



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

Кафедра «Технологии и оборудование переработки продукции АПК»

Сборник задач для выполнения контрольной работы по дисциплине «Основы научных исследований в отрасли» предназначенных для направления 35.03.06 Агроинженерия программа «Проектирование, эксплуатация и сертификация высокотехнологичной сельскохозяйственной техники»  
заочная форма обучения

Курс «Основы научных исследований в отрасли» является одной из основных профилирующих дисциплин по направлению 35.03.06 Агроинженерия программа «Проектирование, эксплуатация и сертификация высокотехнологичной сельскохозяйственной техники»

Рассматриваются условия применения математической теории планирования эксперимента в научных и инженерных исследованиях и основные положения математического моделирования сельскохозяйственных процессов. Представлены алгоритмы построения планов экспериментов, методы статистической оценки данных, полученных в ходе эксперимента.

Приведены основные понятия теории эксперимента, задачи дисперсионного, корреляционного, регрессионного анализа и методы их решения, планирование и обработка результатов многофакторного эксперимента.

Важная роль в изучении этого курса отводится выполнению контрольных работ, которые отображают основные задачи дисциплины

Контрольные работы выполняют студенты первого курса специалитета, с целью ознакомления и получения знаний основных моментов при выполнении научно-исследовательских задач. Пользуясь литературой, указанной в задании. Ответы на поставленные вопросы необходимо иллюстрировать схемами, графическим материалом или диаграммами, которые должны быть выполнены аккуратно и соответствовать требованиям ЕСКД.

Выполненные контрольные задания высылаются в университет для проверки и рецензирования. Проверенная работа вместе с рецензией высылается студенту.

**Вариант выбирается по последней цифре номера зачетной книжки.**

Выполненная студентом работа должна, содержать ответы на каждый вопрос задания, сопровождаемые по тексту функциональными, кинематическими или принципиальными схемами механизмов или машин, чертежами отдельных рабочих органов или сборочных единиц. Оформление работ выполняется строго в соответствии с приказом 242 от 16 декабря 2020 года «Правила оформления работ обучающихся для технических направлений». Вариант выбирается по последней цифре зачетной книжки (если в группе цифры совпадают обратитесь к преподавателю для перераспределения).

## Содержание

Введение.....	4
<b>I. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ АГРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	6
Практическая работа № 1.....	6
Тема: <b>Определение основных элементов методики эксперимента</b> .....	6
Практическая работа № 2.....	13
Тема: <b>Выбор методов размещения вариантов в полевом опыте</b> .....	13
<b>Оценка их эффективности</b> .....	13
Практическая работа № 3.....	21
Тема: <b>Выбор и подготовка земельного участка для проведения</b> .....	21
<b>полевого опыта (семинар)</b> .....	21
Практическая работа № 4, 5.....	22
Тема: <b>Планирование с.-х. эксперимента</b> .....	22
Практическая работа № 6.....	22
Тема: <b>Разбивка участка и закладка полевого опыта</b> .....	37
Практическая работа № 7.....	38
Тема: <b>Методика наблюдений и учетов</b> .....	38
<b>II. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ</b> .....	
<b>ИССЛЕДОВАНИЙ В АГРОНОМИИ</b> .....	39
Практическая работа № 8.....	39
<b>Подготовка материала к математической обработке. Группировка</b> .....	
<b>и графическое представление данных агрономических исследований</b> .....	39
Практическая работа № 9.....	47
Тема: <b>Вычисление статистических показателей выборки при количественной</b> .....	
<b>изменчивости признака</b> .....	47
Практическая работа № 10.....	53
Тема: <b>Методы проверки гипотез. Оценка существенности различий между</b> .....	
<b>выборками по t-критерию</b> .....	53
Практическая работа № 11.....	62
Тема: <b>Вычисление статистических показателей выборки при качественной</b> .....	
<b>изменчивости признака. Оценка существенности различий</b> .....	62
Практическая работа № 12.....	72
Тема: <b>Дисперсионный анализ данных однофакторного вегетационного опыта с</b> .....	
<b>одинаковой и разной повторностью по вариантам</b> .....	72
Практическая работа № 13.....	79
Тема: <b>Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта</b> .....	
<b>с однолетними культурами, размещенного организованными повторениями</b> .....	79
Практическая работа № 14.....	85
Тема: <b>Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта,</b> .....	
<b>размещенного латинским квадратом или прямоугольником</b> .....	85
Практическая работа № 15.....	87
Тема: <b>Дисперсионный анализ данных многофакторного опыта</b> .....	87
Краткий указатель символов.....	97
Краткий словарь терминов.....	98
Литература.....	101
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	102

## Введение

Цель курса: формирование знаний по методам агрономических исследований, планированию, технике закладки и проведения экспериментов, умений и навыков статистической обработки данных научных исследований и оценки результатов опытов, разработки научно-обоснованных выводов и предложений науке и производству.

Основы научных исследований в агрономии это гармоничное сочетание агрономических знаний и методов вариационной статистики, т.е. свод принципов планирования, постановки и проведения различных опытов в агрономии, а также методов математической обработки экспериментальных данных в зависимости от плана опыта.

Любое научное исследование в области агрономии имеет свою методику и требует тщательного ее исполнения, так как именно от этого зависит точность опыта и достоверность полученных результатов.

Данный практикум состоит из двух разделов:

1. Основы методики агрономических исследований
2. Основы статистического анализа результатов исследований в агрономии

Первый раздел позволяет освоить основные элементы МПО, методы размещения вариантов по делянкам, этапы и правила планирования эксперимента, приобрести навыки выбора и разбивки участка под опыт, научиться определять необходимый объем выборки и оптимальное число повторений, составлять схему опыта и планировать наблюдения и учеты.

Во втором разделе студенты знакомятся с основными статистическими показателями, характеризующими количественную и качественную изменчивость, и осваивают методы проверки гипотез при сравнении выборочных совокупностей и дисперсионного анализа.

В результате изучения дисциплины студенты должны обладать следующими профессиональными компетенциями (ПК):

- готовностью изучать современную информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований (ПК-23);
- способностью применять современные методы научных исследований в агрономии согласно утвержденным планам и методикам (ПК-24);
- способностью к обобщению и статистической обработке результатов опытов, формулированию выводов (ПК-26).

Каждая тема сопровождается индивидуальными заданиями для самостоятельного выполнения и контрольными вопросами для закрепления материала.

Изучение теоретического материала и выполнение заданий, предложенных в практикуме, позволят студентам

**знать:** основные методы научных исследований в агрономии, их сущность и требования к ним; этапы планирования эксперимента; правила составления программы наблюдений и учетов, особенности учета урожая с.-х. культур в опыте; эмпирические и теоретические распределения, статистические

методы проверки гипотез, сущность и основы дисперсионного анализа и их применение в агрономических исследованиях.

**уметь:** планировать основные элементы методики полевого опыта и объем выборки, пользоваться методической литературой, составлять и обосновывать программу проведения полевых и лабораторных наблюдений и анализов; составлять отчет о проведении научно-исследовательской работы; применять статистические методы анализа результатов эксперимента; делать выводы на основании рассчитываемых критериев.

**владеть:** способами поиска и обработки научной информации; методикой полевого опыта, техникой закладки полевого, вегетационного, лизиметрического и лабораторного опытов; методикой количественного и качественного анализа продукции растениеводства, почвенных образцов; методами статистической обработки результатов опыта в агрономии, способностью к обобщению, формулировке выводов.

