

Подписано электронной подписью:
Вержицкий Данил Григорьевич
Должность: Директор КГПИ КемГУ
Дата и время: 2025-04-23 00:00:00
471086fad29a3b30e244c728abc3661ab35c9d50210dcf0e75e03a5b6fdf6436

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кемеровский государственный университет»
Новокузнецкий институт (филиал)
Факультет физической культуры, естествознания и природопользования

Чмелева К.В.

Методические материалы
«Выполнение контрольной работы по дисциплине
«Планирование и организация эксперимента в сфере
безопасности» для студентов
очной/очно-заочной/заочной
формы обучения»

Выполнение контрольной работы по дисциплине «Планирование и организация эксперимента в сфере безопасности»: методические материалы для студентов очной/ очно-заочной/заочной формы обучения направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность / К.В.Чмелева ; Новокузнецк. ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та.- Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2020г.-22 с.

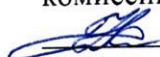
Методические рекомендации составлены для студентов, обучающихся на факультете физической культуры, естествознания и природопользования и позволяют закрепить навык планирования, проведения эксперимента и обработки его результатов, сформированный на теоретических и практических занятиях.

Рекомендовано
на заседании кафедры
геоэкологии и географии
16 сентября 2020 г.
Заведующий кафедрой
геоэкологии и географии



Ю.В. Удодов

Утверждено
методической комиссией
факультета физической культуры,
естествознания
05 октября 2020 г.
Председатель методической
комиссии ФФКЕП

 Н.Т. Егорова

© К.В.Чмелева, 2020

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Кемеровский государственный университет»
Новокузнецкий институт (филиал)

Оглавление

Введение	4
1. Выбор варианта контрольной работы	4
2. Требования к контрольной работе	5
3. Состав и структура контрольной работы	5
4. Оформление контрольной работы	7
5. Рекомендации по сбору и обработке материала к контрольной работе	8
6. Организация выполнения контрольной работы	8
7. Порядок защиты контрольной работы	9
Приложения	10

Введение

Методические рекомендации по организации выполнения и защиты контрольной работы по дисциплине «Планирование и организация эксперимента в сфере безопасности» составлены в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов ВПО в части требований к формированию практических профессиональных навыков и способности к самостоятельной работе выпускников.

Выполнение студентом контрольной работы происходит на заключительном этапе изучения учебной дисциплины, в ходе которого осуществляется обучение применению полученных знаний и умений при решении комплексных задач, связанных со сферой профессиональной деятельности будущих бакалавров.

Цель контрольной работы - закрепление полученных теоретических знаний и практических навыков оценки и менеджмента профессиональных рисков на рабочих местах.

В процессе выполнения контрольной работы решаются следующие задачи:

- систематизации, углубления и закрепление теоретических знаний в соответствии с заданной темой;
- формирования умений применять теоретические знания при решении поставленных вопросов;
- формирования умений использовать справочную, нормативную и правовую документацию;
- развития творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- развить навыки оформления письменных работ и презентации результатов выполненных исследований и расчетов.

Контрольная работа выполняется в сроки, определенные рабочим учебным планом соответствующего направления обучения.

1. Выбор варианта контрольной работы

Варианты заданий контрольных работ разрабатываются преподавателем НФИ КемГУ, ведущим дисциплину «Планирование и организация эксперимента в сфере безопасности», рассматриваются и принимаются на заседании кафедры вместе с рабочей программой и методическими материалами по дисциплине.

Студенты выбирают вариант задания курсовой работы согласно порядковому номеру в актуальном списке группы. Если порядковый

номер студента больше, чем вариантов контрольной работы, то он согласует свой вариант контрольной работы с преподавателем.

Курсовая работа, тема которой выбрана студентом произвольно, без согласования с преподавателем, ведущим дисциплину и заведующим выпускающей кафедрой к защите не допускается.

Общее руководство и контроль за ходом выполнения контрольной работы осуществляет преподаватель дисциплины «Планирование и организация эксперимента в сфере безопасности».

