

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Агротехнологическая академия
факультет агрономии, садово-паркового и лесного хозяйства
кафедра растениеводства

Изотов А.М., Тарасенко Б.А., Дударев Д.П.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

**ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПЛАНИРОВАНИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ»**

для обучающихся по направлению подготовки
35.06.01 – Сельское хозяйство

Симферополь
2020

УДК 633 : 631.153

ББК 41/42

И 38

Изотов А.М., Тарасенко Б.А., Дударев Д.П.

Методические рекомендации для практических занятий по дисциплине «Планирование и статистический анализ данных исследований в растениеводстве» / А.М. Изотов, Б.А. Тарасенко, Д.П. Дударев. ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». — Симферополь, 2020. — 55 с.

Рецензенты учебного издания:

Письменный В.Д., кандидат с.-х. наук, доцент

Рогозенко А.В., кандидат с.-х. наук

Методические рекомендации освещают прядок изучения методов планирования многофакторных экспериментов, алгоритмов статистического анализа и принципов научной интерпретации данных исследований, овладения навыками разработки и оптимизации схем опытов, обобщения и статистической обработки полученных в них материалов в среде компьютерных средств обработки данных.

Методические рекомендации утверждены на заседании кафедры растениеводства в качестве учебно-методического пособия для обучающихся по направлению 35.06.01 – Сельское хозяйство.

От 23 июня 2020 г.

Протокол № 8

Методические рекомендации рассмотрены и одобрены решением учебно-методической комиссии факультета агрономии, садово-паркового и лесного хозяйства в качестве учебно-методического пособия для обучающихся по направлению 35.06.01 – Сельское хозяйство.

от 10 сентября 2020 г.

Протокол № 4

Рекомендовано к печати решением учебно-методического совета Агротехнологической академии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» в качестве учебно-методического пособия для обучающихся по направлению 35.06.01 – Сельское хозяйство.

От 30 сентября 2020 г.

Протокол № 5

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Планирование исследований и статистический анализ данных опытов в растениеводстве.....	5
1.1. Разработка полных факториальных схем полевых экспериментов на основе методов расщеплённых и перекрёстных делянок.....	5
1.2. Дисперсионный анализ данных многофакторного полевого опыта на основе метода расщеплённых делянок на ЭВМ.....	10
1.3. Планирование и анализ данных многофакторных регрессионных полевых экспериментов с использованием метода блоков.....	24
1.4. Разработка неполных факториальных схем многофакторных регрессионных опытов в растениеводстве.....	33
Список использованных источников.....	42
Приложения.....	44
Приложение А. Квазилатинский квадрат 8×8	45
Приложение Б. Урожайность озимой пшеницы в трёхфакторном поле-вом опыте $4 \times 4 \times 4$ с двойной блокировкой.....	46
Приложение В. Корректировка данных и дисперсионный анализ опыта с двойной блокировкой.....	48
Приложение Г. Регрессионный анализ данных полевого опыта.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Задача практического курса дисциплины состоит в закреплении знаний о методах планирования многофакторных экспериментов, алгоритмах статистического анализа и принципах научной интерпретации данных исследований, в приобретении навыков и умений в области планирования полевых и лабораторных исследований, разработки и оптимизации схем опытов, анализа полученных в них результатов с помощью методов математической статистики в среде компьютерных средств обработки данных и составления агрономически обоснованных выводов.

Для оценивания уровня освоения обучаемыми дисциплинарных частей компетенций при выполнении практических работ применяется следующая шкала.

Максимальный уровень «5» (отлично) – обучающийся выполнил задание практической работы, четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

Средний уровень «4» (хорошо) – обучающийся выполнил задание практической работы с небольшими неточностями и ответил на большинство контрольных вопросов.

Минимальный уровень «3» (удовлетворительно) – обучающийся выполнил задание практической работы с существенными замечаниями, при ответах на дополнительные вопросы допустил много неточностей.

Минимальный уровень не достигнут «2» (неудовлетворительно) – обучающийся не выполнил или выполнил неправильно задание практической работы, ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

1. ПЛАНИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ОПЫТОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

1.1. Разработка полных факториальных схем полевых экспериментов на основе методов расщеплённых и перекрёстных делянок

Цель занятия – изучить особенности планирования и получить навыки разработки схем многофакторных полевых опытов на основе методов расщеплённых и перекрёстных делянок.

Количество часов – 2

Задание:

1. Изучить специфичность условий проведения полевого опыта и её следствия в особенностях методики планирования исследований в агрономии. Раскрыть сущность понятия «многофакторный полевой эксперимент», показать его преимущества и расширенные возможности.
2. Охарактеризовать проблемы, сопутствующие проведению многофакторных полевых опытов и связанные с ними ограничения. Изложить сущность методов расщеплённых и перекрёстных делянок и условий их эффективного применения.
3. По индивидуальному заданию выполнить планирование двухфакторного полевого опыта с закладкой по методу расщеплённых или перекрёстных делянок.
4. Разработать программу исследований и календарный план проведения учётов и наблюдений.
5. Составить отчёт о проделанной работе.

Форма проведения – решение ситуационных задач

Методика и порядок выполнения

Пользуясь доступной научной, учебной, справочной литературой и информационными источниками сети Интернет, изучить специфику условий проведения полевого опыта, связанную с особен-

ностями объекта исследований – растительного сообщества полевых культур, с характером неконтролируемого варьирования почвенного плодородия в пределах опытного участка, сезонностью вегетационного периода. Ознакомиться с главными отрицательными следствиями особенностей полевого эксперимента: его относительно низкой точности, недостаточной воспроизводимости результатов, возможности их искажения систематическими ошибками из-за локального компонента варьирования плодородия почвы, связанная с сезонностью потребность в продолжительных исследованиях для обеспечения требуемой надёжности итогов.

Ознакомиться с основами понятия «многофакторный полевой эксперимент». Изучить его отличительные особенности и расширенные возможности, показать преимущества многофакторных опытов, охарактеризовать их роль в решении актуальных задач агрономической науки и практики акцентировать их значимость в получении данных для разработки математических моделей управления агротехническими режимами в точных технологиях выращивания полевых культур.

Ознакомиться с принципом факториальности и связанными с ним основными проблемами и ограничениями, сопутствующими проведению многофакторных полевых опытов вследствие их многовариантности. Охарактеризовать влияние расширения площади повторения полевого опыта сверх необходимой для размещения допустимых методикой 12...16 вариантов на степень неоднородности почвенного плодородия внутри такого повторения, на сопоставимость вариантов на территориально удалённых делянках и на трудоёмкость и затраты средств на его проведение. Изложить технические проблемы связанные с природой экспериментального материала или проведения операций изучения агротехнических факторов в многофакторном полевом опыте.

Изучить отличительные особенности схемы расщеплённых делянок и её разновидности – схемы перекрёстных делянок. Отметить обстоятельства целесообразности использования метода расщеплённых делянок, исходя из различий в подходах к точности оценки эффектов отдельных факторов и особенностей технических условий проведения эксперимента, требующих для опре-

делённых изучаемых приёмов агротехники более крупных делянок. Обозначить технические условия проведения полевого опыта для обоснованного применения метода перекрёстных делянок. Показать возможность облегчения применения механизированных технологических операций на главных делянках и делянках-полосах такой схемы, отметить её последствия использования на точность оценок главных эффектов факторов и их взаимодействия.

По заданной проблеме сформулировать тему и обозначить объект исследований. Сформулировать рабочую гипотезу, поставить цель и конкретные задачи исследований.

Обосновать выбор основного уровня (центра опыта) и шага между градациями каждого изучаемого фактора. Установить число градаций и определить варианты в разрезе отдельных факторов. Разработать полную факториальную схему эксперимента. Представить её в табличной форме (табл. 1).

Таблица 1 – Полная факториальная хема двухфакторного полевого опыта (2*3)

№ варианта	Градации факторов		Код варианта*
	А	В	
1	0	0	00
2	0	1	01
3	0	2	02
4	1	0	10
5	1	1	11
6	1	2	12

Отметить преимущества полного факториального эксперимента и указать на его недостатки. Обосновать и установить повторность опыта. В зависимости от специфики изучаемых факторов и требований к точности оценок их эффектов обосновать распределение размещения факторов между главными делянками и субделянками опыта.

Разработать систему рендомизации вариантов опыта с учётом особенностей метода расщеплённых делянок. Представить схема-

тический план размещения вариантов на делянках с выделением главных делянок по форме (табл. 2).

Таблица 2 – План размещения двухфакторного опыта $(2*3)*4$ методом расщеплённых делянок

<i>Повторение</i>			
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
01	10	00	02
02	12	01	01
00	11	02	00
11	00	12	11
10	01	10	12
12	02	11	10

На схематическом плане дополнительно показать все размеры с учётом защитных полос и возможности применения средств механизации полевых работ при постановке эксперимента.

В соответствии с поставленной целью и конкретными задачами разработать программу исследований и составить календарный план проведения основных учётов и наблюдений в ходе проведения опыта.

Материально-техническое обеспечение:

1. Справочный информационный материал для освоения темы.
2. Учебная аудитория 1/213, АбиП; Персональные компьютеры Celeron 420 1,6GHz/512Mb/80Gb/17”LCD – 12 шт.; Windows XP Home OEM – MB4G-46QW8-8DFWD-G989W-XXVRG; LibreOffice – Mozilla Public License, v. 2.0.

Контрольные вопросы:

1. Какие преимущества имеет многофакторный полевой опыт по сравнению с однофакторным?
2. Укажите основные отличительные особенности условий проведения полевого опыта и охарактеризуйте их следствия в отношении методики планирования агрономических исследований.
3. Изложите основные проблемы, связанные с проведением многофакторных полевых опытов в растениеводстве.
4. В чём состоит сущность метода расщеплённых делянок?

5. В чём заключается отличие размещения опыта по методу перекрёстных делянок от метода расщеплённых делянок? Как это влияет на точность оценок эффектов изучаемых факторов?
6. Каким принципом следует руководствоваться при распределении изучаемых факторов по иерархическим уровням делянок (главных делянок, субделянок, суб-субделянок и т. д.)?
7. Укажите и охарактеризуйте условия предпочтительного выбора для постановки полевого опыта метода перекрёстных делянок.

Критерии оценки отчета:

1. Умение работать со справочной информацией по теме задания.
2. Полнота и логичность выполнения заданий.
3. Самостоятельность мышления и корректность выводов.
4. Стилистическая грамотность изложения текста.
5. Правильность оформления отчёта.

Основная учебная литература:

1. Полоус, Г.П. Основные элементы методики полевого опыта : учебное пособие / Г.П. Полоус. — Ставрополь : СтГАУ, 2009. — 96 с. — Режим доступа. — URL: <https://e.lanbook.com/book/5734> (дата обращения: 12.09.2019). — ISBN 978-5-9596-0615-2. — Текст : электронный.

Дополнительная учебная литература:

1. Афанасьев, В.Н. Статистическая методология в научных исследованиях / В.Н. Афанасьев, Н.С. Еремеева, Т.В. Лебедева. — Оренбург : ОГУ, 2017. — 246 с. : ил. — Режим доступа. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485266> (дата обращения: 11.09.2019). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-7410-1703-6. — Текст : электронный.
2. Щурин, К.В. Методика и практика планирования и организации эксперимента: практикум / К.В. Щурин, Д.А. Косых. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2012. — 185 с. : ил. — Режим доступа. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260761> (дата обращения: 11.09.2019). — Библиогр.: с. 177-178. — Текст : электронный.