При составлении практикума были заимствованы некоторые рисунки и задачи из учебника Б.А. Доспехова, 1985г. и учебного пособия В.В. Глуховцева и др., 2006 г.

Большинство индивидуальных заданий для самостоятельной работы, разработаны на основе реальных исследований (БД кафедры агрономии и биотехнологии), с учетом почв Зерноградского района и сортов, рекомендованных для возделывания в Ростовской области.

Данное пособие может представлять интерес для аспирантов и специалистов сельского хозяйства.

# I. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ АГРОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## Практическая работа № 1

### Тема: Определение основных элементов методики эксперимента

**Цели:** изучение основных элементов методики полевого опыта (МПО) и их характеристик; приобретение навыка подбора оптимального сочетания этих элементов при определенных условиях эксперимента.

**Продолжительность работы:** 2 часа

#### *Общие сведения*

В научных исследованиях нужно стремиться к тому, чтобы относительная ошибка опыта ( $Sx\%$ ) была небольшой. Это следует учитывать на первых этапах постановки опыта.

Методика полевого опыта (МПО) – это совокупность согласующих ее элементов, правильное соотношение которых позволит снизить ошибку и, тем самым повлечет на точность опыта.

Основными элементами МПО являются:

- 1) число вариантов;
- 2) число повторностей;
- 3) размер, форма и направление делянок;
- 4) повторения и способы их размещения;
- 5) методы размещения вариантов по делянкам повторений;
- 6) методы учета урожая;
- 7) организация опыта во времени.

Рассмотрим первые четыре элемента МПО.

**1. Число вариантов.** В каждом исследовании выделяют *изучаемые* факторы, которые подразделяют на варианты, и *неизучаемые*. **Фактор** – это способ воздействия на объект исследования, т.е., то, что в конкретном опыте нормируется или дозируется и эффективность чего можно учесть и выделить. Неконтролируемые же условия составляют случайные (неизучаемые) факторы. Именно они в сочетании с другими отклонениями определяют величину ошибки опыта, носят вероятностный характер.

**Вариант** – это отдельный элемент опыта, источник новой информации. Кодироваться варианты арабскими цифрами 1, 2, 3 и т.д. или же в условных обозначениях – латинской буквой *l*. Выделяют *опытный* и *стандартный* или *контрольный* (*St*, *K*) варианты.

**Опытный** вариант – тот, который подлежит изучению (отдельное растение, сорт, условие возделывания, агротехнический прием или их сочетание). Их число – заранее заданная величина (запланированная по схеме опыта), определяется содержанием и задачами опыта, пестротой и выравниваемостью участка. Число вариантов существенно влияет на ошибку опыта, так как, чем больше вариантов, тем большую площадь они занимают, тем больше охватывается пестрота плодородия.

Оптимальное число в схеме опыта – **12–16** вариантов и 60–64 делянки.

**Схема опыта** – это последовательный перечень всех вариантов опыта (цифра-код и название)

При увеличении числа вариантов требуются более сложные методы постановки опыта (введение 2–3 контролей, использование метода расщепленных делянок, метода решетки и др.). При уменьшении до 2–3 – необходимо увеличить число повторностей, чтобы правильно оценить ошибку опыта при достаточном числе наблюдений.

**Контроль, стандарт** – один или несколько хорошо изученных вариантов, с которыми сравнивают опытные варианты. За *стандарт* принимают районированный сорт, оптимальный или общепринятый агроприем и т.д., за *контроль* или *нулевой* вариант – отсутствие изучаемого фактора или доза фактора равная нулю, например, в опыте по изучению удобрений в качестве контроля используют естественный фон, т.е. вариант без удобрений.

**2. Повторность.** Точность эксперимента определяется и *повторностью опыта на территории* и *во времени*.

**Повторность на территории** (обозначают буквой *n*) – число экспериментальных единиц (делянок, сосудов) каждого варианта или число одноименных вариантов в опыте. Позволяет охватывать пестроту земельного участка и получать более точные средние данные, устанавливать долю влияния случайного фактора, и, следовательно, величину ошибки опыта.

При увеличении числа повторностей снижается ошибка опыта. Оптимальное число повторностей – **4–6-кратное**, а на невыравненных по плодородию участках и при малой площади делянки (2–6 м<sup>2</sup>) – больше. Увеличение числа повторностей лучше, чем увеличение площади делянки при неизменном числе повторностей. Многофакторные опыты с большим числом вариантов закладывают в 2-3 повторности методом блоков. *Безповторностные* посевы допустимы только в младших питомниках (F<sub>1</sub>, коллекционном) селекционных опытов, демонстрационных, рекогносцировочных (уравнительных) и предварительных опытах.

**Повторность во времени** – это число лет испытаний сортов, гибридов или агроприемов. Эксперимент необходимо повторять по годам, так как результаты любого полевого опыта сильно зависят от погодных условий. Это повышает достоверность и дает возможность получить дополнительную информацию об эффективности изучаемых приемов в отдельные годы, а также эффективности последствий, особенно в опытах с удобрениями в разных метеоусловиях.

**3. Размер, форма и направление делянок.** Делянка – это экспериментальная единица, имеющая определенные размер и форму, и, предназначенная для размещения отдельного варианта. Площадь делянки может варьировать по разным причинам и тем самым влиять на точность опыта. Чем крупнее растение, тем больше минимальная площадь делянки (сравнить: тыква, просо). Но если площадь делянки больше площади, на которой может разместиться нужное число растений, то ее увеличение бесполезно. Оптимальным для точности опыта считается увеличение делянки до 100 м<sup>2</sup>, в дальнейшем

эффект снижается (нарушается принцип единственного различия, однородность поля) или остается неизменным. По назначению различают *опытную (посевную)* и *учетную* площадь делянки. На опытной делянке проводят все операции, предусмотренные методикой эксперимента: обработку почвы, внесение удобрений, посев, уход и др. На учетной – непосредственно проводят наблюдения и учитывают урожайность.

**Размер делянки зависит от:**

а) назначения, задачи опыта и наличия семян. В селекционных питомниках оптимальными приняты делянки площадью 5 – 10 – 25 – 50 – 100 м<sup>2</sup>. Допустимо уменьшение до 0,2–1 м<sup>2</sup>, при малом количестве семян. В агротехнических опытах 50–200 м<sup>2</sup>, при изучении способов обработки – до 1000 м<sup>2</sup>;

б) с.-х. культуры. Необходимо учитывать густоту стояния растений, ширину междурядий при посеве. Рекомендуется: для пропашных культур площадь делянки равную 50–100 м<sup>2</sup>, для зерновых – 50–60 м<sup>2</sup>, льна – 20–25 м<sup>2</sup>. Общее правило: чем больше растений на единице площади, тем меньше может быть размер делянки;

в) степени и характера пестроты почвенного покрова. На выравненных по плодородию участках даже при больших размерах делянок – большая точность опыта и, наоборот, необходимо использовать меньшие размеры с большим числом повторностей на участках с выраженной пестротой почвенного покрова;

г) агротехники и механизации, используемой для обработки почвы и ведения опыта. Предел минимальной площади делянки определяется возможностью нормально проводить все агротехнические мероприятия. Следует стремиться к максимальной механизации опыта. Поэтому в селекционных питомниках часто применяют малогабаритную технику, а ширину делянки выбирают так, чтобы она была кратна захвату сеялки (жатки комбайна), применяемой в том или ином питомнике;

д) возможности одновременной обработки всех делянок. Существует **правило:** все операции в опыте проводить одновременно для всех вариантов.