2. Требования к контрольной работе

Контрольная работа по дисциплине должна отвечать ряду требований:

- цель, задачи, теоретическое содержание, выбранные методы и результаты исследований должны соответствовать заданию контрольной работы;
- соответствовать требованиям, предъявляемым к структуре и оформлению контрольных работ;
- в работе должны быть использованы современные источники научной, технической литературы (не позднее 2000 г.) и документации, актуальные нормативно-правовые документы;
- объем курсовой работы – 15- 20 страниц печатного текста.

3. Структура контрольной работы

В состав контрольной работы входят:

4. титульный лист,
5. лист с вариантом задания на контрольную работу,
6. содержание (оглавление);
7. введение;
8. основной текст;
9. заключение;
10. список использованных источников и литературы;
11. приложения.

По структуре контрольная работа по дисциплине «Планирование и организация эксперимента в сфере безопасности» относится к работам практического характера. **Титульный лист** контрольной работы оформляется в соответствии с приложением А. На нем преподаватель отмечает дату сдачи контрольной работы, дату защиты и выставленную оценку.

Лист с вариантом задания на контрольную работу вшивается в текст работы.

Содержание работы отражает структуру и нумерацию страниц глав текстового материала, списка источников и приложений.

Во **введении** кратко обосновывается актуальность темы контрольной работы, цель, задачи и методы исследования. Следует показать практическую значимость работы.

Основной текст работы, раскрывающий содержание темы, делится на главы, а главы на параграфы (подглавы), посвященные более узким вопросам темы.

В **заключение** (2-3 стр.) резюмируется содержание письменной работы, делается заключение о выполнении цели и задач, поставленных в работе, даются наиболее важные выводы (сумма выводов из глав), полученные в результате исследования, определяются возможные перспективы дальнейшего изучения проблемы, научная новизна и практическая значимость работы.

Библиографическое описание использованной литературы является обязательным атрибутом письменной исследовательской работы. **Список использованных источников и литературы** контрольной работы состоит из трех частей: списка нормативно – правовых актов и других официальных документов, списка использованной литературы, списка электронных изданий и сайтов Интернета.

В библиографии перечисляются не только те нормативно – правовые акты и литература, на которые студент ссылается в текстовой части работы, но и те, которые были изучены в ходе исследования и подготовки к написанию работы.

Приложения к контрольной работе могут включать первичный исследовательский материал: статистические данные, диаграммы, графики, расчеты, таблицы и другие вспомогательные материалы, на которые есть ссылки в тексте работы.

3. Оформление контрольной работы

За содержание контрольной работы, правильность приведенных данных несет ответственность студент-исполнитель. Выполненная студентом курсовая работа (проект) сдается в отпечатанном виде. Текст печатается на стандартных листах формата А4 с одной стороны шрифтом Times New Roman размером 14 кеглей (через 1,5 интервала), по 28 – 29 строк на странице включая сноски (шрифт – 12, через 1 интервал), с оставлением полей: слева – 30 мм, справа – 10 мм, верхнее и нижнее – по 20 мм. Предложения, начинающиеся с новой (красной) строки, печатаются с абзацным отступом равным 1,25 мм.

В работе используется сквозная нумерация страниц, включая библиографию. На первой странице (титульном листе) и на листе задания номер не ставится, оглавление работы нумеруется цифрой 2. Номер страницы представляется арабскими цифрами в центре нижнего поля листа без точки.

Каждая глава, а также введение, заключение, библиография, приложения начинаются с новой страницы.

Главы контрольной работы должны быть пронумерованы арабскими цифрами. Номер параграфа каждой главы в курсовой работе состоит из номера главы и непосредственно номера параграфа в данной главе, отделенного от номера главы точкой, знак параграфа не требуется (по образцу: 1.1 ...). Переносы слов в наименовании глав, параграфов, пунктов не допускаются. Точка в конце заголовка глав и параграфов не ставится. Если наименование состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Документами, регламентирующими общие требования к оформлению письменной работы, являются:

12. Методические указания НФИ КемГУ «Оформление письменных работ»;
13. ГОСТ 7.9-95 Реферат и аннотация. Общие требования.
14. ГОСТ 2.105 – 95 Общие требования к текстовым документам.
15. ГОСТ 6.30-2003 Унифицированная система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов.
16. ГОСТ Р 7.0.100-2018 Библиографическая запись. Библиографическое описание.