1.2. Дисперсионный анализ данных многофакторного полевого опыта на основе метода расщеплённых делянок на ЭВМ

Цель занятия – изучить особенности и освоить проведение на ЭВМ дисперсионного анализа данных полевого опыта на основе метода расщеплённых делянок

Количество часов – 2

Задание:

1. Изучить особенности дисперсионного анализа данных полевого опыта на основе метода расщеплённых делянок.
2. Изучить особенности оценки частных различий в данных опыта на основе метода расщеплённых делянок.
3. Изучить интерфейс и порядок работы с компьютерной программой дисперсионного анализа данных полевого опыта.
4. По индивидуальному заданию в среде специализированной программы выполнить на ЭВМ дисперсионный анализ данных полевого опыта на основе метода расщеплённых делянок.
5. Дать агробиологическое обоснование полученным результатам и сформулировать вывод.
6. Составить отчет о проделанной работе.

Форма проведения – решение ситуационных задач.

Методика и порядок выполнения

Изучить особенности дисперсионного анализа данных полевого опыта, проведённого по методу расщеплённых делянок. Главным отличительным признаком метода расщеплённых делянок является размещение субделянок внутри главной делянки. Следствием этого является появление в данных опыта двух ошибок: для делянок первого и второго порядка. Ошибка для главных делянок выше, поскольку она основана на вариабельности больших по размеру и удалённых делянок. Ошибка субделянок обычно ниже, так

как в её основе лежит вариабельность между близко расположенными субделянками внутри главных делянок. Это, в свою очередь, ведёт к усложнению дисперсионного анализа и затруднениям в оценке существенности различий между вариантами опыта. В случае двухфакторного опыта $(2 \times 3) \cdot 2$ с одним уровнем расщепления делянок получим план дисперсионного анализа (табл. 3).

Таблица 3 – План дисперсионного анализа двухфакторного опыта по схеме расщеплённых делянок

Источник дисперсии	Степень свободы	<i>Df</i>
Субделянки (<i>SP</i>)	$abr-1$	23
Главные делянки (<i>MP</i>)	$ar-1$	5
Блоки (<i>R</i>)	$r-1$	2
Сорт (<i>A</i>)	$a-1$	1
Ошибка (<i>MP</i>)	$(r-1)(a-1)$	2
Доза азота (<i>B</i>)	$b-1$	3
Взаимодействие (<i>AB</i>)	$(a-1)(b-1)$	3
Ошибка (<i>SP</i>)	$(r-1)[(b-1)+(a-1)(b-1)]$	12

Ошибку (*MP*) применяют к оценке значимости эффектов фактора сорта (*A*), варианты которого размещены по главным делянкам. Ошибку (*SP*) используют для оценки эффектов доз азота (*B*) с вариантами на субделянках и взаимодействия (*AB*).

В целом, при расчётах НСР для оценки существенности различий используют вариабельность между экспериментальными единицами, на которых расположены варианты. В случае схемы расщеплённых делянок имеется как минимум, два источника ошибок – для основных делянок и для субделянок. Если происходят сравнения вариантов, расположенных в пределах отдельных уровней экспериментальных единиц, то проблем не возникает и применяются соответствующие им ошибки (для главных делянок или для субделянок). Так, в расчёте НСР₀₅ для оценки различий между вариантами главных делянок, в рассматриваемом примере, – между сортами (*A*), используют соответствующую им ошибку (*Ea*), критерий Стьюдента (t_a) по числу её степеней свободы ($a-1$), повтор-

ность опыта (r) и число вариантов субделянок (b). Расчёты ведут по формуле (1).

$$HCP_a = t_a \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (Ea)}{r \cdot b}}, \quad (1)$$

HCP_{05} для различий между вариантами субделянок – дозами азота (B), рассчитывают по формуле (2).

$$HCP_b = t_b \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (Eb)}{r \cdot a}}. \quad (2)$$

Однако, в случае сравнения средних для субделянок (SP) с вариантами, расположенными на разных вариантах основных делянок (MP), интегральная ошибка будет включать в определённой пропорции как ошибку субделянок (Eb), так и ошибку главных делянок (Ea). При расчёте такой средней взвешенной ошибки (Eab) в качестве весового коэффициента для ошибки главной делянки (Ea) применяют одну степень свободы, а для ошибки субделянки (Eb) – число степеней свободы её вариантов ($b-1$). Тогда знаменателем этого выражения при расчёте HCP_{05} будет $r((1+b-1)=rb)$, где r – повторность опыта (3).

$$HCP_{ab} = t_{ab} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot [(b-1) \cdot Eb + Ea]}{r \cdot b}}, \quad (3)$$

Средневзвешенное значение критерия Стьюдента (t_{ab}) рассчитывают по формуле (4).

$$t_{ab} = \frac{(b-1) \cdot Eb \cdot (t_b) + Ea \cdot (t_a)}{(b-1) \cdot Eb + Ea}, \quad (4)$$

Составляют таблицу частных средних по вариантам опыта, средних по главным эффектам факторов и применяют к оценке их различий значения соответствующих НСР₀₅.

Запустить исполнимый файл программы anv5.exe на выполнение. Изучить интерфейс и порядок работы с компьютерной программой дисперсионного анализа данных полевого опыта. Ознакомиться с расположением и назначением элементов управления на главном окне программы (рис. 1).

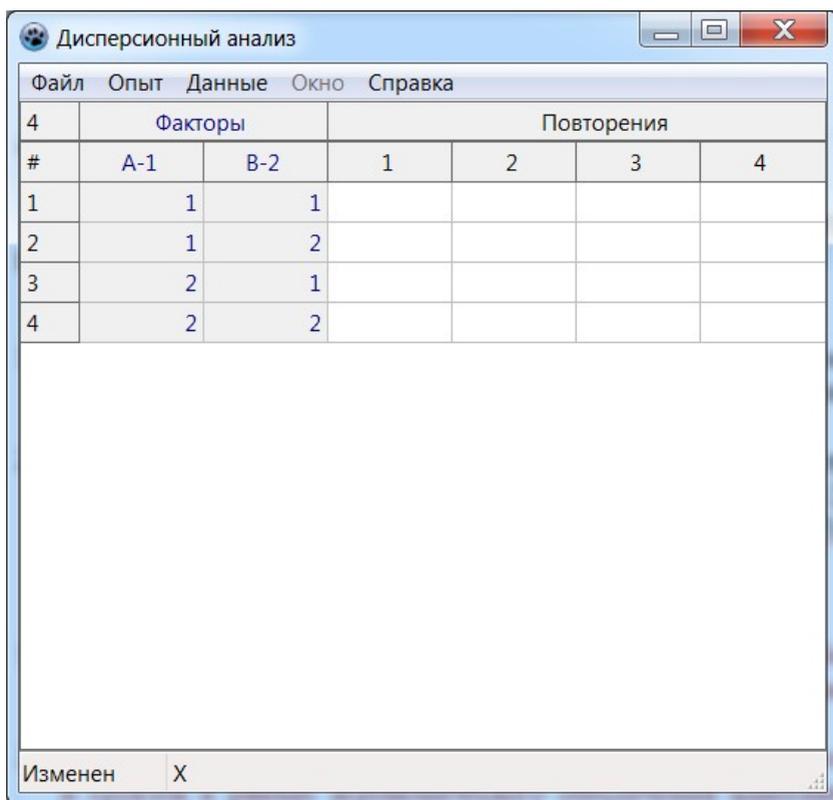


Рис. 1. Главное окно программы дисперсионного анализа данных полевого опыта

Ознакомиться с составом пунктов главного меню программы. Выполнив «Файл» – «Сохранить Как...» сохранить в каталог «Дан-

ные» программы файл входных данных дисперсионного анализа под соответствующим именем. В главном меню «Опыт» последовательно выполнить все вложенные пункты (рис. 2).

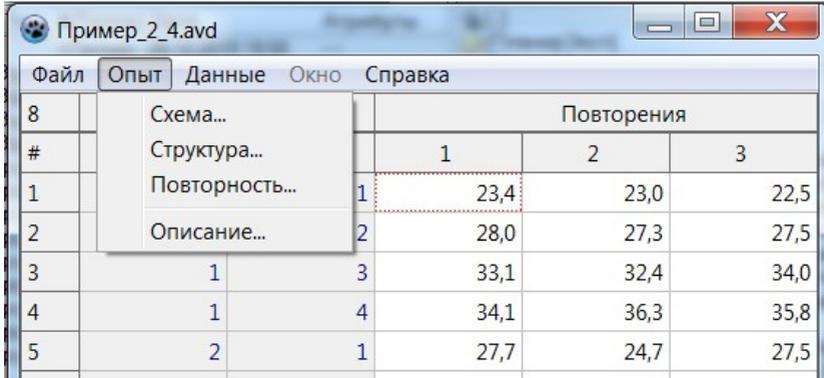


Рис. 2. Меню ввода установок схемы, метода проведения и описания опыта

В частности, с помощью пункта «Схема...» вызывается диалог ввода числа факторов опыта (1...5) и числа их градаций (рис. 3).

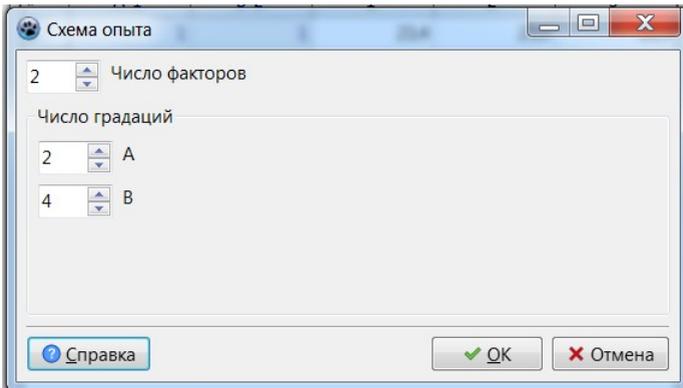


Рис. 3. Диалог ввода установок схемы опыта

При этом в случае метода расщеплённых делянок необходимо придерживаться очередности ввода изучаемых факторов, кодируемых в программе литерами от А до Е, в порядке их размещения по

иерархии делянок полевого опыта. Пункт меню «Структура...» вызывает диалог установки иерархии делянок опыта по уровням расщепления, если таковые имеются, и для указания формата входных данных (рис. 4).

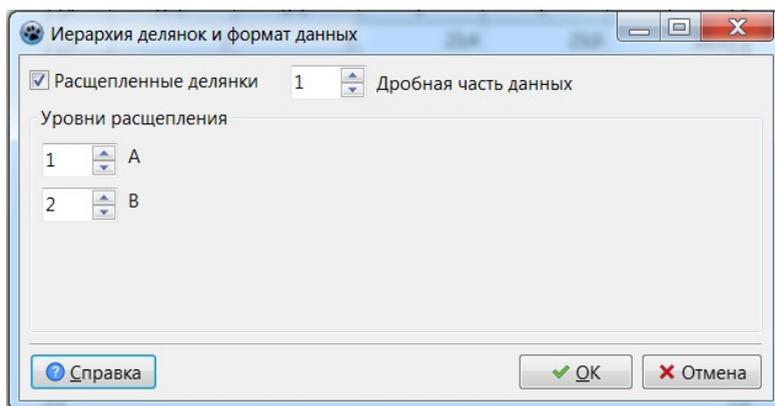


Рис. 4. Диалог установок иерархии делянок и формата входных данных

Флажок «Расщеплённые делянки» указывает на одноимённую схему опыта и активирует доступность ввода распределения факторов по иерархической структуре расщепления делянок. Не обязательно число уровней расщепления делянок должно соответствовать числу изучаемых факторов, оно может быть и меньше, когда на делянках одного уровня размещают сочетания вариантов двух и более факторов. Формат входных данных устанавливают путём указания числа дробных разрядов после десятичной запятой. На основании с этого соответствующим образом округляется представление вывода результатов расчётов.

Меню «Повторность...» вызывает диалог ввода повторности опыта и включения в его схему организованных повторений, для вычленения части систематической вариабельности почвенного плодородия из состава ошибки эксперимента (рис. 5).

Меню «Описание...» вызывает диалог описания данных, содержащий многострочный редактор для ввода неформатированного текста (рис. 6).