Таким образом, размер делянки в полевом опыте (ПО) должен быть сравнительно небольшим, с шириной – кратной захвату основных агрегатов (сеялки, культиваторной сцепки, жатки комбайна).

Преимущества малых делянок:

- 1) легче достичь точности опыта;
- 2) удобство в оценке материала;
- 3) меньше затрат, средств и труда.

Крупные делянки лучше использовать в многолетних опытах, когда возникает необходимость расщепления делянок для изучения новых факторов. В производственных условиях площади иногда достигают 100–3000 м<sup>2</sup>, строгие правила при этом не установлены.

Опытная делянка включает не только учетную площадь, но и *защитные полосы* (боковые или продольные и концевые).

**Боковые защитные полосы** расположены вдоль длинных сторон делянки, чтобы исключить влияние соседних вариантов (особенно в опытах с

удобрениями, способами обработки почвы, предшественниками, орошением). Ширина таких полос – 0,5-1,5 (иногда до 2-4) м, в сортоиспытаниях (СИ)

– это незасеянные дорожки – 20-40 см.

**Концевые (лобовые) защитные полосы** служат для предохранения от случайных повреждений и для взятия проб на анализ. Ширина их – не менее 2 м (СИ – по 1 м с каждого конца делянки). По периметру участок окаймляют защитными полосами шириной – не менее 5 м. Это так называемый обсев и разворотные полосы. Последние необходимы с обоих концов делянки для механизированной обработки (разворота техники).

**Форма делянки** – это соотношение ширины к длине делянки. Различают квадратную, где соотношение ширины к длине составляет 1:1 (10x10, 5x5 и т.д.), прямоугольную (больше 1:1, но меньше 1:10, 5x20, 2x10) и удлиненную – соотношение больше, чем 1:10 (3x40, 5x80) форму делянки. Установлено, что узкие длинные делянки более полно охватывают пестроту земельного участка и обеспечивают лучшую сравнимость опытных вариантов (1:10, 1:15). Дальнейшее увеличение соотношений сторон нецелесообразно, кроме делянок, расположенных на склонах, в СИ, опытах со сроками, способами и нормами посева. Недостаток удлиненных делянок – большой периметр требует большей площади для защитных полос и устранения краевых эффектов.

Наиболее оптимальным является соотношение сторон **1:5, 1:10**, т.е., прямоугольные делянки. Более вытянутые делянки эффективны в сложных схемах, при больших размерах делянок. Квадратная форма делянки предпочтительна в опытах, где возможно сильное влияние вариантов друг на друга (смежных), например, при изучении химических средств борьбы с болезнями и вредителями, при внесении ядохимикатов в виде растворов и порошков. В противном случае, необходимы боковые защиты больших размеров. Однако при любой форме делянки *следует помнить*, что ширина делянки – кратна захвату агрегата.

Опытный участок лучше всего выбирать квадратной или близкой к нему формы, так как при любой системе расположения на таком участке расстояние между вариантами будет меньше и сравнимость лучше.

**Направление делянок** зависит от пестроты плодородия участка, рельефа, местонахождения участка, технических условий и, в целом, влияет на достоверность опыта.

На *невыравненном по плодородию участке* правильное сравнение вариантов – если длинная сторона делянки располагается в том же направлении, в каком меняется плодородие почвы (рисунок 1.1).

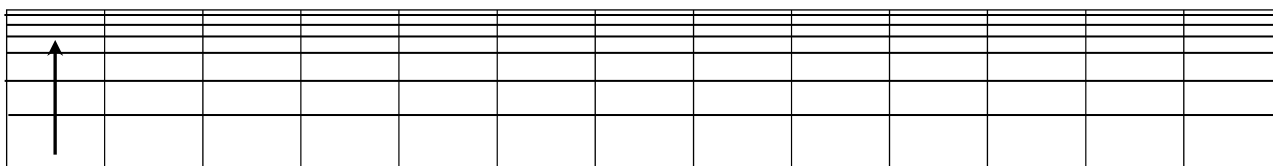


Рисунок 1.1 – Направление делянок в опыте (изменение плодородия – различная густота линий)

На склонах длинная сторона делянки располагается вдоль склона (рисунок 1.2)

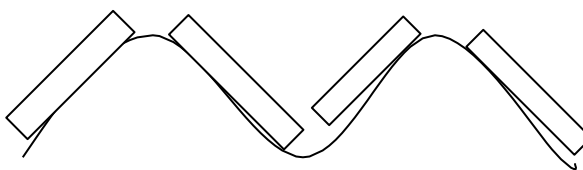


Рисунок 1.2 – Направление делянок в опыте на склоне

Если опытный участок *ограничен лесными полосами*, то делянки должны располагаться не ближе 10-30 м от лесополосы и длинной стороной перпендикулярно к ней (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Направление делянок в опыте на участке, ограниченном лесной полосой

Если плодородие почвы равномерно на участке, то направление делянок зависит только от технических условий.

**4. Повторения и способы их размещения.** Повторение – это число делянок с полным набором всех вариантов, объединенных территориально в одну группу. Различия в условиях полевого опыта внутри повторений значительно меньше, чем между повторениями.

Обычно полевые опыты располагают на площади участка методом организованных повторений или блоков, кодируемых римскими цифрами (I, II, III, IV и т.д.). Их число, как правило, равно числу повторностей.

Организованное повторение – часть площади опытного участка, включающая полный набор вариантов схемы опыта. Организованные повторения размещают двумя способами:

1) сплошной – все повторения объединены территориально в один или более ярусов. Используется такой способ на выравненных по плодородию участках (рисунок 1.4);

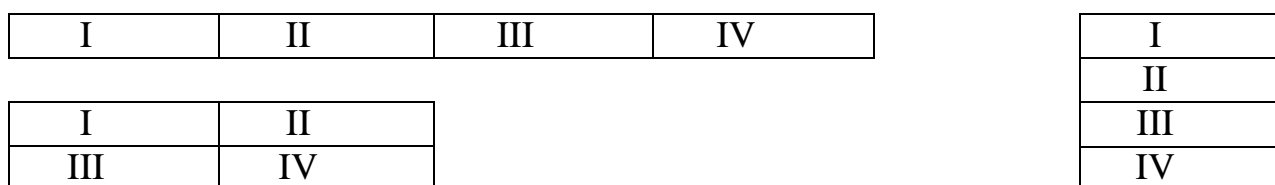


Рисунок 1.4 – Размещение повторений сплошным способом в один, два и четыре яруса

2) разбросанный – повторения по одному или по несколько расположены в разных частях поля или на разных полях. Число опытных участков, при этом, соответствует числу повторений. К такому способу прибегают вынужденно: при отсутствии в одном месте достаточной площади

участка, при невыравненном рельефе, или умышленно: в опытах по изучению эрозии почвы, оценке новых приемов и сортов в разных почвенных условиях, в рисовых чеках (рисунок 1.5).