4. Рекомендации по сбору и обработке материала для контрольной работы

Начать работу над контрольной работой целесообразно с поиска исходных источников информации, изучения их содержания.

Выбирая литературу, студент должен учитывать, в какой мере она посвящена теме контрольной работы, раскрывает ее содержание. Выбирая источник, надо обращать внимание и на год его издания.

Изучая литературу по теме работы, студент может встретиться с новыми понятиями, определениями. Каждое из них следует выписать отдельно, а затем с помощью словаря найти их лексическое значение. Смысл новых понятий обязательно должен быть раскрыт в ходе изложения курсовой работы.

Подбирая материал для курсовой работы, студенты могут использовать различные информационно-поисковые системы: электронные каталоги библиотек, информационно-поисковые системы центров научно-технической информации, поисковые системы в Интернет и т.п.

5. Организация выполнения контрольной работы

Выполненные контрольные работы в установленный срок сдаются руководителю, который оценивает качество работы с учетом теоретического и

практического ее содержания, достижения целей и задач, подписывает ее и передает студенту для ознакомления.

Контрольная работа в балльно-рейтинговую систему оценки учащихся по дисциплине и является обязательной для выполнения. За выполнение контрольной работы можно получить от 6 до 12 баллов.

«6 баллов» - нижнее пороговое значение, которое выставляется при правильном выборе методов проведения оценки и выполнении всех расчетов, но слабой проработке первой главы, отсутствии ссылок на литературные источники, малом количестве литературных источников, наличии ошибок в оформлении текста.

«12 баллов» - максимальная оценка за контрольную работу, которая выполняется при соблюдении всех требований к написанию и оформлению работы, правильном выборе методов и проведении расчетов.

Оценка от 7 до 11 баллов выставляется в зависимости наличия указанных отклонений от требований, но при правильно проведенных расчетах по работе.

6. Порядок защиты контрольной работы

Контрольная работа представляется и защищается в сроки, предусмотренные графиком выполнения контрольных работ по дисциплине, в часы назначенных преподавателем консультаций или выделенных специально для защиты контрольных работ. Контрольная работа должна быть сдана преподавателю не позднее, чем за три дня до защиты, для того, чтобы преподаватель успел проверить работу.

При защите контрольной работы оценивается:

17. полнота раскрытия темы;
18. правильное соотношение теоретического и фактического материала, связь теоретических положений с практикой;
19. умелая систематизация данных в виде таблиц, графиков, схем с необходимым анализом, обобщением и выявлением тенденций;
20. аргументированность, самостоятельность выводов, обоснованность предложений и рекомендаций;
21. грамотность выполнения курсовой работы, хороший язык и стиль изложения, правильное оформление работы.

Процедура защиты состоит из краткого сообщения студента об основном содержании работы, его ответов на вопросы преподавателя и ее окончательной оценки.

Тематика контрольных работ

Контрольная работа по дисциплине «Планирование и организация эксперимента в сфере безопасности» имеет общую титульную тему, в рамках которой каждому студенту предлагается индивидуальное задание как на теоретическую, так и на практическую часть работы.

Таблица 1 – Индивидуальное задание на теоретическую часть

Тема контрольной работы	Вариант	Тема индивидуального задания
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ПЛАНИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА. И	1	Статистические основы планирования и организации эксперимента
	2	Корреляционный анализ
	3	Регрессионный анализ
	4	Дисперсионный анализ
	5	Планирование эксперимента по схеме латинского квадрата
	6	Полный факторный эксперимент
	7	Дробный факторный эксперимент
	8	Эксперимент второго порядка
	9	Рототабельное планирование эксперимента
	10	Планирования симплексного факторного эксперимента
	11	Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Метод покоординатной оптимизации
	12	Ортогональное планирование эксперимента
	13	Градиентные методы оптимизации
	14	Проверка адекватности модели
	15	Обработка результатов экспериментальных исследований.
	16	Графическое представление экспериментальных данных и ошибок измерений
	17	Количественный анализ экспериментальных данных
	18	Случайные ошибки и методы оценки случайных погрешностей

