1. Математическое моделирование и планирование эксперимента: метод. указания к выполнению домашнего задания [Электронный ресурс] / Н.С. Полякова, Г.С. Дерябина, Х.Р. Федорчук. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010.	2010		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0010.html">http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0010.html</a>
2. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Электронный ресурс] / Кобзарь А.И. - 2-е изд., испр. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012	2012		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113755.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113755.html</a>
3. Статистические методы обработки экспериментальных данных. Лабораторный практикум с использованием пакета MathCad [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / Ф.И. Карманов, В.А. Острейковский. - М. : Абрис, 2012	2012		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200599.htm">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200599.htm</a>

## 7.2 Периодические издания

Журнал «Приборы и техника эксперимента».  
 Журнал «Измерительная техника».  
 Журнал «Мир измерений».

## 7.3 Интернет-ресурсы

[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)  
<https://refdb.ru/look/1061013-pall.html>  
<http://window.edu.ru/resource/524/28524/files/ustu131.pdf>  
<http://www.intuit.ru/studies/courses/623/479/lecture/21096>  
<http://storage.mstuca.ru/bitstream/123456789/5109/1/00700014950022010003184.pdf>  
<http://bek.sibadi.org/fulltext/EPD38.pdf>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, оснащенные мультимедийным оборудованием, которое позволяет визуализировать процесс представления презентационного материала (ауд. 217-3, 225-3). Практические работы проводятся в лаборатории 327-3 и/или компьютерном классе 202-3.

Компьютерная техника, используемая в учебном процессе, имеет лицензионное программное обеспечение:

- Операционная система семейства Microsoft Windows.
- Пакет офисных программ Microsoft Office.
- Консультант+.




Рабочую программу составил

к.т.н., доцент Марков С.И. 

Рецензент (представитель работодателя),  
Заместитель начальника отдела измерительной  
техники ЗАО «Автоматика плюс», к.т.н., доцент

 В.М.Дерябин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры БЭСТ.  
Протокол № 1 от 30.08.2019 г.

Заведующий кафедрой БЭСТ, д.т.н., профессор  Л.Т.Сушкова

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии напри  
ления 12.04.01 «Приборостроение».

Протокол № 1 от 30.08.2019 г.

Председатель комиссии, д.т.н., профессор  Л.Т.Сушкова