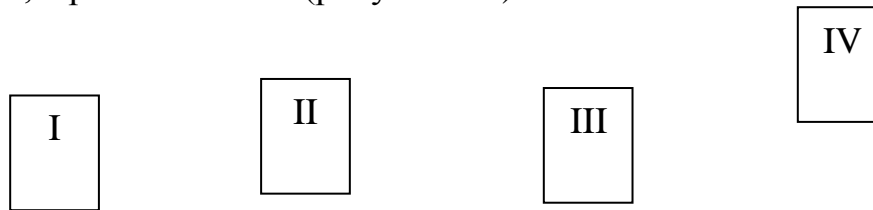


Рисунок 1.5 – Размещение повторений разбросанным способом

Организованные повторения позволяют контролировать большую часть территориальной изменчивости опытного участка, уменьшать и устранять влияние ее на ошибку в процессе математической обработки данных.

Следует стремиться к **взаимноортогональной** организации полевого опыта, когда в каждом его повторении представлены все варианты схемы. Такие опыты удобнее обрабатывать статистическими методами и результат получается более точным.

*Задание.* Используя теоретический материал, описанный выше, определить основные элементы опыта по заданным условиям с вычислением площади участка.

#### *Порядок выполнения работы*

- 1) получить задание у преподавателя;
- 2) ознакомиться с условием задания и кратко записать данные в тетрадь;
- 3) определить число вариантов в данном опыте;
- 4) установить оптимальное число повторений;
- 5) вычислить общее количество делянок;
- 6) согласно МПО, назначению опыта, сопутствующим условиям подобрать оптимальные размеры, форму и направление делянок;
- 7) рассчитать учетную и опытную площадь делянки с учетом боковых и концевых защитных полос. Определить площадь под разворотные защитные полосы и обсев;
- 8) рассчитать общую площадь опытного участка;
- 9) построить схематический план расположения вариантов в опыте с указанием размеров делянок, защитных полос, опытного участка, направления длинных сторон делянки;
- 10) под рисунком указать общую площадь участка, выраженную в гектарах.

#### *Индивидуальные задания для самостоятельной работы*

- № 1. Определить основные элементы МПО (число вариантов, делянок, повторностей, повторений, форму, направление и площадь делянок) при изучении влияния азота на урожай ярового ячменя сорта Леон.

Для эксперимента использовали 4 дозы действующего вещества (кг/га) – N<sub>30</sub>, N<sub>60</sub>, N<sub>90</sub>, N<sub>120</sub> и естественный фон. Площадь опытного участка – 1 га (100×100). Пестрота плодородия снижается с севера на юг. Построить схематический план.

- № 2. В предварительном сортоиспытании (ПСИ) озимой пшеницы 22 изучаемых сорта и 1 стандарт расположены в двух повторениях. Защитные полосы концевые – 2 м, боковые, незасеянные – 40 см, разворотные – 5 м. Определить общее число делянок, выбрать оптимальную форму и площадь делянки, вычислить площадь всего опытного участка. Построить схематический план.
- № 3. В конкурсном сортоиспытании (КСИ) гороха 18 сортов и 2 стандарта. Посев в 4 повторениях. Согласно рекомендуемым по методике условиям, выбрать оптимальный размер, форму и направление делянок определить посевную площадь отдельной делянки с учетом защитных полос и общую всего опытного участка. Построить схематический план.
- № 4. Разместить 6 повторений по 16 вариантов (14 сортообразцов и 2 стандарта) в два яруса. Площадь делянок – 50 м<sup>2</sup>, защитная концевая полоса – 2 м, боковые – 40 см, разворотные – 5 м. Определить размер участка. Культура – озимая тритикале.
- № 5. Составить схематический план полевого опыта по определению влияния эрозии почвы на урожайность клевера на склоне. Длина склона 300 м, ширина – 100 м. Число опытных вариантов – 4. Определить основные элементы МПО.
- № 6. Составить схематический план полевого опыта коллекционного питомника сорго. Количество опытных сортообразцов – 100. Посев бесповторностный. Каждый 10-й вариант – стандарт. Делянка – однорядковая, площадь делянки 5 м<sup>2</sup>, ширина междурядья – 70 см (боковая защитная полоса не требуется). Определить основные элементы МПО.
- № 7. Расположить варианты агротехнического опыта (8 изучаемых и 2 контрольных) на участке, к которому прилегает лесополоса. Повторность 3- кратная. Определить основные элементы МПО и рассчитать общую площадь участка.
- № 8. Расположить варианты агротехнического опыта (6 изучаемых и 1 контрольный в 4-х повторениях) по изучению эрозии почвы разбросанным способом. Определить основные элементы МПО и рассчитать общую площадь каждого участка.

### Контрольные вопросы

1. Что такое методика полевого опыта?
2. Что такое фактор?
3. Дать понятие варианту (опытному, контрольному, стандарту).
4. От чего зависит число вариантов и как оно влияет на точность опыта?
5. Что такое повторность на территории, во времени?
6. Что понимают под размером делянки? От чего зависит площадь делянки?
7. Форма делянки, используемая в агрономических исследованиях.
8. От чего зависит направление делянки?
9. Защитные полосы и их значение. Какие защитные полосы не входят в опытную площадь делянки?
10. Что такое повторение, чем отличается от повторности? Способы размещения повторений.
11. Что означает взаимноортогональная организация опыта?

### Практическая работа № 2

**Тема: Выбор методов размещения вариантов в полевом опыте.  
Оценка их эффективности**

**Цели:** изучение методов размещения вариантов по делянкам опыта, их характеристик. Освоение техники рендомизации, сравнительная оценка эффективности размещения.

**Продолжительность работы:** 2 часа.

### Общие сведения

В зависимости от конфигурации и микрорельефа опытного участка, назначения и задачи эксперимента используют различные методы размещения вариантов по делянкам в повторении.

Существуют три основные группы методов: 1) стандартные, 2) систематические, 3) рендомизированные.

**Стандартные методы** – частое расположение контроля (стандарта) через 1-2 опытных вариантов (*ямб, дактиль, парный*) (рисунок 2.1).

а)

st	1	st	2	st	3	st	4	st	5	st
----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----

б)
I
II

st	1	2	st	3	4	st	1	2	st	3	4	st
----	---	---	----	---	---	----	---	---	----	---	---	----

а – ямб-метод; б – дактиль-метод

Рисунок 2.1 – Расположение вариантов стандартными методами

Начинается и заканчивается размещение вариантов контролем. В опытах с большим количеством вариантов соотношение стандарта и опытного варианта можно увеличить до 1:4.

Стандартные методы основаны на том, что плодородие опытного участка изменяется постепенно, и между урожаями ближайших делянок наблюдается корреляционная связь. Плюсами таких методов размещения полевого опыта можно назвать простоту и предполагаемую возможность устранить влияние пестроты плодородия почвы.

**Недостатки:** 1) большая громоздкость и нерациональное использование земли, так как под стандартом занято около 50 % площади; 2) трудно сравнивать опытные варианты далеко расположенные друг от друга (особенно при большом числе вариантов); 3) не всегда наблюдается тесная корреляционная связь между урожаями рядом расположенных делянок.

Используются такие методы на первых этапах отбора в селекции, при недостатке семян.

**Систематические методы** – такое расположение опыта, когда порядок следования вариантов в каждом повторении подчиняется определенной системе. Существует много способов, но чаще применяются два из них.