		в измерениях.
	19	Математические методы анализа моделей
	20	Задача оптимизации эксперимента
	21	Проверка статистических гипотез
	22	Планы выборочного контроля
	23	Функция отклика. Модель «Черного ящика»
	24	Обобщенный параметр оптимизации.
	25	Рандомизация

Задание к практической части работы

2.1 Постановка задачи

Циклон - установка для сухой механической очистки газов от твердых или жидких частиц, которые делятся на пыль, дым и туман, выделяющихся при различных технологических процессах, связанных с сушкой, обжигом, сжиганием топлива. Эффективность очистки определяется коэффициентом полезного действия (КПД) циклона, который зависит от ряда факторов в зависимости от его типа.

Рассчитать полным факторным экспериментом влияние некоторых наиболее значимых факторов на КПД циклона.

Тип циклона, факторы и их значения определить по таблице 1 соответственно выбранному варианту. Значения функции отклика (КПД) определить по таблице 2.

Таблица 1 – Значения факторов

Вариант	Тип циклона	Фактор	Номер фактора	Верхнее значение	Нижнее значение
1	СК-ЦН-3	Допустимая запыленность, г\м ³	X_1	1000	700
		Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_2	11	9
		Температура, °С	X_3	250	100
2	СК-ЦН-34	Допустимая запыленность, г\м ³	X_1	950	620
		Оптимальная	X_2	17	10

		скорость входящего воздуха, м\с			
		Температура, °С	X_3	220	160
3	ЦОК	Допустимая запыленность, г\м³	X_1	20	10
		Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_2	16	10
		Температура, °С	X_3	400	200
4	РИСИ	Дисперсность фракции, мкм	X_1	10	5
		Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_2	17	10
		Температура, °С	X_3	380	110
5	Циклон- разгрузитель	Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	16	12
		Температура, °С	X_2	400	250
		Отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру корпуса циклона	X_3	0,4	0,2
6	ЦН-11	Концентрация пыли, г\м³	X_1	250	100
		Температура, °С	X_2	400	100
		Скорость входящего воздуха, м\с	X_3	11	7
7	ЦН-15	Концентрация пыли, г\м³	X_1	950	700
		Температура, °С	X_2	400	280
		Скорость входящего воздуха, м\с	X_3	16	10
8	СИОТ-М	Концентрация пыли, г\м³	X_1	300	100
		Температура, °С	X_2	360	120
		Скорость входящего воздуха, м\с	X_3	20	12
9	СИН-40	Дисперсность фракции, мкм	X_1	10	2
		Температура, °С	X_2	380	220
		Скорость входящего воздуха, м\с	X_3	24	10
10	СИОТ	Дисперсность фракции, мкм	X_1	40	20
		Температура, °С	X_2	360	180

		Скорость входящего воздуха, м\с	X_3	21	12
11	УЦ	Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	16	8
		Температура, °С	X_2	320	160
		Отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру корпуса циклона	X_3	0,6	0,3
12	ОЭК ДМ	Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	18	10
		Температура, °С	X_2	390	160
		Отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру корпуса циклона	X_3	0,6	0,4
13	ВЗП	Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	19	10
		Концентрация, г\м ³	X_2	10	4
		Соппротивление пылеуловителя, ПА	X_3	1600	900
14		Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	15	10
		Концентрация, г\м ³	X_2	10	6
		Соппротивление пылеуловителя, ПА	X_3	1500	1000
15	СК-ЦН-3	Допустимая запыленность, г\м ³	X_1	900	600
		Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_2	10	6
		Температура, °С	X_3	220	150
16	СК-ЦН-34	Допустимая запыленность, г\м ³	X_1	1000	800
		Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_2	15	12
		Температура, °С	X_3	250	140
17	ЦОК	Допустимая запыленность, г\м ³	X_1	15	8
		Оптимальная	X_2	14	8

