

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

К.Н. Афонин, Г.В. Смирнов

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Методические указания к практическим занятиям для студентов технических вузов

Томск
2022

УДК 519.242
ББК 22.172
А 94

Рецензент:

Туев В.И., профессор, заведующий кафедрой
радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга, д-р техн. наук

Афонин, Кирилл Нильевич, Смирнов, Геннадий Васильевич

А 94 Планирование эксперимента: методические указания к практическим занятиям для студентов технических вузов / К.Н. Афонин, Г.В. Смирнов. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 18 с.

Составлены содержание и методические указания по проведению практических занятий студентов технических вузов. Описаны задачи, связанные с постановкой эксперимента и последующей математической обработкой полученных данных, и варианты для выполнения на занятиях студентами. Приведены рекомендации по подготовке отчета по практическому занятию.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов технических вузов всех направлений и специальностей подготовки бакалавров, специалистов и магистров.

Одобрено на заседании кафедры РЭТЭМ протокол № 78 от 16.02.2022.

УДК 519.242
ББК 22.172

© Афонин К.Н.,
Смирнов Г.В., 2022
© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Практическое задание № 1	6
2 Практическое задание № 2	9
3 Практическое задание № 3	11
4 Практическое задание № 4	12
5 Практическое задание № 5	14
6 Практическое задание № 6	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Планирование эксперимента» направлена на освоение студентами методов проведения исследований объектов и процессов на основании теории планирования экспериментов. Основные задачи дисциплины:

- 1) Научить управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла.
- 2) Знать методы планирования эксперимента и грамотно проводить исследования различных объектов и явлений.
- 3) Приобрести знания и умения в области обработки статистических данных, полученных в эксперименте.
- 4) Приобрести знания в области разработки математических моделей разнообразных объектов и явлений.
- 5) Знать методы оптимизации уметь применять их на практике.
- 6) Приобрести способность организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели.
- 7) Научить организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели.

Содержание дисциплины разделено на двенадцать частей и представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание дисциплины

Название разделов дисциплины	Содержание разделов дисциплины
1 Основные понятия и определения	Основные понятия теории планирования эксперимента. Кибернетическая система в виде "черного ящика". Ошибки параллельных опытов. Дисперсия параметра оптимизации. Проверка однородности дисперсий. Рандомизация.
2 Обобщенный параметр оптимизации	Выбор параметров оптимизации и требования к нему.
3 Факторы	Определение фактора и требования к нему.
4 Выбор модели	Выбор модели. Шаговый принцип.
5 Полный факторный эксперимент	Принятие решений перед планированием эксперимента. Выбор уровней и интервалов варьирования. Полный факторный эксперимент.
6 Дробный факторный эксперимент	Минимизация числа опытов при планировании экспериментов. Генерирующие соотношения и определяющие контрасты. Реплики различной дробности.
7 Проведение эксперимента	Постановка задачи, выбор параметров оптимизации. Выбор факторов, число опытов, учет априорной информации. Реализация плана эксперимента.
8 Обработка результатов эксперимента	Метод наименьших квадратов. Регрессионный анализ. Проверка адекватности модели. Проверка значимости коэффициентов.
9 Матричный подход к регрессионному анализу	Метод наименьших квадратов для одного фактора. Некоторые операции над матрицами. Обобщение метода и наименьших квадратов на многофакторный линейный случай.

Продолжение таблицы 1

Название разделов дисциплины	Содержание разделов дисциплины
10 Принятие решений после построения модели	Статистический анализ. Критерии оптимальности планов. Интерпретация результатов. Принятие решений после построения модели процесса.
11 Крутое восхождение по поверхности отклика	Движение по градиенту. Расчет крутого восхождения
12 Принятие решения после крутого восхождения	Крутое восхождение эффективно. Крутое восхождение неэффективно.

1 Практическое задание № 1

Цель работы

Закрепление теоретических знаний по разделам дисциплины и овладение методиками статистического анализа полученных данных.

Форма проведения

Решение практических задач.