1. *Последовательное* или *однорусное расположение*. Наиболее простой способ. Последовательность устанавливается на основании организационно-технических мероприятий: удобства обработки почвы, посева, уборки, внесения удобрений и т.д. (рисунок 2.2).

I					II					III					IV				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Рисунок 2.2 – Расположение вариантов систематическим методом в один ярус

2. *Шахматное* расположение предполагает размещение вариантов в 2 и более ярусов, при этом порядок следования вариантов сдвигается на число, равное частному от деления: *общего количества вариантов на число ярусов* (4:2, 6:3) (рисунок 2.3).

а)				I				II			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
III				IV				III			
3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
б)				I				II			
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
III				IV				III			
3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
V				VI				V			
5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4

а – в 2 яруса; б – в 3 яруса

Рисунок 2.3 – Шахматное расположение вариантов

Такой метод имеет преимущество перед последовательным размещением, так как лучше охватывает разнообразие почвенного плодородия.

Систематические методы просты в применении, поэтому им часто отдают предпочтение. Однако следует применять их только на выравненных по плодородию и рельефу участках.

Недостатки: 1) возможные и иногда непредвиденные искажения эффектов по вариантам; 2) ненадежность в статистической оценке; 3) большая ошибка опыта.

Используются систематические методы в демонстрационных посевах.

**Рендомизированные** (*randomize*, англ. – придавать случайный характер) **методы** – случайное расположение вариантов в повторении. Они делятся на:

1) метод полной рендомизации или неорганизованных повторений (МПР);

2) метод организованных (рендомизированных) повторений (МОП, МРП) или блоков (МОБ);

3) метод латинского квадрата и прямоугольника (ЛК, ЛП);

4) метод греко-латинского (тройного) квадрата (МГЛК);

5) метод расщепленных делянок (МРД);

5) метод смешивания (МС);

6) метод решетки (МР) и др.

Преимущества рендомизированных методов: а) полнее охватывают пестроту почв; б) исключают однонаправленное влияние на результаты опыта; в) разрушают возможность систематического изменения плодородия внутри повторений; г) дают возможность более полноценно статистически доказать существенность различий по вариантам, так как статистические методы основаны на случайности.

Это наиболее перспективные методы расположения вариантов. Применяются эти методы широко за границей и в нашей стране: в МГАУ им. К.А.Тимирязева, ВНИИСХ Юго-Востока, ВНИИУА, ВИЗР и др.

### Техника рендомизации

1. *Жребий* – наиболее простой способ. Варианты нумеруют на отдельных карточках, которые затем тщательно перемешивают и вынимают по одной.

Эта последовательность и определяет последовательность вариантов в повторении. Для каждого повторения проводится своя рендомизация.

2. *Таблица случайных чисел* (приложение 1). Такая таблица является техническим пособием при планировании случайного размещения вариантов в опыте. Каждое число из 10 (0-9), расположенное в два или один ряд, встречается приблизительно одинаковое количество раз на странице с вероятностью 0,1. В то же время нет никакой закономерности в их расположении.

Правила пользования таблицей: к примеру, требуется заложить опыт из 5-ти вариантов в 4-кратной повторности. Обозначим варианты 1, 2, 3, 4, 5 и определим последовательность размещения для каждого повторения.

Произвольно выбираем точку отсчета (от 1 до 5) в таблице и, двигаясь в любом направлении (вверх, вниз, влево, вправо, по диагонали), выбираем цифры, пока не получим полный указанный набор. Допустим, точкой отсчета служит цифра 3 в первой строке четвертого столбца (см. приложение 1), двигаясь вниз по столбцу, получим следующий порядок размещения для первого повторения 3, 5, 1, 2, 4. Последний номер варианта (4) проставляется автоматически. Повторяющиеся цифры и превышающие 5, пропускаются. Таким же образом рендомизируют варианты для II, III и IV повторений. Рекомендуется менять начало отсчета для каждого повторения и направление движения по таблице случайных чисел.

3. *Готовые рендомизированные схемы.* В последнее время пользуются и заранее составленными схемами рендомизации.

Рассмотрим различные методы рендомизации, используя таблицу случайных чисел.

1) метод неорганизованных повторений (полная рендомизация)

Простейший из современных методов, когда варианты по делянкам располагаются совершенно случайно, главное, чтобы соблюдалась кратность повторности каждого варианта (рисунок 2.4).

4	2	3	1
3	1	4	2
1	2	4	3
2	4	3	1

2	3	4	2
1	4	3	2
3	2	1	4
4	1	3	2

Блок 1 Блок 2

Рисунок 2.4 – Схема размещения 4-х вариантов в 4-х повторениях методом неорганизованных повторений и блоков

Этот метод эффективен, когда изучается небольшое число вариантов (4-6); при однородности почвенного плодородия; с многолетними и плодовыми культурами; с разной повторностью вариантов; в вегетационных и вегетационно-полевых опытах.

При увеличении числа вариантов в опыте увеличивается различие в плодородии почвы и снижается точность опыта, поэтому необходимо использовать другие методы, например:

2) метод рендомизированных (организованных) повторений. Это наиболее распространенный метод. Основное условие: форма повторения должна быть близка к квадрату, а почва внутри повторения – по возможности однородна по плодородию. Делянки можно располагать в 1, 2 и более ярусов. Допускается разбросанный способ расположения повторений в случае неуровненности земельного участка.

Число вариантов не следует брать более 15-20. Через каждые 5-10 вариантов целесообразно иметь стандарт (контроль). При длинных схемах возможно объединение вариантов в однородные группы внутри повторений

(по морфологическим и другим признакам), стандарт в каждой группе может быть свой. Рендомизация производится как внутри группы, так и между группами (рисунок 2.5).

I				II				III				IV				а				
2	4	1	5	3	3	5	2	4	1	4	2	3	1	5	2	5	1	3	4	
I				II												б				
8	6	4	St	3	7	2	5	St	1	9	St	1	5	2	7		3	St	1	9
9	8	6	4	St	1	5	3	St	1	2	7	4	2	1	3		7	9	8	5
III				IV												в				
3 группа				2 группа				1 группа				1 группа								
19	18	St	20	16	17	10	14	11	St	7	13	9	12	8	4		St	1	3	5
3 группа				1 группа				2 группа				2 группа								
St	15	17	20	16	19	18	2	4	St	1	5	3	6	10	13		8	14	12	11
2 группа				3 группа				1 группа				1 группа								
10	11	13	St	7	12	14	9	8	17	19	16	15	18	20	3		5	6	2	4
1 группа				3 группа				2 группа				2 группа								
5	2	St	1	6	4	3	St	15	20	17	16	18	19	14	St		7	9	13	12
I				II				III				IV				г				
1	2	3	4	5	4	2	5	3	1	5	3	2	1	4	1	2	5	3	4	

а – 5 вариантов в один ярус; б – 9 вариантов в два яруса; в – 20 вариантов в четыре яруса; в каждом повторении по три группы; г – 5 вариантов в один ярус; в первом повторении варианты размещены систематически  
Рисунок 2.5 – Схемы размещения вариантов в четырёх рендомизированных повторениях

3) метод латинского квадрата. Основное условие: число вариантов равно числу повторений (4x4, 5x5, 6x6 и т.д.)