		скорость входящего воздуха, м\с			
		Температура, °С	X_3	350	250
18	РИСИ	Дисперсность фракции, мкм	X_1	8	4
		Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_2	15	12
		Температура, °С	X_3	400	200
19	Циклон- разгрузитель	Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	17	10
		Температура, °С	X_2	380	280
		Отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру корпуса циклона	X_3	0,3	0,1
20	СИН-40	Дисперсность фракции, мкм	X_1	12	6
		Температура, °С	X_2	400	250
		Скорость входящего воздуха, м\с	X_3	17	8
21	СИОТ	Дисперсность фракции, мкм	X_1	30	10
		Температура, °С	X_2	400	220
		Скорость входящего воздуха, м\с	X_3	15	10
22	УЦ	Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	14	10
		Температура, °С	X_2	350	200
		Отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру корпуса циклона	X_3	0,5	0,4
23	ОЭК ДМ	Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	16	12
		Температура, °С	X_2	400	200
		Отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру корпуса циклона	X_3	0,5	0,3
24	ВЗП	Оптимальная скорость входящего воздуха,	X_1	17	12

		м\с			
		Концентрация, г\м ³	X_2	8	6
		Сопротивление пылеуловителя, ПА	X_3	1500	1000
25	ВЗП-М	Оптимальная скорость входящего воздуха, м\с	X_1	13	7
		Концентрация, г\м ³	X_2	12	8
		Сопротивление пылеуловителя, ПА	X_3	1400	800

Таблица 2 – Функция отклика

Вариант	Отклик	Значения отклика							
1	Y ₁	78	82	79	92	94	88	89	90
	Y ₂	76	84	82	86	90	81	88	92
	Y ₃	75	88	88	85	84	79	79	89
2	Y ₁	90	91	91	91	93	92	93	95
	Y ₂	86	92	90	91	87	89	90	93
	Y ₃	91	84	91	92	89	91	91	94
3	Y ₁	86	82	90	92	92	90	98	98
	Y ₂	84	84	86	88	90	94	92	90
	Y ₃	85	84	88	89	94	93	94	96
4	Y ₁	76	81	80	85	84	82	92	90
	Y ₂	84	83	83	84	80	80	90	94
	Y ₃	82	80	85	88	88	86	94	89
5	Y ₁	85	84	87	86	88	89	91	90
	Y ₂	80	81	84	83	86	85	93	92
	Y ₃	85	84	87	86	88	87	94	90
6	Y ₁	76	78	81	80	83	84	86	84
	Y ₂	74	74	78	75	76	73	84	88
	Y ₃	78	79	84	82	80	80	87	91
7	Y ₁	77	79	82	81	84	86	88	86
	Y ₂	75	75	79	76	78	75	86	90
	Y ₃	79	80	85	83	81	82	89	93
8	Y ₁	55	57	55	62	72	86	91	92
	Y ₂	65	59	58	68	70	88	84	88
	Y ₃	60	63	64	66	68	82	90	87
9	Y ₁	81	79	83	82	85	84	90	91
	Y ₂	88	89	91	90	93	92	95	94
	Y ₃	86	87	85	86	89	92	90	96
10	Y ₁	81	93	94	90	82	90	80	86
	Y ₂	79	82	87	84	92	86	82	88
	Y ₃	84	85	83	92	85	91	87	80
11	Y ₁	99	92	93	96	95	98	91	94
	Y ₂	96	94	95	97	91	93	98	92
	Y ₃	91	96	99	97	94	98	95	93