Теоретические сведения [1]

При производстве намоточных изделий РЭС (трансформаторов, электродвигателей, дросселей) для определения показателей их надежности требуется знание количества и протяженности дефектов в изоляции обмоточных проводов. В основу контроля положен принцип зажигания коронного разряда между датчиком, на который подано высокое напряжение U , и жилой провода. Исследования показали, что абсолютная погрешность определения протяженности дефектов Δl зависит от напряжения U на датчике, от емкости C и сопротивления R , стоящих в цепи формирования импульса дефекта, а также от скорости движения провода V . Результаты статистических исследований погрешности определения протяженности дефекта Δl от величины влияющих на точность контроля параметров (U , R , C , V) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные для расчёта

№	Δl , мм	U , кВ	C , пФ	R , МОм	V , м/с
1	4,68	2	390	1	1
2	4,84	2	390	1	2
3	5,66	2	390	1	4
4	7,58	2	390	1	8
5	4,53	2	240	1	1
6	4,61	2	240	1	2
7	5,04	2	240	1	4
8	5,68	2	240	1	8
9	4,06	2	90	1	1
10	4,41	2	90	1	2
11	4,49	2	90	1	4
12	4,50	2	90	1	8
13	4,06	2	90	1	1
14	4,55	2	90	1	2
15	4,59	2	90	1	4
16	4,50	2	90	1	8
17	4,89	2	90	2,99	1
18	4,99	2	90	2,99	2
19	5,31	2	90	2,99	4
20	6,87	2	90	2,99	8
21	4,76	2	90	2,50	1
22	4,84	2	90	2,50	2
23	5,17	2	90	2,50	4
24	6,22	2	90	2,50	8
25	4,64	2	90	2,05	1
26	4,63	2	90	2,05	2
27	4,82	2	90	2,05	4
28	5,11	2	90	2,05	8

Продолжение таблицы 2

№	Δl , мм	U , кВ	C , пФ	R , МОм	V , м/с
29	4,12	2	90	1,54	1
30	4,27	2	90	1,54	2
31	4,31	2	90	1,54	4
32	4,85	2	90	1,54	8
33	4,07	2	90	0,54	1
34	4,23	2	90	0,54	2
35	4,49	2	90	0,54	4
36	4,51	2	90	0,54	8
37	1,28	0,5	90	0,54	1
38	1,04	0,5	90	0,54	2
39	1,31	0,5	90	0,54	4
40	1,53	0,5	90	0,54	8
41	1,53	0,8	90	0,54	1
42	1,59	0,8	90	0,54	2
43	1,71	0,8	90	0,54	4
44	2,30	0,8	90	0,54	8
45	2,30	1,2	90	0,54	1
46	2,54	1,2	90	0,54	2
47	2,59	1,2	90	0,54	4
48	2,47	1,2	90	0,54	8
49	2,86	1,5	90	0,54	1
50	3,10	1,5	90	0,54	2
51	3,18	1,5	90	0,54	4
52	3,28	1,5	90	0,54	8
53	3,65	1,8	90	0,54	1
54	3,74	1,8	90	0,54	2
55	3,77	1,8	90	0,54	4
56	3,90	1,8	90	0,54	8

Задание

Используя результаты, приведенные в таблице 2, провести полный статистический анализ полученных данных и, в конечном итоге, построить адекватную математическую модель исследуемого процесса. В практической работе № 1 проводится лишь первая часть статистического анализа – корреляционный анализ статистических данных. При решении задачи целесообразно использовать [1-3].

Порядок выполнения работы

1. Используя таблицу статистических данных найти среднестатистические значения параметра Δl для каждого конкретного значения параметров U , R , C , V .
2. Представить полученные значения в виде корреляционной таблицы.
3. Определить коэффициенты корреляции между погрешностью определения протяженности дефекта Δl и каждым из варьируемых факторов, приведенных в таблице 2.
4. Используя полученные результаты корреляционного анализа, представить статистический материал в таблице, расположив влияющие на точность контроля факторы в столбцах таблицы таким образом, чтобы индекс столбца того или иного фактора был тем выше, чем слабее влияние данного фактора на Δl .
5. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы по работе.

Содержание отчёта

1. Наименование работы, постановка задачи исследования, цель.
2. Таблицы, расчетные формулы и результаты проведенных вычислений.
3. Результаты корреляционного анализа и выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое корреляционный анализ?
2. Для чего нужен корреляционный анализ?
3. По какому выражению рассчитываются коэффициенты корреляции между параметрами?
4. Что показывает коэффициент корреляции?