Преимущества: этот метод позволяет устранить влияние систематического изменения плодородия почвы на участке по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Недостаток: требование равенства вариантов и повторений. Так как при большом числе вариантов опыт будет слишком громоздким, то максимальная схема рекомендуется 7x7, при малом же числе вариантов – недостаточное число наблюдений увеличит ошибку опыта, следовательно, нежелательно закладывать квадраты меньше, чем 4x4.

Основное правило: в любом ряду и столбце квадрата должен быть полный набор вариантов (рисунок 2.6).

	I	II	III	IV	V
I	4	1	3	5	2
II	2	5	4	3	1
III	1	3	5	2	4
IV	5	2	1	4	3
V	3	4	2	1	5

Рисунок 2.6 – Схема размещения вариантов методом латинского квадрата 5x5

При восьми и более вариантов целесообразнее использовать метод латинского прямоугольника.

Основное условие: число вариантов кратно числу повторений. При 3-х повторениях – 6, 9, 12 и т.д. вариантов, при 4-х – 8, 12, 16 и т.д. Частное от деления числа вариантов на число повторений дает число делянок, на которое необходимо расщепить столбец или ряд латинского квадрата. Например, при изучении 8-ми вариантов в четырехкратном повторении каждый столбец латинского квадрата 4x4 нужно разделить на 2 полосы ( $8 : 4 = 2$ ). В результате, получается схема латинского прямоугольника 4x4x2, произведение этих цифр дает общее количество делянок (рисунок 2.7).

I	8	3	5	1	6	4	2	7
II	4	7	2	6	5	3	1	8
III	2	5	3	7	1	8	4	6
IV	6	1	8	4	7	2	5	3
	I	II	III	IV				

Правило рендомизации в латинском \_\_\_\_\_ прямоугольнике: каждый ряд и столбец должны иметь полный набор вариантов, не повторяясь.

Рисунок 2.7 – Схема размещения 8-ми вариантов методом латинского прямоугольника 4x4x2

Такое размещение, так же как и метод латинского квадрата, позволяет снизить ошибку опыта при математической обработке данных за счет устранения систематического варьирования плодородия почвы в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Если же варьирование в 3-х направлениях следует применять метод латинского квадрата и блоки по диагонали, причем в каждом направлении должен быть полный набор делянок (рисунок 2.8).

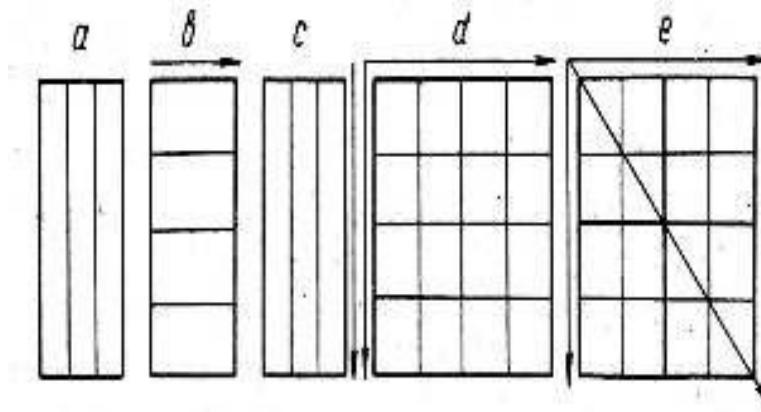


Рисунок 2.8 – Ориентация делянок в зависимости от характера варьирования не изучаемых в опыте условий

4) метод расщепленных (сложных) делянок. Применяется в многофакторных опытах, когда по одному из факторов нужна более точная информация (главный фактор), а по другим нет такой необходимости (второстепенные), или, если в стационарном длительном опыте возникает необходимость ввести дополнительные варианты или дополнительный фактор для изучения, сохранив предыдущие. Другими словами схема расщепленных делянок – это эксперимент, в котором делянки одного опыта используются как блоки для другого. Например, чтобы расположить двухфакторный опыт  $3 \times 3$  по изучению трех сортов (первый фактор) и трех градаций норм высева (второй фактор) методом расщепленных делянок, делянки I порядка (главные, где изучаются сорта,  $a_1, a_2, a_3$ ), расщепляют на 3 части – делянки II порядка (субделянки,  $b_1, b_2, b_3$ ) для изучения норм высева (рисунок 2.9).

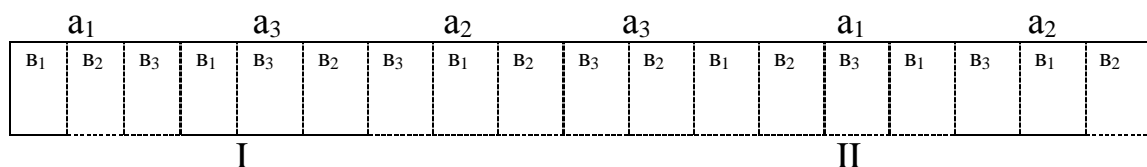


Рисунок 2.9 – Схема размещения девяти вариантов в двухфакторном опыте в двух повторениях методом расщепленных делянок

При использовании любого из рендомизированных методов рендомизация проводится по каждому повторению отдельно. Остальные перечисленные выше методы применяются реже, поэтому здесь останавливаться на них не будем. Рекомендуется для самостоятельного изучения.

Для сравнения эффективности различных методов размещения используют, так называемые, условные опыты (опыты без фактических вариантов), отбирая одни и те же делянки с соответствующими урожаями систематически и случайно, с последующим проведением **дисперсионного анализа**. Основным критерием эффективности является однородность фона для сравнения вариантов независимо от вида варьирования плодородия почвы, т.е. отсутствие существенных различий по F-критерию в опыте ( $F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$ ).

*Задание.* Расположить варианты опыта различными методами размещения и определить основные элементы МПО.

*Порядок выполнения задания*

- 1) получить задание у преподавателя;
- 2) ознакомиться с условиями задания и сделать краткую запись;
- 3) построить схему размещения повторений на участке;
- 4) если в задании указаны рендомизированные методы, то, пользуясь таблицей случайных чисел, определить последовательность вариантов по делянкам каждого повторения;
- 5) при использовании стандартного или систематического методов, расположить варианты по делянкам, согласно описанной методике;
- 6) определить основные элементы МПО и сделать выводы;
- 7) рисунки подписать.

*Индивидуальные задания для самостоятельной работы*

- №1. Разместить 15 вариантов опыта систематическим (шахматным) методом в два яруса. Повторность 4-кратная. Указать все элементы опыта.
- №2. Разместить 10 вариантов опыта систематическим методом. Повторность 5-кратная. Указать все элементы опыта. Выделить стандарт.
- №3. Разместить 6 вариантов полевого опыта стандартным ямб-методом. Повторность 4-кратная. Указать все элементы опыта.
- №4. Разместить 6 вариантов полевого опыта методом рендомизированных повторений. Повторность 6-кратная. Указать все элементы опыта.
- №5. Разместить 10 вариантов полевого опыта (1 из них стандарт) методом рендомизированных повторений в 2 яруса. Повторность 4-кратная.
- №6. Разместить 18 вариантов методом рендомизированных повторений в 4 яруса и 4 повторения. В каждом повторении – 3 группы, а в каждой группе – 1 стандарт. Указать все элементы опыта.
- №7. Разместить 6 вариантов опыта латинским квадратом. Указать все элементы опыта.
- №8. Разместить 12 вариантов 3-факторного опыта методом расщепленных делянок (2х2х3). Посев в 2-х повторениях. Указать все элементы опыта.
- №9. Разместить 9 вариантов опыта методом расщепленных делянок (3х3). Посев в 3-х повторениях. Указать все элементы опыта.