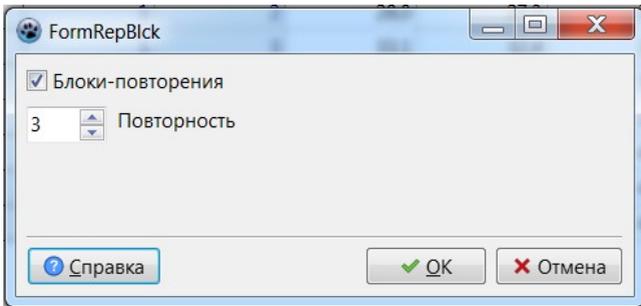


Рис. 5. Диалог ввода повторности опыта и включения в его схему организованных повторений

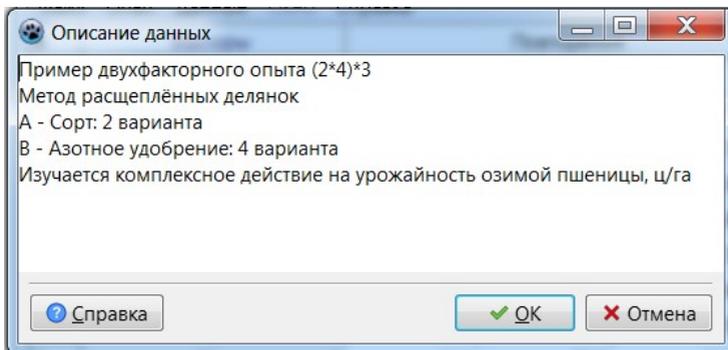


Рис. 6. Диалог описания опыта

Следует отметить, что уровне программы не предусмотрены требования к структуре описания входных данных и схемы опыта. Наличие описания, его объём и подробность в полной мере зависят от предпочтений и задач исследователя. В общем случае описание предназначено для фиксирования полезной информации об особенностях опыта и последующей систематизации результатов исследований.

После завершения настроек можно перейти к вводу данных опыта в главное окно программы, в котором в соответствии с установками схемы и повторностью будет сформирована регулярная таблица вариантов (с указанием их кодов) и повторений (рис. 7).

В нашем случае показана таблица полной факториальной схемы опыта $(2 \times 4) \cdot 3$ из восьми вариантов в трёхкратной повторности.

Пример_2_4.avd						
Файл Опыт Данные Окно Справка						
8	Факторы		Повторения			
#	A-1	B-2	1	2	3	
1	1	1	23,4	23,0	22,5	
2	1	2	28,0	27,3	27,5	
3	1	3	33,1	32,4	34,0	
4	1	4	34,1	36,3	35,8	
5	2	1				
6	2	2				
7	2	3				
8	2	4				

Изменен X

Рис. 7. Главное окно программы дисперсионного анализа с регулярной таблицей входных данных

В неё вводят данные с клавиатуры, фиксируя окончание ввода числа в активную ячейку нажатием клавиши <Enter>. При этом фокус ввода будет смещаться по текущей строке варианта вправо, к следующему столбцу-повторению. После заполнения данными очередной строки произойдёт переход к следующему варианту опыта с возвратом на первый столбец-повторение. Кроме того, существует возможность вставки блока упорядоченных данных через буфер обмена с использованием контекстного меню. После завершения ввода установок и данных опыта целесообразно сохранить сделанные изменения, выполнив «Файл» – «Сохранить».

Выполнение расчётов запускают посредством активации пункта «Анализ...» меню «Данные». В случае успеха отображается табличная сводка результатов дисперсионного анализа (рис. 8).

В ней под кодом «SS» указана сумма квадратов, «Df» – степень свободы и «MS» – средний квадрат. Литера «R» обозначает повторения опыта.

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсионный анализ Доля действия факторов

Источник дисперсии	SS	Df	MS	F-факт.	P-знач.
Делянки 2 (AB*R)	1554,69	23			
Делянки 1 (A*R)	530,48	5			
R	14,82	2	7,412		
A	505,08	1	505,084	95,569	0,01030
Ошибка 1	10,57	2	5,285		
B	925,55	3	308,516	97,477	<0,00001
AB	60,68	3	20,228	6,391	0,00781
Ошибка 2	37,98	12	3,165		

На Главную

Рис. 8. Сводка дисперсионного анализа данных полевого опыта

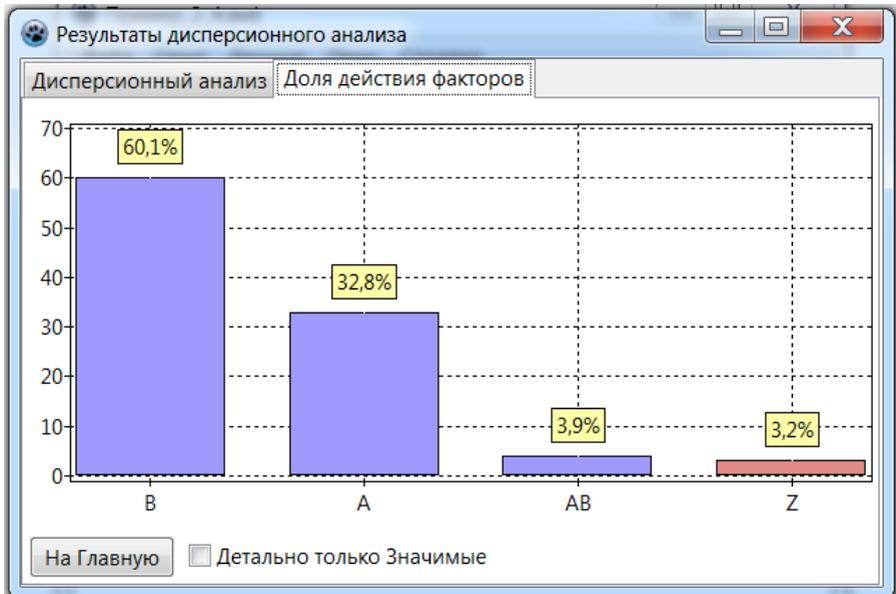


Рис. 9. Доля действия факторов в вариабельности изучаемого признака по вариантам опыта

На второй вкладке окна <Результаты дисперсионного анализа> выводится столбчатая диаграмма долей участия изучаемых факторов и взаимодействий в детерминации вариабельности средних по вариантам опыта (рис. 9).

Для отображения таблиц средних по отдельным факторам или их сочетаниям следует перейти к основному окну вывода результатов дисперсионного анализа – вкладка <Дисперсионный анализ> (см. рис. 8). В нём в столбце «Источник дисперсии» указать курсором мыши на строку с индексом необходимого отдельного фактора или взаимодействия (в рассматриваемом примере «АВ») и вызвать контекстное меню (рис. 10).

А	505,08	1	505,084	95,569	0,01030
Ошибка 1	10,57	2	5,285		
В	925,55	3	308,516	97,477	<0,00001
АВ			20,228	6,391	0,00781
Ошибка 2			3,165		

Копировать
 Копировать Таблицу
 Показать значения <АВ>
 Добавить Таблицу в Отчет
 Сохранить Таблицу...

Рис. 10. Выбор вывода средних значений АВ-вариантов по строке сводки дисперсионного анализа двухфакторного опыта

Активировать пункт «Показать значения <XX>» (в нашем случае: <АВ>) всплывшего меню. В результате программа сформирует таблицу средних с двумя входами: по фактору <А> – строки, и по фактору <В> – столбцы.

Для средних первого фактора будет выделен дополнительный столбец таблицы, для средних по второму фактору – строка. К ним для оценки существенности различий будут приписаны соответствующие значения НСР₀₅. Сетка таблицы, образованная пересечением градаций указанных факторов, будет заполнена отвечающими им значениями АВ-средних. Под таблицей выводится НСР₀₅ для оценки различий этих средних (рис. 11).

Факторы	A		Средние B НСР=2,24
	1	2	
1	23,0	26,6	24,8
2	27,6	38,6	33,1
3	33,2	44,2	38,7
4	35,4	46,4	40,9
Средние A - НСР=4,04	29,8	39,0	Хср.=34,4

На Главную K ANOVA Для средних АВ НСР=4,61

Рис. 11. Итоговая таблица вывода средних по главным эффектам факторов А и В и частным АВ-значениям

Для наглядности представления этих результатов и облегчения выявления существенности различий между отдельными средними в программе предусмотрена возможность интерактивного анализа визуализированных данных таблицы вывода с помощью диаграммы на вкладке <График средних> (рис. 12).

На этой вкладке в соответствии со структурой таблицы вывода представлен набор радиокнопок для выбора набора отображаемых данных. В рассматриваемой ситуации указаны частные средние в сочетании градаций факторов А и В. Засечки оси абсцисс диаграммы представляют рассматриваемые варианты опыта и снабжены соответствующим им числовыми индексами. В нашем случае для АВ-вариантов они представлены двухразрядными числами, где первая цифра обозначает номер градации фактора А, а вторая – фактора В. Ось ординат графика проградуирована в единицах измерения результативного признака и масштабирована по наблюдаемому интервалу значений.

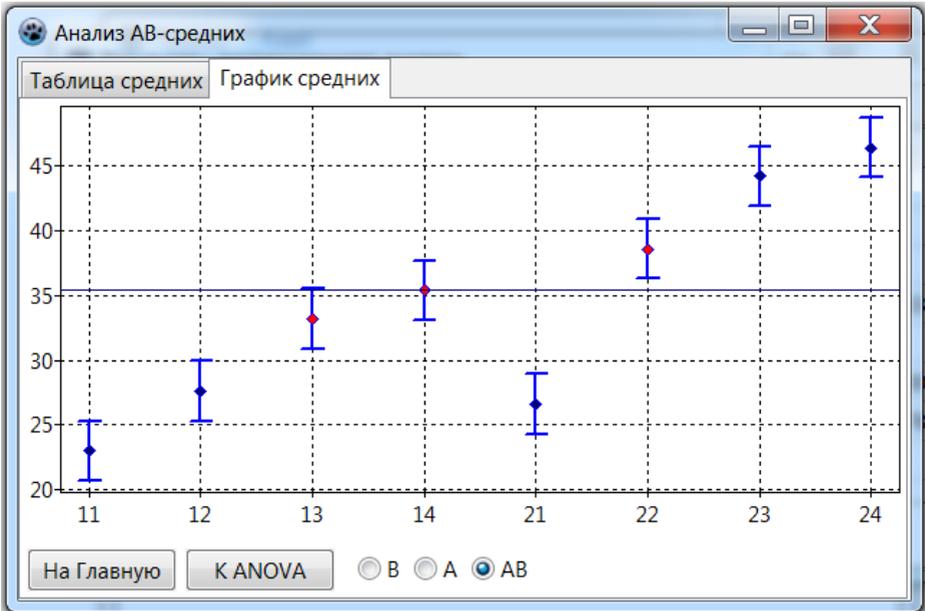


Рис. 12. Диаграмма интерактивного анализа существенности различий средних по заданному комплексу вариантов опыта

Средние значения по вариантам обозначены на графике ромбовидными маркерами. Их доверительные интервалы, равные $НСР_{05}$, представлены «усами» с засечками. При этом маркер средней находится в середине этого интервала. Для диагностики различий диаграмма дополнена перетаскиваемой горизонтальной линейкой. Линейка имеет опцию «примагничивания» к ближайшему маркеру средней по варианту, что облегчает её позиционирование. На обсуждаемом графике это вариант с кодом 14. При этом средние, чьи доверительные интервалы пересекаются с доверительным интервалом тестируемого варианта (различия между средними меньше $НСР_{05}$), обозначаются перекрашиванием ромбовидных маркеров в красный цвет. Следовательно, в нашем примере средние значения урожайности, полученные на вариантах 13 и 22 не имеют значимых различий со средней тестируемого варианта 14. Таким же образом в соответствии с логикой исследования можно проводить и другие сравнения.