2 Практическое задание № 2

Цель работы

Закрепление теоретических знаний по разделам дисциплины и овладение методиками статистического анализа полученных данных.

Форма проведения

Решение практических задач.

Исходные данные

Используя данные таблицы 2 и метод наименьших квадратов, найти коэффициенты в одном из уравнений регрессии приведенных в таблице 3 (по вариантам) и провести регрессионный анализ этого уравнения. При решении задачи целесообразно использовать [1-3].

Таблица 3 – Варианты уравнений регрессии

Номер варианта	Вид уравнения
1	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_3 C + b_4 V$
2	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_{12} UR$
3	$\Delta I = b_0 + b_1 R + b_2 C + b_{12} RC$
4	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 C + b_{12} UC$
5	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_3 C + b_{12} UC + b_{11} U^2 + b_{22} R^2 + b_{33} C^2$
6	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_{12} UR + b_{11} U^2 + b_{22} R^2$
7	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 C + b_{12} UC + b_{11} U^2 + b_{33} C^2$
8	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 V + b_{12} UV + b_{11} U^2 + b_{33} V^2$
9	$\Delta I = b_0 + b_1 R + b_2 V + b_{12} RV + b_{11} R^2 + b_{33} V^2$
10	$\Delta I = b_0 + b_1 C + b_2 V + b_{12} CV + b_{11} C^2 + b_{33} V^2$
11	$\Delta I = b_0 + b_1 R + b_2 V + b_{12} RV + b_{11} R^2 + b_{33} V^2$
12	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_3 C + b_4 V + b_{12} UR + b_{13} UC + b_{23} RC$
13	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_3 C + b_4 V + b_{12} UR + b_{13} UC + b_{23} RV$
14	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_3 C + b_4 V + b_{12} UR + b_{13} UC + b_{23} VC$
15	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_3 C + b_4 V + b_{12} UR + b_{33} V^2$
16	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_3 C + b_4 V + b_{12} UR + b_{33} U^2$
17	$\Delta I = b_0 + b_1 U + b_2 R + b_3 C + b_4 V + b_{12} UR + b_{33} C^2$

Порядок выполнения работы

1. Выписать из таблицы 3 столбцы, необходимые для построения, заданного Вам варианта уравнения регрессии и внести их в созданную Вами таблицу.
2. Дополнить таблицу столбцами, необходимыми для построения заданной Вам регрессии.
3. Рассчитать коэффициенты в уравнении регрессии.
4. Провести регрессионный анализ полученного уравнения регрессии и сделать выводы по работе.

Содержание отчёта

1. Наименование работы, постановка задачи исследования, цель.
2. Таблицы, расчетные формулы и результаты проведённых вычислений.
3. Результаты регрессионного анализа и выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое регрессионный анализ?
2. Для чего нужен регрессионный анализ?
3. Как рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии?
4. Что показывает коэффициенты регрессии?

3 Практическое задание № 3

Цель работы

Закрепление теоретических знаний по разделам дисциплины и овладение методиками статистического анализа полученных данных.

Форма проведения

Решение практических задач.

Задание

Используя данные таблицы 3, а также результаты корреляционного анализа найти уравнение множественной регрессии методом Брандона. При решении задачи целесообразно использовать [1-3].

Порядок выполнения работы

1. Запишите уравнение множественной регрессии по методу Брандона, расположив в нём факторы в соответствии с их влиянием на функцию отклика, используя результаты корреляционного анализа, проведенного в работе 2.

2. Выпишите из таблицы 3 столбцы, необходимые для построения заданного Вам уравнения регрессии методом Брандона, расположив их в созданную Вами таблицу в соответствии с результатами корреляционного анализа.

3. Постройте необходимые графики, приведите таблицы и результаты вычислений, полученных при построении регрессии

4. Рассчитать коэффициенты в уравнении регрессии.

Содержание отчёта

1. Наименование работы, постановка задачи исследования, цель.

2. Графики, таблицы, расчетные формулы и результаты проведенных вычислений.

3. Результаты проведенных расчетов и выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Когда используется метод Брандона?

2. Как располагаются факторы в уравнении регрессии по методу Брандона?

3. Как рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии?

4 Практическое задание № 4

Цель работы

Закрепление теоретических знаний по разделам дисциплины и овладение методиками статистического анализа полученных данных.