№10. Разместить 5 вариантов полевого опыта методом неорганизованных повторений (полная рендомизация). Повторность 6-кратная.

№11. Разместить 12 вариантов методом латинского прямоугольника. Указать все элементы опыта.

### *Контрольные вопросы*

1. От чего зависит выбор методов размещения вариантов по делянкам в повторении? Назвать группы методов.
2. Стандартные методы. Методика размещения, преимущества, недостатки, применение.
3. Систематические методы. Методика размещения, преимущества, недостатки, применение.
4. Рендомизированные методы. Преимущества, применение.
5. Техника рендомизации.
6. Дать характеристику методу неорганизованных повторений.
7. Дать характеристику методу рендомизированных повторений.
8. Дать характеристику методам латинского квадрата и прямоугольника.
9. Дать характеристику методу расщепленных делянок.

### Практическая работа № 3

Тема: **Выбор и подготовка земельного участка для проведения полевого опыта (семинар)**

**Цели семинара:** ознакомление с особенностями условий проведения полевого опыта, изучение требований при выборе участка под полевой опыт и методов оценки участка для проведения опыта.

**Задачи семинара:** формирование первоначальных навыков, умений подготовки для проведения опытов научного исследования и познавательного интереса к агрономии.

С помощью рекомендуемой литературы, освоив основные особенности и требования при выборе и подготовке земельного участка, попытаться представить себя в роли исследователя.

### *Вопросы, выносимые для обсуждения*

1. Особенности условий проведения полевого опыта.
2. Закономерности территориальной изменчивости плодородия почвы опытных участков.

3. Требования при выборе участка под полевой опыт.
4. Обследование земельного участка под опыт (история участка, рельеф, растительность, местоположение).
5. Выбор почвы под различные культуры.
6. Подготовка участка под опыт.
7. Уравнительные и рекогносцировочные посевы.
8. Составление плана рекогносцировочного посева.
9. Дробный учет урожая при выборе земельного участка под полевой опыт.
10. Паспорт полевого опыта или протокол научного исследования.

*Задание на дом.* Используя знания по предыдущим и текущей темам, составить примерный паспорт полевого опыта.

### *Рекомендуемая литература*

1. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва: Колос, 1985 или переизд. – 2011.
2. Кирюшин, Б.Д. Методика научной агрономии. Ч. 1. Введение в опытное дело и статистическую оценку / Б.Д. Кирюшин. – Москва: МСХА, 2004.
3. Кирюшин, Б.Д. Основы научных исследований в агрономии / Б.Д. Кирюшин, Б.Д. Усманов, И.П. Васильев. – Москва: КолосС, 2009.
4. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха, В.Е. Ещенко. – Москва: Колос, 1996, 1999.

### Практическая работа № 4, 5

#### Тема: **Планирование с.-х. эксперимента**

**Цели:** освоение основных принципов планирования эксперимента, этапов планирования; изучение математических методов, используемых при планировании; приобретение навыков вычисления объема выборки и числа повторений, необходимых для закладки опыта, составления матрицы ПФЭ и схемы однофакторного эксперимента.

**Продолжительность** – 4 часа

### *Общие сведения*

#### ***1. Планирование полевого опыта. Определение объема выборки и числа повторений***

В научно-исследовательской работе, осуществляемой методом полевого эксперимента, выделяют три основных этапа или периода: 1) подготовительный, или **планирование**; 2) проведение полевых опытов, наблюдений и учетов; 3) заключительный, необходимый для анализа полученных результатов, выдачи информации для целевого назначения и более широкой ее проверки.

**Планирование** – это определение проблемы и формулировка задачи исследования, выбор объектов и вариантов, разработка схемы эксперимента, выбор земельного участка и оптимальной структуры полевого опыта.

Планирование исследования включает:

- выбор темы, определение задач, объекта и условий проведения эксперимента;
- анализ истории и современного состояния вопросов, поставленных на изучение;
- выдвижение рабочей гипотезы или нескольких конкурирующих гипотез и их обоснование;
- разработка программы исследований (схемы и методики полевого опыта);
- выбор земельного участка под опыт;
- выбор методов статистического анализа экспериментальных данных.

Вопросы, которые могут составить тему для исследования, должны быть *актуальными* для теории и практики. Тема должна быть четко сформулирована, отражать сущность вопросов, поставленных на изучение, иметь вполне определенную и обоснованную задачу и соответствовать материально-технической базе, где намечают проводить исследование.

После выбора и обоснования задач исследования изучают научную литературу по данным вопросам. В результате анализа данных научной литературы должны быть установлены вопросы:

- достаточно изученные по методике, соответствующей современному уровню и не вызывающие сомнения;
- изученные с применением установленных и несовершенных методов;
- недостаточно изученные;
- совершенно неизученные.

Итогом работы с литературой должно быть *выдвижение рабочей гипотезы*, т.е. научного предположения и тех закономерностей, на которых основывается объяснение ожидаемых в опыте результатов. После выдвижения и обоснования рабочей гипотезы разрабатывают *программу исследований*, в которой указывают:

- схему полевого опыта или нескольких опытов;
- условия проведения исследований;
- элементы методики и план эксперимента;
- технику закладки и проведения опытов;
- сопутствующие наблюдения, их методику и объем работы;
- продолжительность проведения исследований (фактор времени).

При планировании с.-х. эксперимента необходимо выбрать правильное сочетание основных элементов МПО и, в зависимости от цели и задачи, схемы опыта, земельного участка и технических возможностей, установить:

- а) более рациональное направление, форму и площадь делянок;
- б) число повторений;
- в) систему расположения повторений, вариантов, делянок.

При ориентации делянок необходимо помнить, что делянки нужно располагать длинной стороной в том направлении, в каком сильнее изменяются неизучаемые условия жизни растений (плодородие почвы, лесополосы, направление господствующих ветров, система орошения, изгородь, дорога и т.д.). В случае варьирования условий в 2-х взаимно перпендикулярных направлениях – использовать метод латинского квадрата или прямоугольника.

Важным требованием при разработке программы исследований является определение оптимального количества повторностей, объема выборки, и в целом, объема работ, рассчитанного на получение необходимой, достоверной и достаточно надежной информации, а также на число исполнителей. Для этого уже на этом этапе следует использовать статистические методы.

### *Статистические методы, используемые при планировании*

Повторность опыта на территории зависит от изменчивости почвенного плодородия и планируемой ошибки опыта. Пестрота плодородия опытного участка определяется глазомерно или по данным дробного учета (рекогносцировочные посевы) с применением формулы

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (4.1)$$

где  $S$  – стандартное или среднее квадратическое отклонение,

$x_i$  – отдельные значения наблюдений,

$\bar{x}$  – средняя арифметическая,

$n$  – число наблюдений.

Величина ошибки зависит от масштаба различий, которые предполагается получить. Чем больше предполагаемый эффект, тем больше может быть ошибка и, наоборот. В полевом опыте принято, что **наименьшая существенная разность (НСР)** должна быть не более трех ошибок опыта ( $3 S_x$ ), отсюда ошибка:

$$S_x = \frac{НСР}{3} \quad (4.2)$$

Например, если предполагаемый эффект от внедрения нового сорта по сравнению со стандартом составляет 1,0 т/га, то ошибка опыта должна быть не более 0,33 т/га (1,0: 3), если же минимальный эффект составляет 0,3 т/га, то опыт должен быть с ошибкой в пределах 0,1 т/га.