12	Y ₁	89	89	97	92	93	98	90	96
	Y ₂	81	90	90	97	93	92	95	94
	Y ₃	98	96	91	91	95	94	89	87
13	Y ₁	85	85	87	90	89	95	92	92
	Y ₂	86	86	98	88	96	90	94	95
	Y ₃	89	88	87	97	91	93	91	93
14	Y ₁	95	92	98	99	95	99	94	95
	Y ₂	97	94	95	90	98	92	96	96
	Y ₃	98	96	94	95	99	97	98	98
15	Y ₁	86	88	92	90	94	92	93	97
	Y ₂	88	87	94	86	96	92	94	94
	Y ₃	90	89	91	95	90	97	96	98
16	Y ₁	90	91	91	91	93	92	93	95
	Y ₂	86	92	90	91	87	89	90	93
	Y ₃	91	84	91	92	89	91	91	94
17	Y ₁	86	82	90	92	92	90	98	98
	Y ₂	84	84	86	88	90	94	92	90
	Y ₃	85	84	88	89	94	93	94	96
18	Y ₁	76	81	80	85	84	82	92	90
	Y ₂	84	83	83	84	80	80	90	94
	Y ₃	82	80	854	88	88	86	94	89
19	Y ₁	85	84	87	86	88	89	91	90
	Y ₂	80	81	84	83	86	85	93	92
	Y ₃	85	84	87	86	88	87	94	90
20	Y ₁	81	79	83	82	85	84	90	91
	Y ₂	88	89	91	90	93	92	95	94
	Y ₃	86	87	85	86	89	92	90	96
21	Y ₁	81	93	94	90	82	90	80	86
	Y ₂	79	82	87	84	92	86	82	88
	Y ₃	84	85	83	92	85	91	87	80
22	Y ₁	99	92	93	96	95	98	91	94
	Y ₂	96	94	95	97	91	93	98	92
	Y ₃	91	96	99	97	94	98	95	93
23	Y ₁	89	89	97	92	93	98	90	96
	Y ₂	81	90	90	97	93	92	95	94
	Y ₃	98	96	91	91	95	94	89	87
24	Y ₁	85	85	87	90	89	95	92	92
	Y ₂	86	86	98	88	96	90	94	95
	Y ₃	89	88	87	97	91	93	91	93
25	Y ₁	95	92	98	99	95	99	94	95
	Y ₂	97	94	95	90	98	92	96	96
	Y ₃	98	96	94	95	99	97	98	98

2.2 Алгоритм построения полного факторного эксперимента и оценки влияния факторов

2.2.1 Определение центра плана (основной уровень) и уровня варьирования факторов

Находим центр плана:

$$\Delta m_{k0} = \frac{m_{k\max} + m_{k\min}}{2}, \text{ где } m_k - \text{значение } k\text{-го фактора}$$

Находим полуразмах:

$$\Delta m_k = m_{k\max} - m_{k0} = m_{k0} - m_{k\min}.$$

Рассчитываем и оформляем в виде таблицы.

Таблица 3 – Центр плана и полуразмах

Фактор	Центр плана m_{k0}	Полуразмах Δm_k
X_1		
X_2		
X_3		

Рассчитываем нижний уровень варьирования факторов:

$$x_i = \frac{m_{k\min} - m_{k0}}{\Delta m_k},$$

Рассчитываем верхний уровень варьирования факторов:

$$x_i = \frac{m_{k\max} - m_{k0}}{\Delta m_k},$$

2.3 Построение матрицы планирования

Число опытов определяют по формуле: $N = k^i$, где k – число уровней варьирования, i – число факторов.

Построим матрицу планирования с равномерным дублированием экспериментов. Целью исследований является изучение влияния ряда факторов на коэффициент полезного действия циклона.. Всего было произведено восемь серий опытов. Каждый опыт дублировался 3 раза, следовательно, дублирование равномерное.

Условно значения факторов по верхнему и нижнему пределам (уровням) обозначаем через кодированные значения факторов $X_i = +$ и $X_i = -$. Верхний уровень $X_i = +$ соответствует максимальному значению фактора, нижний уровень $X_i = -$ – минимальному значению.

Таким образом, переменные x_i задают значения факторов в натуральном виде, а переменные X_i – в кодированном виде соответственно через верхний ($X_i = +$) и нижний ($X_i = -$) уровни (табл. 3). В дальнейшем для построения регрессионной модели сначала будут использоваться кодированные значения факторов X_i , а затем будет производиться переход от кодированных значений факторов к их фактическим значениям x_i .