Форма проведения

Решение практических задач.

Теоретические сведения [1, 2]

Применение полного факторного эксперимента при нахождении оптимальных режимов контактно-реактивной диффузионной пайки сплава ОТ4.

Изучены механические свойства паяных нахлесточных соединений. Критерием оптимизации выбрана кратковременная прочность паяного соединения на срез $\tau_{ср}$, МПа, при 20°C.

Цель эксперимента – исследование влияния на прочность соединения следующих факторов режима пайки: X_1 – температура пайки, °C; X_2 – выдержка при температуре пайки, мин; X_3 – толщина покрытия припоя, мкм.

Способ пайки – контактно-реактивная диффузионная пайка, в качестве контактного покрытия использован никель. Пайку проводили в вакуумной печи, при температуре пайки давление в вакуумной камере составляло 0,01 Па. Припой в виде покрытия наносили на одну из паяемых пластин. В процессе пайки к паяемым поверхностям прикладывали небольшое давление. Скорость нагрева образцов регулировали мощностью установки, паяное соединение охлаждали вместе с печью. Поверхности перед пайкой были очищены и протравлены. Величину нахлестки регламентировали конструкцией изделия.

Область определения, основной уровень и интервалы варьирования факторов.

Фактор X_1 . Учитывая температурные интервалы недопустимого роста зерна в сплаве ОТ4, начала контактно-реактивного плавления титана с никелем, устойчивого существования интерметаллидов, температуры рекристаллизации паяемого материала, была выбрана область определения для температурного интервала пайки от 950 до 1000 °C.

Фактор X_2 . Учитывая время до начала недопустимого роста зерна сплава ОТ4 при температуре пайки и образования прослойки жидкой фазы в контакте с припоем, выбрана область определения для времени выдержки при температуре пайки от 0 до 240 с. На основе априорной информации и предварительных экспериментов были выбраны основные уровни и интервалы варьирования факторов: Число факторов – три. Вид модели неизвестен. Выбираем полный факторный эксперимент. Тогда вид модели – неполная квадратичная регрессионная модель процесса, с учетом всех взаимодействий факторов. Матрица планирования опытов приведена в таблице 5. При решении задачи целесообразно использовать [1-3].

Таблица 4 – Основные уровни и интервалы варьирования факторов

	X_1	X_2	X_3
Основной уровень	975	45	–
Интервал варьирования	25	15	–
Верхний уровень	1000	60	50
Нижний уровень	950	30	15

Таблица 5 – Матрица планирования

Номер опыта	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
3	+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1

Продолжение таблицы 5

Номер опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃
4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1
7	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
8	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1
							-1

Примечание. Знак «+» – значение верхнего уровня фактора, знак «-» – значение нижнего уровня фактора.

Таблица 6 – Порядок проведения параллельных опытов и результаты опытов

Номер опыта	Порядок повторных опытов	Y ₁	Y ₁	Y ₁	\bar{Y}
1	8; 18; 13	31,6	32,0	32,2	31,93
2	3; 12; 24	25,9	26,1	26,0	26,00
3	11; 22; 15	28,3	28,4	28,6	28,43
4	6; 17; 14	23,1	23,1	23,1	23,10
5	2; 4; 19	35,1	34,9	34,9	34,97
6	23; 5; 7	32,3	32,5	32,6	32,47
7	1; 21; 9	30,9	31,0	31,1	31,00
8	20; 10; 16	29,0	28,6	28,7	28,77

Порядок выполнения работы

1. Перейти от натурального масштаба к кодируемому.
2. Рассчитать коэффициенты в уравнении регрессии.
3. Оценить однородность дисперсий.
4. Найти дисперсию воспроизводимости и оценить значимость коэффициентов
4. Найти остаточную дисперсию и оценить адекватность уравнения.

Содержание отчёта

1. Наименование работы, постановка задачи исследования, цель.
2. Таблицы, расчетные формулы и результаты проведённых вычислений.
3. Результаты статистического анализа и выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляется переход при планировании экспериментов от натурального масштаба к кодированному?
2. Формулы для расчета коэффициентов в уравнении регрессии при использовании ПФЭ.?
3. По каким критериям оценивается однородность дисперсий, значимость коэффициентов и адекватность уравнения?
4. Что показывает коэффициенты регрессии?