Важной особенностью программы является возможность сохранения результатов дисперсионного анализа в редактируемом виде для дальнейшего использования в научных документах. Формирование отчёта становится доступным после проведения расчётов и получения сводки результатов дисперсионного анализа (см. рис. 8). Начиная с этой позиции, активируются пункты контекстных меню как таблиц входных данных и результатов расчётов – «Добавить Таблицу в Отчёт», так и соответствующих им диаграмм – «Добавить Диаграмму в Отчёт». С помощью этих команд komponуют отчёт, перемещаясь в ходе анализа по рабочим окнам и их вкладкам. Готовый отчёт сохраняют в виде тестового файла с разметкой на языке HTML и с внедрёнными изображениями в директорию [Результаты], выполнив «Файл» – «Сохранить Отчёт...». По умолчанию в начале отчёта размещается описание опыта (см. рис. 6). В дальнейшем html-отчет целесообразно открыть с помощью текстового процессора LO.Writer и затем для удобства дальнейшего использования пересохранить в его внутреннем формате.

Составить отчет о проделанной работе, описав и проиллюстрировав этапы ее выполнения, сделать соответствующие выводы.

Материально-техническое обеспечение:

1. Справочный информационный материал для освоения темы, Данные полевого опыта, проведённого по методу расщеплённых делянок.
2. Учебная аудитория 1/213, АбиП; Персональные компьютеры Celeron 420 1,6GHz/512Mb/80Gb/17”LCD – 12 шт.; Windows XP Home OEM – MB4G-46QW8-8DFWD-G989W-XXVRG; ANV – FreeWare; LibreOffice – Mozilla Public License, v. 2.0.

Контрольные вопросы:

1. Назовите отличия метода расщеплённых делянок и охарактеризуйте связанные с ними особенности его применения в полевых опытах.
2. Изложите принципы рандомизации в полевых опытах с расщеплёнными делянками.

3. Как изменяется точность оценки факторов в зависимости от их размещения на делянках различных уровней в иерархии расщеплений?
4. В чём состоят основные проблемы оценки существенности различий между вариантами, размещёнными на делянках разного порядка?
5. Изложите порядок работы с программой дисперсионного анализа многофакторного полевого опыта.
6. Какова сущность коэффициента детерминации в результатах дисперсионного анализа полевого опыта?

Критерии оценки отчета:

1. Умение работы со справочной литературой для теоретического обеспечения задания.
2. Навыки работы с прикладным программным обеспечением дисперсионного анализа данных полевого опыта.
3. Полнота и логичность выполнения заданий.
4. Адекватность статистического заключения и агрономическое обоснование по результатам анализа данных опыта.
5. Самостоятельность мышления и корректность выводов.
6. Стилистическая грамотность изложения отчёта.
7. Правильность оформления отчёта.

Основная учебная литература:

1. Полоус, Г.П. Основные элементы методики полевого опыта : учебное пособие / Г.П. Полоус. — Ставрополь : СтГАУ, 2009. — 96 с. — Режим доступа. — URL: <https://e.lanbook.com/book/5734> (дата обращения: 12.09.2019). — ISBN 978-5-9596-0615-2. — Текст : электронный.

Дополнительная учебная литература:

1. Афанасьев, В.Н. Статистическая методология в научных исследованиях / В.Н. Афанасьев, Н.С. Еремеева, Т.В. Лебедева. — Оренбург : ОГУ, 2017. — 246 с. : ил. — Режим доступа. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485266> (дата обращения: 11.09.2019). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-7410-1703-6. — Текст : электронный.

2. Щурин, К.В. Методика и практика планирования и организации эксперимента: практикум / К.В. Щурин, Д.А. Косых. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2012. – 185 с. : ил. – Режим доступа. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260761> (дата обращения: 11.09.2019). – Библиогр.: с. 177-178. – Текст : электронный.

1.3. Планирование и анализ данных многофакторных регрессионных полевых экспериментов с использованием метода блоков

Цель занятия – Изучить и практически освоить методы разработки схем и анализа многофакторных регрессионных факториальных экспериментов.

Количество часов – 4

Задание:

1. Показать проблему математического обеспечения управления технологическими процессами в агрономии и обосновать возможные пути её решения.
2. Охарактеризовать многофакторный регрессионный эксперимент как основной источник информации для разработки производственных функций в агрономии.
3. Изложить основы планирования схем факториальных опытов с количественными градациями.
4. Изложить основы метода блоков на основе теории смешивания.
5. Освоить метод корректировки опытных данных и дисперсионного анализа полевого эксперимента на основе метода блоков.
6. Освоить пошаговый регрессионный анализ данных многофакторных полевых опытов на ЭВМ
7. Сформулировать агрономически обоснованные выводы и составить отчёт о проделанной работе.

Форма проведения – решение ситуационных задач

Методика и порядок выполнения

Отметить проблему обеспечения современных адаптивных агротехнологий системой поддержки принятия управляющих ре-

шений в меняющихся условиях произрастания полевых культур. Показать возможные пути её решения на основе конкретного математического моделирования закономерностей действия различных факторов и их взаимодействий. Осветить практическую возможность применения регрессионных моделей – производственных функций, для придания указанным закономерностям строгой математической формы, удобной для расчётов, прогнозов и управления технологическими процессами в агрономии.

Показать особенности многофакторного регрессионного эксперимента с количественными градациями изучаемых факторов, как основного источника данных для получения уравнений, описывающих совместное действие факторов опыта на результативный признак. Для опытов с количественными градациями факторов раскрыть подходы определения единицы варьирования доз и установления их количества (табл. А.1). Важным обстоятельством является соблюдения условия возможности построения кривой отклика на основании достаточного числа экспериментальных точек – эффектов вариантов. Охарактеризовать возможность многофакторных опытов в оценке эффективности как отдельных факторов, так и эффектов их взаимодействия и взаимосвязи. Показать принципы расчёта их статистической значимости с отделением существенных эффектов от несуществующих и иллюзорных. Указать на недостатки факториальных схем, связанных с их многовариантностью. Отметить специфические свойства полевых опытов в агрономии и вероятность потери точности оценок в громоздких повторениях.

Изложить основы метода блоков (метода «смешивания»), позволяющего увеличивать число вариантов без потерь точности опыта. Показать зависимость от размера повторения компонент вариации почвенного плодородия (случайной и закономерной). Отметить закономерное увеличение ошибки опыта вследствие явного повышения локального компонента в повторениях больших размеров – свыше 15...16 вариантов.

Указать возможный путь преодоления противоречия между многовариантностью факториальных опытов и необходимостью иметь территориально компактные опыты за счёт блокировки ва-

риантов в занимающие немного места, некоторым образом сравнимые группы (блоки) внутри каждого повторения. В этом случае факториальный набор вариантов разбивают на несколько в определённом смысле равноценных групп так, чтобы междублоковые различия совпадали с как правило несущественными в полевом опыте взаимодействиями высшего порядка. Здесь если и происходит потеря информации, то она мала и относится к малозначащей её части. В связи с этим различия между средней урожайностью блоков можно приписать в основном различиям плодородия частей поля, которые занимают эти блоки. Таким образом, определённая часть вариации почвенного плодородия, характеризующаяся различиями блоков (в основном локальный компонент), ставится под контроль и исключается из ошибки опыта. Это позволяет более точно сравнивать варианты внутри блока.

Показать принципы правильной группировки вариантов опыта 2^n на основе алгоритма Ф. Йейтса для вычисления эффектов факторов и взаимодействий. Для определения состава блоков к одному из них относят варианты, в которых имеется чётное число факторов рассматриваемой совокупности, к другому – варианты с нечетным числом тех же факторов. В сложных ситуациях, начиная с 2^5 и выше, когда возможное количество блоков больше двух (4, 8...) и число смешиваемых взаимодействий высоких порядков должно соответствовать числу степеней свободы системы блоков (3, 7...), необходимо обеспечить сбалансированность этих взаимодействий. Формальным признаком сбалансированности является произведение символов факторов взаимодействий с одинаковыми показателями степени всех факторов (табл. А.2).

Изложить порядок распределения вариантов по блокам в натуре на основе принципа рандомизации.

При обработке данных многофакторного полевого эксперимента с количественными градациями «доз», проведенного на основе метода блоков, необходимо учитывать особенности конструкции опыта. В рассматриваемом примере трёхфакторного опыта $(4 \times 4 \times 4) \cdot 2$ каждое из повторений размещено в квазилатинском квадрате 8×8 (см. табл. А.1, А.2), где с междублоковыми различиями смешано тройное взаимодействие CHN. В этом слу-

чае, чтобы привести в сопоставимый вид данные урожайности на вариантах опыта, территориально расположенные в различных блоках, необходимо удалить искажающие эффекты локального фактора почвенного плодородия посредством применения перекрёстных поправок. С этой целью по горизонтальным и вертикальным краям таблиц урожайности в повторениях следует вывести суммы урожаев по блокам-строкам и блокам-столбцам (табл. Б.1, Б.2). На их основе рассчитать суммарные поправки для каждого отдельного блока, которые будут равны разнице от вычитания суммы урожаев по конкретному блоку от средней суммы по блокам данного повторения. Произведя перекрёстное суммирование поправок соответствующих блоков (строки и столбца) и разделив результат на 8 (число делянок в блоке), получим индивидуальную поправку для каждой делянки повторения опыта. Применяв такие поправки к поделяночным урожаям, получим их скорректированные значения (табл. В.1, В.2). Далее составляют систематическую таблицу скорректированных урожаев по вариантам (табл. 4).

Таблица 4 – Урожайность озимой пшеницы в зависимости от срока сева (С), нормы высева (Н) и дозы азота (N), ц/га

CHN	Повторение										
	1	2		1	2		1	2		1	2
000	19,0	16,3	100	34,2	33,6	200	28,9	29,2	300	14,7	10,5
001	21,9	21,2	101	34,3	35,1	201	31,7	30,9	301	14,0	12,1
002	23,2	20,1	102	38,2	35,7	202	33,8	31,1	302	14,0	14,3
003	18,9	21,5	103	38,2	36,2	203	32,8	30,3	303	13,8	11,9
010	31,5	28,7	110	43,2	44,5	210	40,8	37,2	310	22,5	21,2
011	33,5	34,5	111	51,9	46,4	211	41,3	41,2	311	24,2	22,5
012	36,8	36,1	112	52,1	52,3	212	41,4	43,6	312	27,0	23,6
013	36,9	33,8	113	50,6	51,2	213	45,6	45,5	313	26,4	26,9
020	33,5	30,5	120	47,0	45,6	220	44,7	44,2	320	29,3	24,8
021	37,5	39,4	121	54,8	53,4	221	49,5	49,7	321	30,0	27,8
022	41,6	39,9	122	53,0	53,7	222	49,6	48,8	322	35,1	29,8
023	40,2	40,3	123	57,2	54,9	223	53,1	51,4	323	34,8	31,1
030	37,6	35,3	130	49,4	50,4	230	44,8	43,8	330	28,1	25,2
031	40,3	40,2	131	56,0	53,8	231	49,6	52	331	29,3	28,2
032	45,0	42,9	132	56,4	57,1	232	48,5	50,9	332	33,6	30,4
033	43,1	42,8	133	56,4	56,4	233	53,1	50,4	333	34,8	31,2

С учётом особенностей проведения опыта дисперсионный анализ сводится к определению существенности действия главных эффектов изучаемых факторов и их парных взаимодействий на урожайность озимой пшеницы. Для оценки их значимости необходимо рассчитать сумму квадратов, обусловленную ошибками эксперимента. С этой целью, во-первых определяют сумму квадратов общей дисперсии и повторений на основе исходных, некорректированных дат урожайности (см. табл. Б.1, Б.2). Во-вторых, по данным тех же таблиц рассчитывают суммы квадратов для блоков-строк и блоков-столбцов в разрезе повторений. По скорректированным данным находят суммы квадратов для вариантов опыта, главных эффектов факторов и их парных взаимодействий. Тройное взаимодействие СНН не подлежит оценке, так как оно по условию метода проведения опыта смешано с междублоковыми различиями. В результате получим сводку дисперсионного анализа (табл. В.3). Из неё следует, что в структуре анализируемых дисперсий присутствуют эффекты тройного взаимодействия, не смешанные с различиями в системе блокировок вариантов опыта. Их можно использовать для укрепления ошибки эксперимента.