Таблица 3 – Матрица планирования типа 2^3

№ опыта	X_1	X_2	X_3
1	+	+	-
2	+	+	+
3	+	-	+
4	+	-	-
5	-	+	-
6	-	+	+
7	-	-	+
8	-	-	-

Составляем расширенную матрицу планирования для того, чтобы учесть взаимодействие факторов.

Таблица 4 – Расширенная матрица планирования

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_3$	$x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}
1	+	+	+	-	+	-	-	-	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	\bar{Y}_1
2	+	+	+	+	+	+	+	+	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	\bar{Y}_2
3	+	+	-	+	-	+	-	-	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	\bar{Y}_3
4	+	+	-	-	-	-	+	+	Y_{14}	Y_{24}	Y_{34}	\bar{Y}_4
5	+	-	+	-	-	+	-	+	Y_{15}	Y_{25}	Y_{35}	\bar{Y}_5
6	+	-	+	+	-	-	+	-	Y_{16}	Y_{26}	Y_{36}	\bar{Y}_6
7	+	-	-	+	+	-	-	+	Y_{17}	Y_{27}	Y_{37}	\bar{Y}_7
8	+	-	-	-	+	+	+	-	Y_{18}	Y_{28}	Y_{38}	\bar{Y}_8

2.4 Проверка однородности дисперсии и равноточности измерения в разных сериях

Для проверки однородности дисперсии выбираем критерий Кохрена (Приложение). Для этого рассчитываем дисперсию в каждом опыте по формуле:

$$S_i^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}.$$

Условия проверки однородности дисперсий по критерию Кохрена:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2};$$

$G_{\text{табл}}$ для уровня значимости 0,05 равна 0,32.

Если $G < G_{\text{табл}}$, следовательно, дисперсия однородна и измерения в разных сериях равнозначны.

2.5 Коэффициенты уравнения регрессии

Находим коэффициенты уравнения регрессии.

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot \bar{y}_i}{N}.$$

Следовательно, уравнение регрессии примет вид:

$$y = 54,12 + 0,3x_1 + 0,2x_2 - 0,45x_3 + 0,87x_{12} + 0,72x_{13} - 1,52x_{23} - 1,55x_{123}.$$

2.6 Дисперсия воспроизводимости

Вычисляем значение дисперсии воспроизводимости по формуле:

$$S_{\text{воск}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{N(n-1)},$$

2.7 Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии

Проверяем значимость коэффициентов уравнения регрессии по критерию Стьюдента:

$$t_i = \frac{|b_i|}{A}, \quad \text{где } A = \sqrt{\frac{S_{\text{воск}}^2}{N \cdot n}}.$$

Здесь N – число опытов, n – число факторов

Условие значимости $t_i \geq t_{\text{табл}}$. Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы $f = N - 1$ находим табличное значение критерия Стьюдента $t_{\text{табл}}$. (Приложение).

Сравниваем расчетное значение с табличным и если значение $t_1, t_2, t_3, t_{12}, t_{13}, t_{23}, t_{123}$ незначительные, то их коэффициенты следует исключить из уравнения регрессии. Так как коэффициенты незначимы и мы не имеем возможности заново поставить новый эксперимент, продолжаем вычисления, выбрав наиболее близкие к значимым коэффициенты.

Уравнение регрессии (например) примет вид:

$$y = 54,12 - 1,52x_{23} - 1,55x_{123}.$$

2.8 Проверка адекватности уравнения регрессии

Для проверки используется критерий Фишера (Приложение):

$$F = \frac{S_{адекв}}{S_{ост}^2},$$

$$S_{адекв}^2 = \frac{n}{N-d} \sum_{i=1}^N (y_{iэ} - y_{iГ})^2,$$

где d – количество коэффициентов уравнения регрессии.

Находим табличное значение критерия Фишера для степеней свободы

$$f_1 = N-d \text{ и } f_2 = (n-1)*N$$

Сравниваем условие $F_{эмп} < F_{табл}$, значит, модель адекватна.