5 Практическое задание № 5

Цель работы

Закрепление теоретических знаний по разделам дисциплины и овладение методиками статистического анализа полученных данных.

Форма проведения

Решение практических задач.

Теоретические сведения [1, 2]

Известно, что пробивная напряженность поверхности диэлектрика в вакууме возрастает с уменьшением толщины испытываемого на электрическую прочность образца. Указанное положение находит отражение в конструкциях высоковольтных изоляторов, применяемых в высоковольтных трансформаторах, ускорительной технике и т. д.

С целью повышения электрической прочности изоляторов последние делят на множество секций проводящими градиентными кольцами. При этом применяют цилиндрическую или дисковую форму элементов секций. Высоту секций в этих конструкциях изоляторов определяют, как правило, исходя из большого объема экспериментальных исследований, что связано со значительным расходом времени и материалов, идущих на изготовление испытываемых образцов изоляторных секций. Кроме того, полученный при исследованиях результат не гарантирует создания конструкции секционированного изолятора с оптимальными габаритами.

Техническая задача, поставленная в рамках настоящей работы, заключается в том, чтобы упростить способ и повысить точность определения оптимального количества секций в изоляторе, позволяющей получить максимальное значение пробивного напряжения для заданных габаритов изолятора.

Экспериментальные значения пробивных напряжений U пирексовых колец от их толщины d приведены в таблице 7. При решении задачи целесообразно использовать [1-3].

Таблица 7 – Результаты эксперимента

№	1	2	3	4	5	6	7	8	Сумма
d , мм	2	4	8	10	16	20	25	30	
U , кВ	10	13	19	21	24	27	29	30	

Порядок выполнения работы

1. Используя таблицу 1 построить график зависимости пробивного напряжения U от толщины диэлектрика d .

2. Используя таблицу 1 определить величины k и α в формуле 1.

$$U = k \cdot d^\alpha \quad (1)$$

3. Используя полученные численные значения k и α нанести на график зависимости пробивного напряжения U от толщины диэлектрика d расчетные значения по формуле 1 значения U для тех же толщин диэлектрика, которые приведены в таблице 2.

4. Найти производную $\partial U / \partial n$ используя выражение

$$U = k \cdot U_1^\alpha \cdot n = \left(\frac{H - b \cdot n}{n} \right)^\alpha \cdot n = k \cdot n^{1-\alpha} \cdot (H - b \cdot n)^\alpha, \quad (2)$$

где n – число секций в изоляторе;

U_1 – пробивное напряжение одной секции толщиной d_1 :

$$d_1 = \frac{H-b \cdot n}{n}; U_1 = k \cdot \left(\frac{H-b \cdot n}{n} \right)^\alpha, \quad (3)$$

5. Преобразовав полученное выражение для производной и, приравняв его к 0, $\partial U / \partial n = 0$, найти формулу для определения оптимального числа секций в изоляторе $N = n_{\text{опт}}$.

6. Используя полученную формулу и численное значение величины α рассчитать $N = n_{\text{опт}}$ при следующих значениях: $H = 300$ мм; $b = 3$ мм.

7. Используя полученные результаты рассчитать величину U для различных значений n в изоляторе, имеющим $H = 300$ мм; $b = 3$ мм. Расчетные значения свести в таблицу и построить график U от n

Таблица 8 – Расчётные значения

n	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
d, мм											
U, кВ											

Содержание отчёта

1. Наименование работы, постановка задачи исследования, цель.
2. Таблицы, расчетные формулы и результаты проведённых вычислений.
3. Результаты статистического анализа и выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Как изменяется пробивное напряжение по поверхности изолятора в вакууме?
2. Какая функция лучше всего подходит для аппроксимации зависимости пробивного напряжения по поверхности диэлектрика в вакууме от толщины диэлектрика?
3. Зависит ли уровень пробивного напряжения секционированного изолятора от количества секций в нём?
4. Как определить оптимальное количество секций в изоляторе?

6 Практическое задание № 6

Цель работы

Закрепление теоретических знаний по разделам дисциплины и овладение методиками статистического анализа полученных данных.

Форма проведения

Решение практических задач.

Теоретические сведения [1, 2]

Изучается напряжение при удлинении на 300% (функция отклика y) типовой протекторной резины на основе 70% СКД и 30% СКИ-3 в зависимости от содержания (в вес. ч.) трех компонентов: серы (z_1), технического углерода (z_2) и пластификатора (z_3).