В связи с тем, что конечной целью обработки данных является установление уравнения, которое отражает действие изучаемых факторов на урожайность зерна, целесообразно применить к ним регрессионный анализ, основанный на методе наименьших квадратов. Следует отметить, что принятая в опыте система блокировки с константными суммами доз каждого фактора $\Sigma C = \Sigma H = \Sigma N$, их квадратов $\Sigma C^2 = \Sigma H^2 = \Sigma N^2$ и парных взаимодействий $\Sigma CH = \Sigma CN = \Sigma HN$ свидетельствует о сравнимости блоков по модулю регрессии, выраженной полным квадратным многочленом (5).

$$y = a_0 + a_1 C + a_2 H + a_3 N + a_4 C^2 + a_5 H^2 + a_6 N^2 + a_7 CH + a_8 CN + a_9 HN, \quad (5)$$

На основе скорректированных данных (табл. 4) рассчитать средние значения урожайности по вариантам опыта и с помощью специализированной программы провести на ЭВМ регрессионный анализ по указанному уравнению с 10 параметрами. В полученной сводке анализа имеются статистически незначимые члены уравне-

ния регрессии ($P > 0,05$), характеризующие эффекты парных взаимодействий: СН и CN (табл. 5).

Таблица 5 – Последовательное исключение статистически незначимых членов регрессии

Исключение	–		CN		СН	
	Коэффициент	P-значение	Коэффициент	P-значение	Коэффициент	P-значение
a_0	18,2941	0,0000	18,6108	0,0000	19,1964	0,0000
C	22,1731	0,0000	21,9619	0,0000	21,5716	0,0000
H	14,0139	0,0000	14,0139	0,0000	13,6236	0,0000
N	3,8316	0,0000	3,6204	0,0000	3,6204	0,0000
C^2	-8,2391	0,0000	-8,2391	0,0000	-8,2391	0,0000
H^2	-2,7547	0,0000	-2,7547	0,0000	-2,7547	0,0000
N^2	-0,8266	0,0001	-0,8266	0,0001	-0,8266	0,0001
СН	-0,2603	0,0984	-0,2603	0,0977	–	–
CN	-0,1408	0,3671	–	–	–	–
HN	0,4833	0,0029	0,4833	0,0028	0,4833	0,0032

Они, не давая сколько-нибудь существенной информации о действии вариантов опыта на урожайность озимой пшеницы, усложняют регрессию, ведут к увеличению ошибки уравнения и снижают точность прогноза. От такого «статистического мусора» следует освободиться, но делать это необходимо с известной осторожностью, поскольку в процессе исключения оставшиеся коэффициенты регрессии могут поменять как свои значения, так и статистическую значимость. В связи с этим незначимые члены регрессии следует исключать поэтапно, удаляя за один приём только по одному коэффициенту с наименьшей статистической значимостью. И после каждого исключения вновь повторять анализ с пересчётом коэффициентов регрессии и оценкой их значимости. В рассматриваемом случае (см. табл. 5) были последовательно удалены коэффициенты, определяющие эффекты взаимодействий: СН (срок сева × доза азота) и СН (срок сева × норма высева). После проведения этих исключений получим итоговое уравнение регрессии, количественно описывающее действие срока сева, нормы высева и дозы азота на урожайность озимой пшеницы (6).

$$Y = 19,2 + 21,57C + 13,62H + 3,62N - 8,24C^2 - 2,76H^2 - 0,83N^2 + 0,48HN, \quad (6)$$

Полученное уравнение контролирует более 98 % колебаний урожайности озимой пшеницы по вариантам опыта ($R^2=0,985$) и обеспечивает тесную связь её наблюдаемых и расчётных значений ($R=0,992$). Дисперсионный анализ подтверждает высокую статистическую значимость регрессии в целом (табл. 6).

Таблица 6 – Результаты дисперсионного анализа регрессии урожайности озимой пшеницы на сроки сева, нормы высева и дозы азота по модели с восемью параметрами (6)

Дисперсия	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F-отношение	P-значение
Общая	9066,85	63	–	–	–
Регрессии	8928,80	7	1275,543	517,426	0,0000
Ошибки адекватности	138,05	56	2,465	1,112	0,3539
Ошибки эксперимента	134,29	49	2,741	–	–

Далее следует проверить адекватность обсуждаемой регрессионной модели. Одним из условий её достижения является отсутствие существенных различий между дисперсиями остатков от регрессии и ошибки опыта, что подтверждается результатами дисперсионного анализа. С другой стороны, адекватная модель предполагает случайное распределение отклонений между наблюдаемыми в опыте значениями урожайности от её величин, предсказанных регрессией (рис. Г.1, Г.2). Как следует из данных приложения, это условие применительно к рассматриваемому примеру также выполняется.

Следовательно, имеется возможность исследовать особенности закономерных откликов урожайности озимой пшеницы в соответствии с комбинациями уровней факторов опыта.

В частности, в ходе анализа было выявлено доказуемое нелинейное влияние на урожайность главных эффектов срока сева (рис. Г.3), нормы высева (рис. Г.4) и дозы азота (рис. Г.5). Кроме того, установлено наличие эффекта положительного взаимодействия возрастающих доз азота и норм высева (рис. Г.6).

По индивидуальному заданию в соответствии с конструкцией опыта выполнить корректировку исходных данных по блокам, скомпоновать систематическую таблицу скорректированных данных, провести дисперсионный и регрессионный анализ с применением персональной ЭВМ. Обобщить полученные в ходе занятия результаты, сформулировать агрономически обоснованные выводы и составить иллюстрированный отчет.

Материально-техническое обеспечение:

1. Справочный информационный материал для анализа агрономических данных.
2. Учебная аудитория 1/213, АбиП; Персональные компьютеры Celeron 420 1,6GHz/512Mb/80Gb/17"LCD – 12 шт.; Windows XP Home OEM – MB4G-46QW8-8DFWD-G989W-XXVRG; Statgraphics Centurion XVII; LibreOffice – Mozilla Public License, v. 2.0.

Контрольные вопросы:

1. Обоснуйте возможные пути разработки информационного обеспечения точных технологий в агрономии на основе данных факториальных опытов с количественными градациями.
2. Покажите противоречие многовариантности факториальных регрессионных экспериментов с требованием компактности повторений полевого опыта.
3. На основе каких положений выбирают число градаций количественных факторов при планировании регрессионных опытов?
4. Чем обосновано положение о возможности и целесообразности смешивания взаимодействий высоких порядков с междублоковыми различиями в факториальных опытах?
5. Как выбирают взаимодействия высших порядков для смешивания с междублоковыми различиями в факториальных схемах 2^5 и выше?
6. Как распределяют варианты факториальной схемы 2^n по блокам на основе смешивания эффектов взаимодействий высших порядков с междублоковыми различиями?

7. Каким образом рандомизируют варианты факториальной схемы при их размещении на поле по блокам?
8. Как влияет конструкция системы блокировок в полевом опыте на исходную модель регрессионного анализа.
9. Обоснуйте целесообразность удаления из уравнения регрессии (производственной функции) статистически незначимых членов.
10. Какие виды статистического и графического анализа остатков используют для проверки адекватности регрессии наблюдаемым данным?

Критерии оценки отчета:

1. Умение работы со справочной литературой для теоретического обеспечения задания.
2. Навыки работы с программным инструментарием анализа данных на ЭВМ.
3. Владение методами анализа и математического моделирования агрономических закономерностей с использованием прикладного программного обеспечения персональных компьютеров.
4. Полнота и логичность раскрытия темы задания.
5. Уровень интерпретации результатов моделирования.
6. Адекватность и агрономическая обоснованность выводов.
7. Стилистическая грамотность изложения текста и правильность оформления отчёта.

Основная учебная литература:

1. Полоус, Г.П. Основные элементы методики полевого опыта : учебное пособие / Г.П. Полоус. — Ставрополь : СтГАУ, 2009. — 96 с. — Режим доступа. — URL: <https://e.lanbook.com/book/5734> (дата обращения: 12.09.2019). — ISBN 978-5-9596-0615-2. — Текст : электронный.

Дополнительная учебная литература:

1. Иванова, Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей [Текст] : научное издание / Т. И. Иванова ; Всесоюз. акд. с.-х. наук им. В. И. Ленина. - Москва : Агропромиздат, 1989. - 233 с. - ISBN.

2. Медведев, П.В. Математическое планирование эксперимента / П.В. Медведев, В.А. Федотов. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. – 98 с. : табл., граф., схем., ил. – Режим доступа. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481785> (дата обращения: 12.09.2019). – Библиогр.: с. 72-74. – ISBN 978-5-7410-1759-3. – Текст : электронный.

1.4. Разработка неполных факториальных схем многофакторных регрессионных опытов в растениеводстве

Цель занятия – Изучить и освоить методы разработки и оптимизации неполных схем многофакторных полевых регрессионных экспериментов.

Задание 1. На примере факториальной схемы 2^n изучить и освоить методы разработки неполной квазифакториальной схемы полевого регрессионного эксперимента.

Количество часов – 1

1. Изучить информативность факториальных схем полевых экспериментов и отметить их недостатки.
2. Обосновать возможность конструирования неполных систематических выборок из факториальных схем за счёт потери информации взаимодействий высоких порядков.
3. Изучить методы разработки квазифакториальных схем 2^n , отметить их положительные особенности и недостатки.
4. По ситуационным данным задания обосновать и сконструировать квазифакториальную схему полевого опыта.
5. Разработать план размещения вариантов квазифакториальной схемы опыта в натуре.
6. Провести обсуждение полученных результатов, охарактеризовать преимущества и недостатки ситуационной разработки.
7. Сформулировать агрономически обоснованные выводы и составить отчёт о проделанной работе.

Форма проведения – решение ситуационных задач

Методика и порядок выполнения

Указать положительные стороны полных факториальных схем полевых опытов с количественными градациями факторов. Изучить информативность таких схем на основе сравнения числа степеней свободы, выделяемых в процессе анализа. Раскрыть понятие об актуальной информации, доставляемой экспериментом: о среднем уровне явления, о главных эффектах факторов и о парных взаимодействиях. Дать характеристику второй категории информативности эксперимента – дополнительной информации о взаимодействиях высоких порядков, которую в полевых опытах можно считать малозначащей. Обосновать трактовку числа степеней свободы остаточной дисперсии как характеристику базовой информации, которую берут за основу при оценке значимости отдельных результатов опыта. Отметить исключаемую информацию о различиях между повторениями или блоками при соответствующих ограничениях рандомизации. Указать на переход на переход части дополнительной информации в исключаемую при использовании метода смешивания: информацию, которую уносят взаимодействия высших порядков, смешанные с блоками.

На основе расчётов табличной форме дать характеристику изменениям актуальной и базовой информации в случае увеличения числа факторов и аналогичном ему сокращении повторности при сохранении постоянного числа экспериментальных единиц полевого опыта (табл. 7).

Таблица 7 – Число степеней свободы различных категорий информации полного факториального опыта (N=64)

№	Схема	2^3	2^4	2^5	2^6
	Повторность	8	4	2	1
1	Блоков				
2	Среднего уровня				
3	Главных эффектов				
4	Парных взаимодействий				
5	Остальных взаимодействий				
6	Актуальная информация				
7	Базовая информация				
8	Исправленная актуальная информация				

Рассчитать и привести значения потери информативности за счёт недостаточно твёрдой базы сравнения по отношениям F_{05} для бесконечного числа степеней свободы базовой информации к тем или иным величинам F-критериев для отдельных значений чисел степеней свободы ошибки опыта. Использовать полученные коэффициенты для корректировки соответствующих значений актуальной информации.