2.9 Раскодировка факторов

2.10 Выводы:

- Уравнение регрессии имеет вид:
- Анализ значимости коэффициентов уравнения регрессии показал, что влияние всех факторов значимо (или незначимо)
- Модель адекватна, так как критерий адекватности меньше табличного.
- Измерения в различных сериях равнозначны.

Приложение А

Критические точки критерия Стьюдента) (t – критерий)

f_t	α		
	0.05	0.01	0.005
1	12.71	63.66	127.3
2	4.30	9.92	14.1
3	3.18	5.84	7.45
4	2.78	4.60	5.60
5	2.57	4.03	4.77
6	2.45	3.71	4.32
7	2.36	3.50	4.03
8	2.31	3.36	3.83
9	2.26	3.25	3.69
10	2.23	3.17	3.58
12	2.18	3.06	3.43
14	2.14	2.98	3.33
16	2.12	2.92	3.25
18	2.11	2.88	3.19
20	2.09	2.84	3.15
22	2.07	2.82	3.12
24	2.06	2.80	3.09
26	2.06	2.78	3.07
30	2.04	2.75	3.03
∞	1.6	2.56	2.81

Приложение Б

Критические точки критерия Фишера)

(F – распределение для уровня значимости $q=0.05$)

f_2	f_1								
	1	2	3	4	5	8	12	24	∞
1	164	199	215	224	234	239	243	249	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.4	19.4	19.4	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	8.94	8.84	8.74	8.64	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.16	6.04	5.91	5.77	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	4.95	4.82	4.68	4.53	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.28	4.15	4.00	3.84	3.67
7	5.50	4.74	4.35	4.12	3.87	3.73	3.57	3.41	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.58	3.44	3.28	3.12	2.93
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.22	3.07	2.91	2.74	2.54
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.00	2.85	2.69	2.50	2.30
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.74	2.59	2.42	2.24	2.01
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.60	2.45	2.28	2.08	1.84
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.25	2.10	1.92	1.70	1.39
∞	3.84	2.99	2.60	2.37	2.09	1.94	1.75	1.52	1.00

Примечание. f_1 – число степеней свободы, f_2 – число факторов.

Приложение В

Критические точки критерия Кохрена) (G- критерий для уровня значимости $q=0.05$)

f_{Σ}	f_u									
	1	2	3	4	5	7	9	16	36	∞
2	0.998	0.975	0.939	0.906	0.877	0.833	0.801	0.734	0.660	0.500
3	0.967	0.871	0.798	0.746	0.707	0.653	0.617	0.547	0.475	0.333
4	0.906	0.768	0.684	0.629	0.589	0.536	0.502	0.437	0.372	0.250
5	0.841	0.684	0.598	0.544	0.506	0.456	0.424	0.364	0.307	0.200
6	0.781	0.616	0.532	0.480	0.445	0.398	0.368	0.314	0.261	0.167
7	0.727	0.561	0.480	0.431	0.397	0.354	0.326	0.276	0.228	0.143
8	0.680	0.516	0.438	0.391	0.360	0.318	0.293	0.246	0.202	0.125
9	0.638	0.478	0.403	0.358	0.329	0.290	0.266	0.223	0.182	0.111
10	0.602	0.445	0.373	0.331	0.303	0.267	0.244	0.203	0.166	0.100
15	0.471	0.335	0.276	0.242	0.220	0.191	0.174	0.143	0.114	0.067
20	0.389	0.270	0.220	0.192	0.174	0.150	0.136	0.111	0.088	0.050
30	0.293	0.198	0.159	0.138	0.124	0.106	0.096	0.077	0.060	0.033
60	0.174	0.113	0.090	0.076	0.068	0.058	0.052	0.041	0.032	0.017
120	0.100	0.063	0.050	0.042	0.037	0.031	0.028	0.022	0.016	0.008

Примечание. f_u – число степеней свободы числителя; f_{Σ} -- число степеней свободы знаменателя.