При исследовании влияния серы, технического углерода и пластификатора были выбраны пределы измерения дозировок: для серы 1,1 - 2,5 вес.ч., для технического углерода 45 - 65 вес.ч., для пластификатора ПН-6 2 - 16 вес.ч.

Найти значение коэффициентов линейной регрессии вида

$$y(x_1, x_2, x_3) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Для проведения регрессионного анализа используем матрицу плана, приведенного в таблице 9.

Таблица 9 – Матрица плана эксперимента

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе		Факторы в безразмерной системе					Выходной параметр
	z_1	z_2	z_3	x_0	x_1	x_2	x_3	\bar{Y}
1	1,1	45	2	+1	-1	-1	-1	50
2	2,5	45	2	+1	+1	-1	-1	88
3	1,1	65	2	+1	-1	+1	-1	86
4	2,5	65	2	+1	+1	+1	-1	140
5	1,1	45	16	+1	-1	-1	+1	27
6	2,5	45	16	+1	+1	-1	+1	50
7	1,1	65	16	+1	-1	+1	+1	50
8	2,5	65	16	+1	+1	+1	+1	10

Столбец выходного параметра получен по результатам параллельных опытов, приведенных в таблице 10. При решении задачи целесообразно использовать [1-3].

Таблица 10 – Результаты параллельных опытов

\bar{Y}	Y_1	Y_1	Y_1
50	47	53	50
88	90	89	85
86	88	85	84
140	144	137	139
27	25	27	29
50	50	46	54
50	51	52	47
10	104	100	96

Порядок проведения работы

1. Подготовить экспериментальные данные и получить допуск у преподавателя.

2. Определить область планирования эксперимента, число действующих факторов, функцию отклика.
3. Провести проверку экспериментальных данных на однородность и нормальность.
4. Провести расчет матрицы планирования полного факторного эксперимента, занести матрицу в протокол. Необходимо обратить внимание, что матрица заполняется в строгом соответствии с планом эксперимента.
5. Получить уравнение регрессии. Занести результаты в протокол. Провести сравнение экспериментальных и расчетных значений. Занести в протокол полученную таблицу.
6. Провести оценку значимости коэффициентов регрессии и оценку адекватности полученного уравнения. Результаты занести в протокол.
9. Рассчитать значения выходного параметра в 4 точках. Занести результаты в протокол.
10. Рассчитать отклонение расчетного значения выходного параметра от экспериментальных данных в центре плана.
11. Написать отчет и сделать выводы о проделанной работе.

Содержание отчёта

1. Наименование работы, постановка задачи исследования, цель.
2. Таблицы, расчетные формулы и результаты проведённых вычислений.
3. Результаты статистического анализа и выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Методы активного эксперимента. Основные отличия методов пассивного и активного эксперимента.
2. Понятие системы «Черный ящик».
3. Порядок выборов действующих факторов, области определения эксперимента.
4. Вид уравнения регрессии при полном факторном эксперименте.
5. Построение матрицы планирования полного факторного эксперимента. Ее назначение. Порядок расчет коэффициентов математической модели.
6. Определение значимости коэффициентов регрессии.
7. Анализ способов оценки адекватности полученного уравнения регрессии.
8. Построение линий равного уровня функции отклика.
9. Определение типа поверхности функции отклика при полном двухфакторном эксперименте.
10. Достоинства и недостатки полного факторного эксперимента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов, Г. В. Моделирование и оптимизация объектов и процессов: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Смирнов Г. В. – Томск: ТУСУР, 2016. – 216 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6495> (дата обращения: 11.02.2022).
2. Смирнов, Г. В. Статистические методы обработки: Учебное методическое пособие [Электронный ресурс] / Г. В. Смирнов. – Томск: ТУСУР, 2012. – 107 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/1791> (дата обращения: 11.02.2022).
3. Еханин, С. Г. Эксперимент: планирование, проведение, анализ: Методические указания к практическим занятиям, самостоятельной работе и курсовому проектированию для студентов академической магистратуры «Проектирование и технология нанoeлектронных средств» [Электронный ресурс] / С. Г. Еханин. – Томск: ТУСУР, 2016. – 29 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/5930> (дата обращения: 11.02.2022).