Выполнить аналогичное исследование для случая расширения числа градаций (доз) факторов при сохранении постоянного их числа. Провести сравнения и сделать выводы об эффективности рационального планирования эксперимента.

Охарактеризовать целесообразность повышения базовой информации опыта за счёт статистического «балласта» взаимодействий высоких порядков в последовательно расширяющихся многовариантных полных факториальных схемах полевого опыта. Отметить потребность нахождения метода увеличения числа градаций факторов, не выходя за допустимые пределы количества вариантов опыта.

Изучить способ конструирования систематической выборки из полной факториальной схемы на основе условного фактора (S) на примере опыта $4 \times 4 \times 4$. Перейти от схемы трёхфакторного опыта 2^3 (ABC) к четырёхфакторному 2^4 (ABCS), приписав основным факторам дозы 0 и 2, а условному 0 и 1, что в терминах ABC будет соответствовать $S_0=000$ и $S_1=111$. Схему опыта 2^4 распределить на два блока по 8 вариантов по принципу чётного и нечётного числа эффектов факторов, смешав с ними взаимодействие высшего порядка. Сложить трёхзначные ABC-коды с соответствующими им уровнями условного фактора для получения сокращённой схемы в терминах трёх изучаемых факторов с четырьмя градациями каждого из них. Отметить, что в терминах ABCS опыт является факториальным, а в терминах основных факторов ABC он таковым быть не может. В числе недостатков указать исключение из схемы максимально контрастных сочетаний доз изучаемых факторов и концентрацию наблюдаемых точек вдоль диагонали трёхфакторного пространства. Отметить, каким образом это может сказаться на качестве регрессионной модели.

В соответствии с индивидуальным заданием разработать квазифакториальную схему полевого опыта, обосновать число градаций его факторов, степень дробности квазифакториальной выборки, определить состав блоков на основе теории смешивания.

Разработать план размещения опыта в натуре, провести рандомизацию вариантов в соответствии особенностями системы блокировок. Представить схематический план размещения опыта, указать размеры его основных элементов с учётом защитных полос и возможности применения средств механизации полевых работ при постановке эксперимента. В соответствии с поставленной целью и конкретными задачами разработать программу исследований и составить календарный план проведения основных учётов и наблюдений в ходе проведения опыта.

Провести анализ информативности полученной схемы, обсудить его результаты, охарактеризовать преимущества и недостатки ситуационной разработки. Сформулировать агрономически обоснованные выводы и составить отчёт о проделанной работе.

Задание 2. Изучить и освоить методы разработки неполных факториальных схем полевого регрессионного эксперимента на основе «вписанных кубов».

Количество часов – 1.

7. Изучить принципы конструирования неполных схем – систематических выборок из факториальных схем, по способу вписанных кубов.
8. Ознакомиться с методом оценки информативности выборочных схем по способу вписанных кубов.
9. Изучить методы блокировки неполных факториальных схем, отобранных по способу вписанных кубов.
10. Отметить и охарактеризовать положительные особенности и недостатки неполных схем на основе вписанных кубов.
11. По ситуационным данным задания обосновать и сконструировать схему многофакторного регрессионного полевого опыта на основе вписанных кубов.
12. Разработать план размещения в натуре вариантов схемы опыта на основе вписанных кубов.

13. Провести обсуждение полученных результатов, охарактеризовать преимущества и недостатки ситуационной разработки.
14. Сформулировать агрономически обоснованные выводы и составить отчёт о проделанной работе.

Форма проведения – решение ситуационных задач.

Методика и порядок выполнения

Ознакомиться с основными принципами конструирования систематических выборок из факториальных схем по способу вписанных кубов. Рассмотреть схему 2^3 с шагом, равным трём дозам, то есть куб с ребром в три единицы в трёхфакторном пространстве с координатами А, В и С. Вписать в него меньший куб с ребром в одну дозу и определить координаты вершин обоих кубов в трёхрядном числовом выражении (рис. 13).

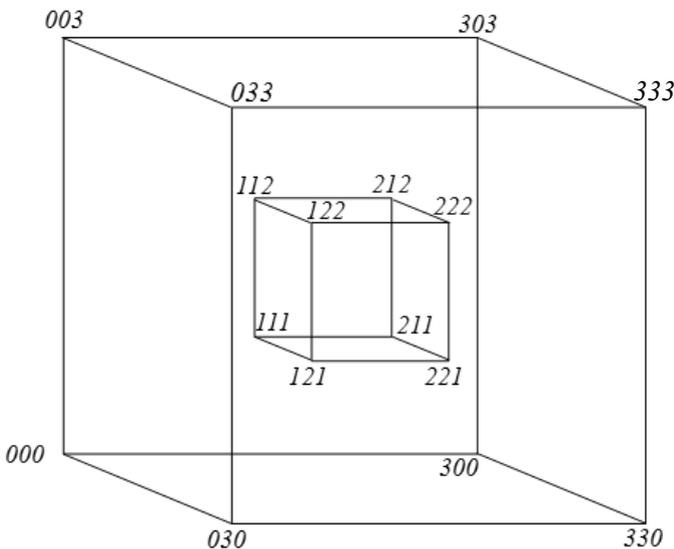


Рис. 13. Куб 2^3 с ребром в одну дозу, вписанный в куб 3^3 с ребром в три дозы

Составить из трёхзначных кодов схему из 16 вариантов, в которой дозы каждого из трёх факторов А, В и С принимают значения в пределах четырёх уровней: 0, 1, 2 и 3. Охарактеризовать эту схему – (2^3+2^3) , как выборку $\frac{1}{4}$ полной факториальной схемы $4 \times 4 \times 4$ с 64 вариантами. Отметить повышенную концентрацию экспериментальных точек в центральной части схемы в ущерб её периферии и выраженную контрастность вариантов внешнего куба как отрицательную особенность рассматриваемой выборки.

Определить и представить в табличной форме количество информации в степенях свободы, доставляемой схемой $\frac{1}{4}(4 \times 4 \times 4)$, разработанной по способу вписанных кубов (табл. 8).

Таблица 8 – Число степеней свободы различных категорий информации выборки $(2^3+2^3) = \frac{1}{4}(4 \times 4 \times 4)$

№	Категория	Внешний куб	Внутренний куб	Всего
1	Средний уровень			
2	Главные эффекты			
3	Парные взаимодействия			
4	Тройные взаимодействия			

Оценить информативность такой схемы с учётом базы оценки значимости для случаев постановки опыта без повторности и в двукратной повторности (см. стр. 34). Сравнить полученные результаты и сделать обоснованный вывод.

Изучить вопрос блокировки 16-вариантной схемы (2^3+2^3) , используя для этого одну степень свободы тройного взаимодействия. С этой целью разбить варианты каждого из кубов на две группы по правилам образования блоков при восьмерной схеме и соединить эти группы накрест, образовав два блока, в которые входят по четыре варианта из противоположных (четная + нечетная, и наоборот) групп внешнего и внутреннего кубов. Проверить равнозначность сгруппированных блоков по критерию постоянства суммы квадратов кодов вариантов блока.

Обсудить возможные пути смягчения свойственного схемам на основе кубов 2^n недостатка – несоразмерно низкой насыщенности экспериментальными точками внешней части схемы. Рассмотреть

реть возможность использования для внешней оболочки куба на основе схемы 3^n , имеющего в случае 3^3 27 точек наблюдения. Дать анализ схеме (2^3+3^3). Обсудить систему блокировки для этого случая. Распространить способ вписанных кубов от трёхфакторных схем на случай четырёх и более факторов, перейдя к рассмотрению гиперкубов.

По ситуационным данным задания обосновать и сконструировать схему многофакторного регрессионного полевого опыта на основе вписанных кубов. Разработать систему блокировки, обосновать повторность и построить план размещения в натуре вариантов схемы опыта на основе вписанных кубов. Обсудить преимущества и недостатки разработанной схемы. Разработать программу исследований в опыте. Сформулировать агрономически обоснованные выводы и составить отчёт о проделанной работе.

Материально-техническое обеспечение:

1. Справочный информационный материал для анализа агрономических данных.
2. Учебная аудитория 1/213, АбиП; Персональные компьютеры Celeron 420 1,6GHz/512Mb/80Gb/17"LCD – 12 шт.; Windows XP Home OEM – MB4G-46QW8-8DFWD-G989W-XXVRG; LibreOffice – Mozilla Public License, v. 2.0.

Контрольные вопросы:

1. Какие категории информации доставляет многофакторный полевой опыт?
2. Как оценивают информативность многофакторного полевого опыта на основе числа степеней свободы?
3. Как определяют и каким образом учитывают потери информативности многофакторного полевого опыта от сокращения базовой информации?
4. Что происходит с актуальной информацией опыта в случае увеличения числа градаций (доз) исследуемых факторов при сохранении числа экспериментальных единиц?
5. Что лежит в основе обоснования целесообразности применения неполных факториальных схем в многофакторных регрессионных экспериментах в растениеводстве?

6. Изложите принципы получения квазифакториальных выборок на основе схем 2^n .
7. Каким образом применяют метод блоков к квазифакториальным схемам полевых опытов?
8. Опишите принцип построения неполных трёхфакторных схем способом вписанных кубов.
9. Охарактеризуйте положительные стороны неполных схем на основе способа вписанных кубов.
10. Опишите порядок оценки информативности неполной схемы многофакторного полевого опыта на основе вписанных кубов (2^3+2^3) по числу степеней свободы.
11. Дайте характеристику отрицательным свойствам неполных схем на основе способа вписанных кубов 2^n .
12. Изложите принципы смягчения несоразмерно низкой насыщенности экспериментальными точками внешней части неполной схемы (2^n+2^n).
13. Изложите порядок составления блоков для неполных схем, скомпонованных по способу вписанных кубов.
14. Как рандомизируют варианты многофакторных квазифакториальных полевых опытов с применением метода блоков?
15. Опишите порядок рандомизации вариантов неполных многофакторных схем на основе вписанных кубов с использованием метода блоков.

Критерии оценки отчета:

1. Умение работы со справочной литературой для теоретического обеспечения задания.
2. Навыки анализа информативности многофакторных схем полевых опытов с применением специализированного программного инструментария ЭВМ.
3. Владение методами разработки квазифакториальных схем многофакторных полевых опытов.
4. Владение методами разработки выборочных схем многофакторных полевых опытов методом вписанных кубов.
5. Освоение методов планирования учётов и наблюдений в многофакторном регрессионном полевым опыте.

6. Полнота и логичность раскрытия темы задания.
7. Адекватность и агрономическая обоснованность выводов.
8. Стилистическая грамотность изложения текста и правильность оформления отчёта.

Основная учебная литература:

1. Полоус, Г.П. Основные элементы методики полевого опыта : учебное пособие / Г.П. Полоус. — Ставрополь : СтГАУ, 2009. — 96 с. — Режим доступа. — URL: <https://e.lanbook.com/book/5734> (дата обращения: 12.09.2019). — ISBN 978-5-9596-0615-2. — Текст : электронный.

Дополнительная учебная литература:

1. Иванова, Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей [Текст] : научное издание / Т. И. Иванова ; Всесоюз. акд. с.-х. наук им. В. И. Ленина. - Москва : Агропромиздат, 1989. - 233 с. - ISBN.
2. Медведев, П.В. Математическое планирование эксперимента / П.В. Медведев, В.А. Федотов. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. – 98 с. : табл., граф., схем., ил. – Режим доступа. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481785> (дата обращения: 12.09.2019). – Библиогр.: с. 72-74. – ISBN 978-5-7410-1759-3. – Текст : электронный.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьев, В.Н. Статистическая методология в научных исследованиях / В.Н. Афанасьев, Н.С. Еремеева, Т.В. Лебедева. – Оренбург : ОГУ, 2017. – 246 с. : ил. – Режим доступа. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485266> (дата обращения: 11.09.2019). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7410-1703-6. – Текст : электронный.
2. Григорьев, Ю.Д. Методы оптимального планирования эксперимента: линейные модели : учебное пособие / Ю.Д. Григорьев. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 320 с. – Режим доступа. – URL: <https://e.lanbook.com/book/65949> (дата обращения: 12.09.2019). – ISBN 978-5-8114-1937-1. – Текст : электронный.
3. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. [Текст] : переводное издание. Кн. 1 / Н. Дрейпер, Г. Смит ; пер. с англ. Ю. П. Адлер. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Финансы и статистика, 1986. –366 с. : ил.
4. Иванова, Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей [Текст] : научное издание / Т. И. Иванова ; Всесоюз. акд. с.-х. наук им. В. И. Ленина. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 233 с. – ISBN 5-10-001379-6.
5. Медведев, П.В. Математическое планирование эксперимента / П.В. Медведев, В.А. Федотов. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. – 98 с. : табл., граф., схем., ил. – Режим доступа. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481785> (дата обращения: 12.09.2019). – Библиогр.: с. 72-74. – ISBN 978-5-7410-1759-3. – Текст : электронный.
6. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур [Текст] / пер. с англ. О. Д. Сиротенко ; ред. Ф. В. Т. Пеннинг де Фриз. - Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 320 с.
7. Моисеев, Н.Г. Теория планирования и обработки эксперимента / Н.Г. Моисеев, Ю.В. Захаров. – Йошкар-Ола : ПГТУ, 2018. – 124 с. : ил. – Режим доступа. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494313> (дата обращения: 12.09.2019). – Библиогр.: с. 121. – ISBN 978-5-8158-2010-4. – Текст : электронный.
8. Полоус, Г.П. Основные элементы методики полевого опыта : учебное пособие / Г.П. Полоус. – Ставрополь : СтГАУ, 2009. – 96 с. – Режим доступа. – URL: <https://e.lanbook.com/book/5734> (дата об-

ращения: 12.09.2019). – ISBN 978-5-9596-0615-2. – Текст : электронный.

9. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов / В. Д. Мятлев [и др.]. - М. : Academia, 2009. - 314, 1 с. : ил., граф. - ISBN 978-5-7695-4704-1.
10. Щурин, К.В. Методика и практика планирования и организации эксперимента: практикум / К.В. Щурин, Д.А. Косых. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2012. – 185 с. : ил. – Режим доступа. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260761> (дата обращения: 11.09.2019). – Библиогр.: с. 177-178. – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.
УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В
ТРЕХФАКТОРНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ 4×4×4 С ДВОЙНОЙ
БЛОКИРОВКОЙ

Таблица Б.1 – Урожайность озимой пшеницы в первом повторении трёхфакторного полевого опыта в зависимости от срока сева (С), нормы высева (Н) и дозы азота (N) при размещении вариантов в квазилатинском квадрате 8×8 (см. табл. А.2), ц/га

Блоки	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ строк	Поправки
1	34,9	59,7	31,0	39,1	26,3	52,3	43,2	32,4	318,9	-17,2
2	50,7	16,9	37,4	45,2	43,8	12,8	37,0	29,8	273,6	+28,1
3	34,0	35,3	54,9	45,4	31,1	34,1	24,4	34,4	293,6	+8,1
4	51,1	45,8	51,9	43,1	37,9	30,2	24,1	11,8	295,9	+5,8
5	33,6	47,1	22,8	14,8	45,1	58,0	56,7	57,6	335,7	-34,0
6	39,9	36,9	24,9	34,8	34,1	35,6	60,5	44,5	311,2	-9,5
7	53,1	27,3	36,5	24,4	45,9	33,9	31,6	38,9	291,6	+10,1
8	14,2	45,2	38,8	29,3	19,9	57,8	47,4	40,7	293,3	+8,4
Σ столбцов	311,5	314,2	298,2	276,1	284,1	314,7	324,9	290,1	2413,8	0,0
Поправки	-9,8	-12,5	+3,5	+25,6	+17,6	-13,0	-23,2	+11,6	0,0	301,7

Таблица Б.2 – Урожайность озимой пшеницы во втором повторении трёхфакторного полевого опыта в зависимости от срока сева (С), нормы высева (Н) и дозы азота (N) при размещении вариантов в квазилатинском квадрате 8×8 (см. табл. А.2), ц/га

Блоки	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ строк	Поправки
1	32,6	54,2	28,0	40,0	27,3	55,2	37,1	29,3	303,7	11,7
2	58,7	23,0	47,9	47,3	51,2	15,9	37,9	30,7	312,6	20,6
3	34,1	30,6	59,4	50,9	34,6	34,0	21,8	31,3	296,7	4,7
4	53,3	41,5	52,8	43,5	35,8	30,7	20,8	10,8	289,2	-2,8
5	26,6	39,1	17,0	9,2	40,7	54,1	47,8	49,3	283,8	-8,2
6	37,5	28,2	19,9	30,1	24,4	28,9	52,1	36,4	257,5	-34,5
7	56,3	26,0	41,4	30,9	52,8	40,8	31,2	40,3	319,7	27,7
8	12,1	40,7	39,5	26,3	16,6	55,3	43,1	39,0	272,6	-19,4
Σ столбцов	311,2	283,3	305,9	278,2	283,4	314,9	291,8	267,1	2335,8	0,0
Поправки	19,2	-8,7	13,9	-13,8	-8,6	22,9	-0,2	-24,9	0,0	292,0

ПРИЛОЖЕНИЕ В. КОРРЕКТИРОВКА ДАННЫХ И ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ ОПЫТА С ДВОЙНОЙ БЛОКИРОВКОЙ

Таблица В.1 – Скорректированная по блокам урожайность озимой пшеницы в первом повторении трёхфакторного полевого опыта в зависимости от срока сева (С), нормы высева (Н) и дозы азота (N) при размещении вариантов в квазилатинском квадрате 8×8, ц/га

Блоки	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ строк
1	31,5	56,0	29,3	40,2	26,4	48,5	38,2	31,7	301,8
2	53,0	18,9	41,4	51,9	49,5	14,7	37,6	34,8	301,8
3	33,8	34,8	56,4	49,6	34,3	33,5	22,5	36,9	301,8
4	50,6	45,0	53,1	47,0	40,8	29,3	21,9	14,0	301,7
5	28,1	41,3	19,0	13,8	43,1	52,1	49,6	54,8	301,8
6	37,5	34,2	24,2	36,8	35,1	32,8	56,4	44,8	301,8
7	53,1	27,0	38,2	28,9	49,4	33,5	30,0	41,6	301,7
8	14,0	44,7	40,3	33,6	23,2	57,2	45,6	43,2	301,8
Σ столбцов	301,6	301,9	301,9	301,8	301,8	301,6	301,8	301,8	2414,2

Таблица В.2 – Скорректированная по блокам урожайность озимой пшеницы во втором повторении трёхфакторного полевого опыта в зависимости от срока сева (С), нормы высева (Н) и дозы азота (N) при размещении вариантов в квазилатинском квадрате 8×8, ц/га

Блоки	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ строк
1	28,7	53,8	24,8	40,3	26,9	50,9	35,7	30,9	292,0
2	53,7	21,5	43,6	46,4	49,7	10,5	35,3	31,2	291,9
3	31,1	31,1	57,1	52,0	35,1	30,5	21,2	33,8	291,9
4	51,2	42,9	51,4	45,6	37,2	28,2	21,2	14,3	292,0
5	25,2	41,2	16,3	11,9	42,8	52,3	48,8	53,4	291,9
6	39,4	33,6	22,5	36,1	29,8	30,3	56,4	43,8	291,9
7	50,4	23,6	36,2	29,2	50,4	34,5	27,8	39,9	292,0
8	12,1	44,2	40,2	30,4	20,1	54,9	45,5	44,5	291,9
Σ столбцов	291,8	291,9	292,1	291,9	292,0	292,1	291,9	291,8	2335,5

Таблица В.3 – Результаты дисперсионного анализа зависимости урожайности озимой пшеницы от срока сева (С), нормы высева (Н) и дозы азота (N) при размещении вариантов в квазилатинском квадрате 8×8, ц/га

Дисперсия	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F-отношение	P-значение
Общая	19528,57	127	–	–	–
Повторений	48,39	1	–	–	–
Блоков-строк 1	295,26	7	–	–	–
Блоков-столбцов 1	228,76	7	–	–	–
Блоков-строк 2	395,94	7	–	–	–
Блоков-столбцов 2	277,70	7	–	–	–
Главных эффектов С	10355,9	3	3451,955	1259,525	0,0000
Н	6916,36	3	2305,453	841,197	0,0000
N	643,62	3	214,540	78,280	0,0000
Взаимодействий СН	62,05	9	6,895	2,516	0,0187
СN	47,85	9	5,317	1,940	0,0678
HN	80,45	9	8,939	3,262	0,0035
Несмешанных взаимодействий	42,04	13	3,234	1,180	–
Ошибки	134,29	49	2,741	–	–

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

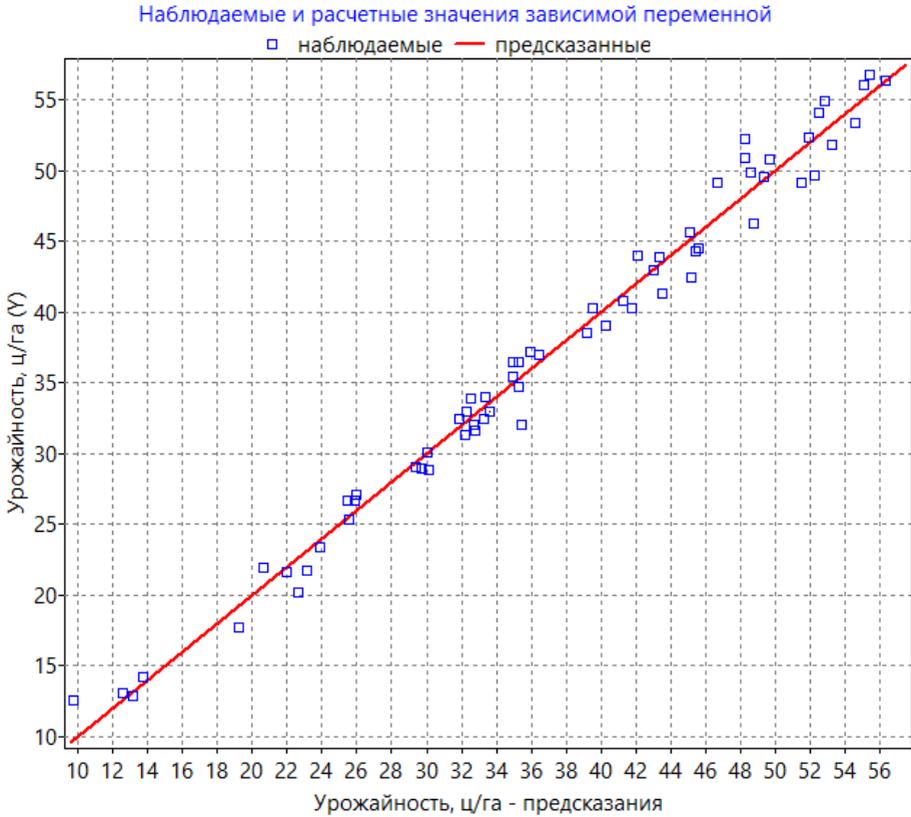
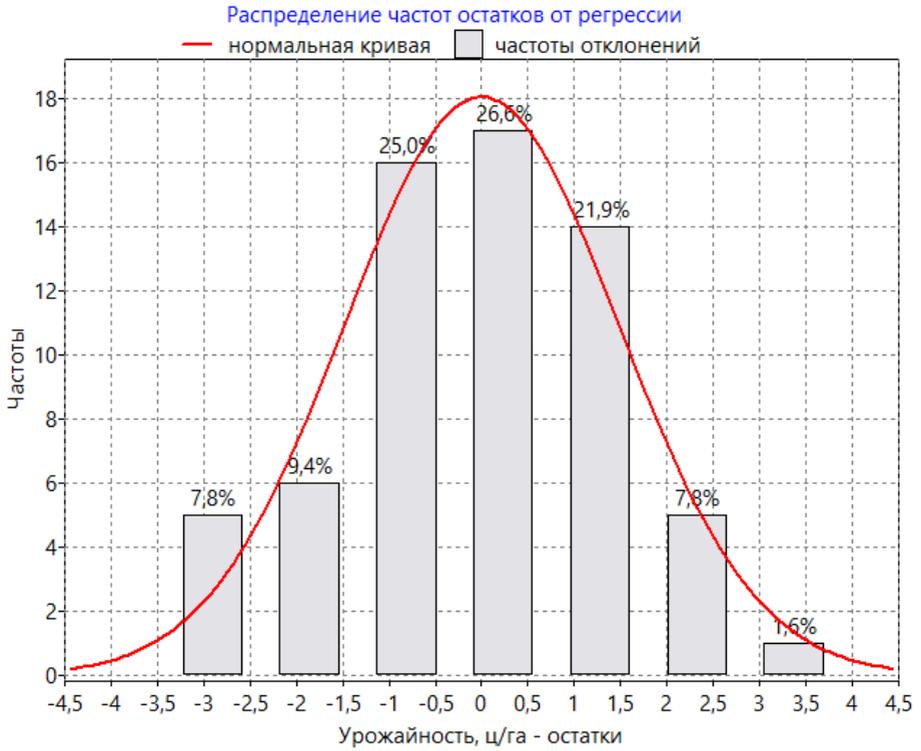


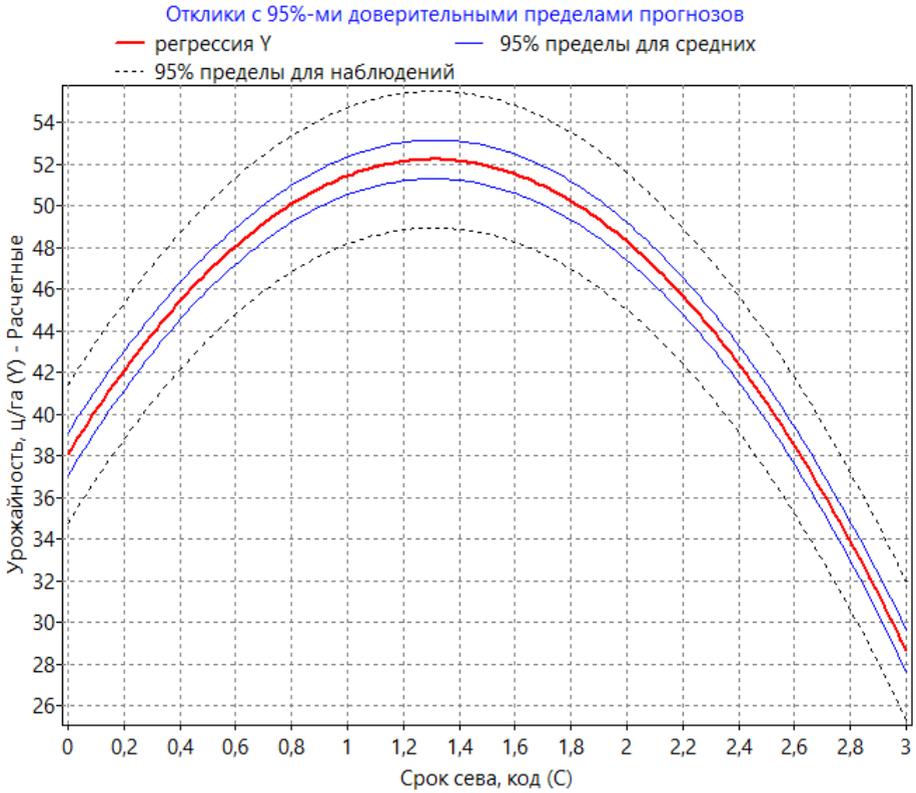
Рис. Г.1. Согласованность наблюдаемых в опыте и предсказанных моделью (6) значений урожайности пшеницы



Расхождение частот остатков с нормальным распределением

Хи-квадрат = 1,249 (0,9744)

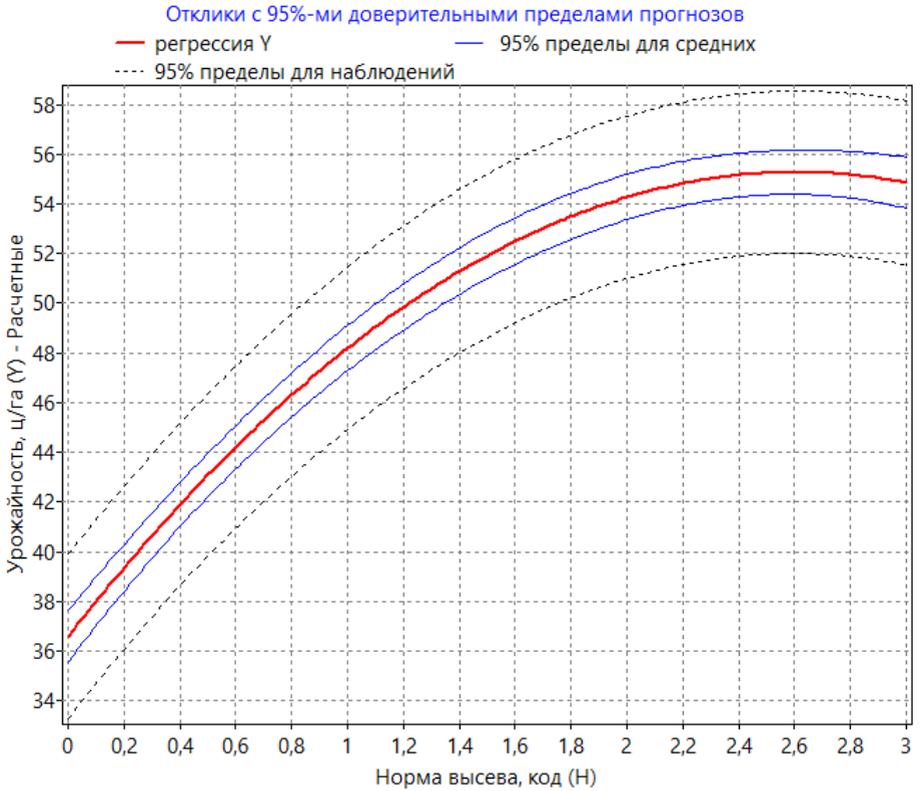
Рис. Г.2. Распределение частот отклонений наблюдаемых в опыте и предсказанных моделью (6) значений урожайности пшеницы



Факторы фона

H	1,5
N	1,5

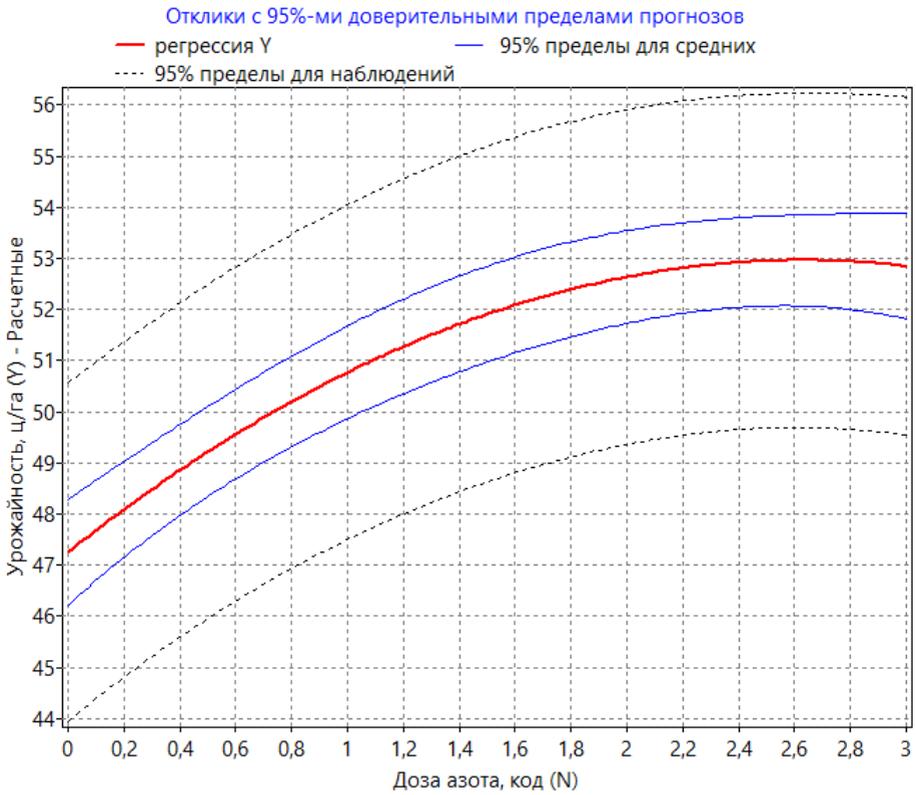
Рис. Г.3. Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от срока сева: по модели (6)



Факторы фона

C	1,5
N	1,5

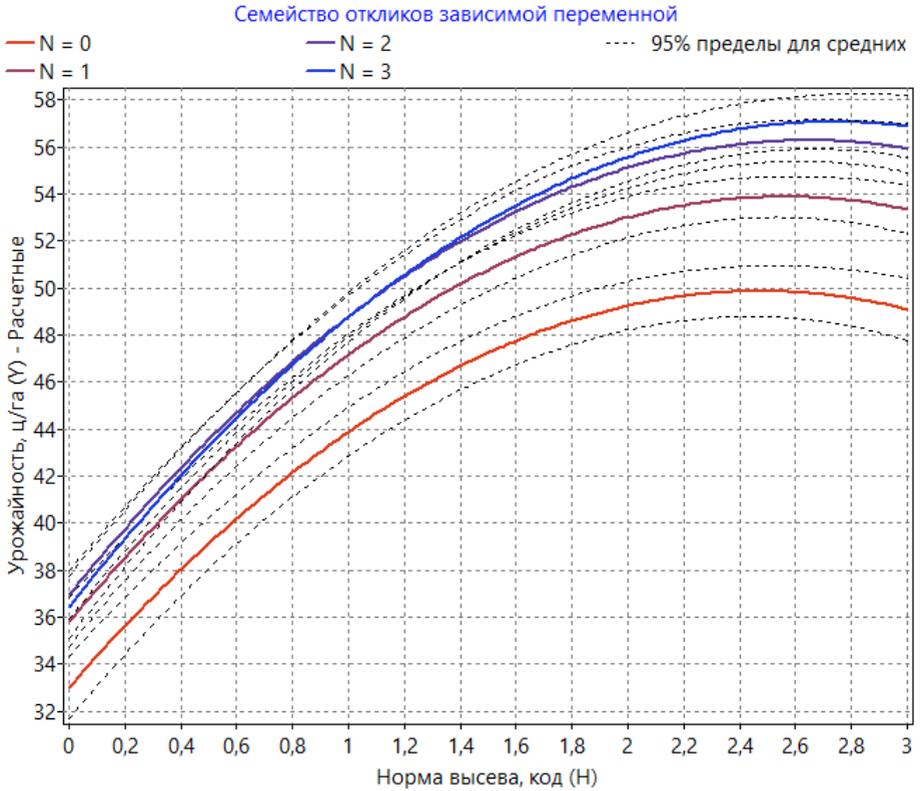
Рис. Г.4. Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от нормы высева: по модели (6)



Факторы фона

С	1,5
Н	1,5

Рис. Г.5. Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от дозы азота: по модели (6)



Факторы фона

С	1,5
---	-----

Рис. Г.6. Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от нормы высева при различных дозах азота: по модели (6)

Знаков: 65005

Графика: 1789,2 см²

Усл. авт. лист: 2,22