Величина ошибки зависит от тщательности соблюдения основных принципов планирования («правило 3R»): 1) *replicate* – повторять (англ.); 2) *randomize* – рендомизировать, тянуть жребий; 3) *request help* – обращаться за помощью, консультироваться или в русской версии – РПК – *рендомизации, повторения и консультации*.

Ошибка позволяет установить точность опыта и достоверность выводов. Она закономерна для выборочной совокупности, так как выборка в условиях

изменчивой среды никогда не отражает полностью всю генеральную совокупность.

При наличии данных о пестроте почвенного плодородия на участке, выделенном под полевой опыт, и планируемой ошибки, повторность рассчитывают по формуле

$$n = \left( \frac{S}{S_{\bar{x}}} \right)^2, \quad (4.3)$$

где  $n$  – число повторностей,

Если величина ошибки планируется в процентах, то и изменчивость признака тоже нужно выразить через относительный показатель – коэффициент вариации признака ( $V$ ):

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100. \quad (4.4)$$

Тогда число повторностей

$$n = \left( \frac{V}{S_{\bar{x}} \%} \right)^2, \quad (4.5)$$

где  $S_{\bar{x}} \%$  – относительная ошибка средней.

При планировании наблюдений необходимо установить и оптимальный объем выборки. Основная задача выборочного метода исследований – при минимальном, но достаточном объеме выборки из всей совокупности данных получить максимально полную информацию. При слишком маленьком объеме выборки снижаются достоверность и точность опытов, при слишком большом — увеличиваются объем исследований и соответственно число ошибок. Объем выборки ( $n$ ) оптимизируют, т.е. определяют число наблюдений, при котором можно получить статистически достоверные результаты на определенном уровне доверительной вероятности.

Чтобы определить объем выборки необходимо знать вариабельность признака ( $S$  или  $V$ ) и запланировать величину ошибки ( $S_{\bar{x}}$ ,  $S_{\bar{x}} \%$ ), которая должна быть в 2-3 раза меньше предполагаемых различий между сравниваемыми совокупностями:

$$n = \frac{t^2 S^2}{S_{\bar{x}}^2} \quad \text{или} \quad n = \frac{t^2 V^2}{S_{\bar{x}}^2 \%} \quad (4.6, 4.7)$$

где  $t$  – значение критерия Стьюдента, которое определяется по таблице приложений 2, при степени свободы  $v = n-1$  ( $n$  – фактический объем выборки или число повторений) и установленном уровне вероятности (95 или 99%).

При отсутствии таблицы критических значений Стьюдента (например, в поле) приближенное значение критерия  $t_{05}$  можно найти по простой формуле:

$t_{05} = 2 + n / v$ , где  $n$  – число повторений;  $v = n-1$  – число степеней свободы.

Для выборок объемом от 50 и более ( $n \geq 50$ ) можно использовать округленное значение критерия Стьюдента:  $t_{05} \approx 2,0$  и  $t_{01} \approx 2,6 \approx 3$ .

Отсюда, рабочие формулы для вычисления объема выборки:

$$\dots\dots\dots n_{05} = \frac{4S^2}{S_x^2} \quad \text{и} \quad n_{01} = \frac{9S^2}{S_x^2} \dots\dots\dots (4.8, 4.9)$$

или аналогично с относительными показателями:

$$\text{для количественной изменчивости:} \quad n_{05} = \frac{4V^2}{S_x^2\%} \quad \text{и} \quad n_{01} = \frac{9V^2}{S_x^2\%} \dots\dots\dots (4.10, 4.11)$$

$$\text{для качественной изменчивости:} \quad n_{05} = \frac{4pq}{S_x^2\%} \quad (4.12) \quad \text{и} \quad n_{01} = \frac{9pq}{S_p^2} \quad (4.13)$$

где  $p, q$  – доли признака,  $S_p$  – ошибка доли.

Если стандартное отклонение ( $S$ ) неизвестно, то по предварительным данным устанавливают размах варьирования ( $R$ ) и с помощью коэффициентов Пирсона или Снедекора и Кохрана определяют  $S$ :

$$1) R = x_{\max} - x_{\min}$$

$$2) S = R/K, \text{ где } K \text{ – коэффициент Снедекора;}$$

или  $S = R \cdot k$ , где  $k$  – коэффициент Пирсона (приложение 3).

При объеме выборки в предварительных исследованиях равном 5, 10, 25, 100, можно определить приблизительное значение  $S$  путем деления размаха варьирования на 2, 3, 4 и 5 соответственно.

*Например:* определить объем выборки для 5% уровня значимости, если предполагаемый эффект ( $НСП_{05}$ ) составляет ориентировочно 12-15 %. По предварительным данным получены следующие результаты (масса клубней картофеля, г): 102, 87, 104, 74, 64.

Так как  $НСП_{05}$  дана в процентах, то вычисление объема выборки будем вести в относительных единицах, используя формулу 4.10. Исходя из того, что наименьшая существенная разность равна примерно утроенной ошибке среднего, вычислим  $S_{\bar{x}}\%$ :

$$S_{\bar{x}}\% = НСП_{05} : 3 = 12 : 3 = 4\%.$$

Значение  $S$  находим с помощью размаха варьирования  $R$  по отношению:

$$S = R/2, \text{ где } R = x_{\max} - x_{\min} = 104 - 64 = 40 \text{ (г); } S = 40/2 = 20 \text{ (г).}$$

Чтобы определить коэффициент вариации необходимо вычислить среднюю арифметическую  $\bar{x}$ , она равна:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{102 + 87 + 104 + 74 + 64}{5} = 86,2 \text{ г,}$$

тогда

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{20}{86,2} \times 100 = 23,2\%$$

Подставляя вычисленные значения в формулу 4.10, получим:

$$n_{05} = \frac{4V^2}{S_x^2 \%} = \frac{4 \times 23,2^2}{4^2} = 134,6 \approx 135 \text{ шт.}$$

Вывод: При НСР<sub>05</sub> = 12 % объем выборки должен составить 135 клубней.

*Задание 1.* Используя приведенные выше формулы, вычислить число повторений и объем выборки по индивидуальному заданию, полученному у преподавателя, и сделать соответствующий вывод.

## **II. Составление схемы опыта. Разработка программы исследований в полевом опыте**

Главными составляющими **программы исследования** являются: 1) схема эксперимента – совокупность всех вариантов опыта согласно установленной последовательности, 2) основные элементы методики и техники эксперимента, 3) наблюдения и учеты.

При составлении схемы опыта необходимо:

**1.** Соблюдать принцип единственного различия (для многофакторного опыта – принцип факторности).

Принцип единственного различия означает, что все условия эксперимента для всех вариантов должны быть одинаковыми, различаться должны только варианты между собой.

Принцип факторности относится к случаям построения многофакторных опытов. Схема опыта, построенная с соблюдением этого принципа, включает все возможные сочетания изучаемых факторов и позволяет установить эффективность каждого фактора в отдельности и во взаимодействии.

**2.** Правильно выбрать контрольный вариант и определить общие, не изучаемые условия эксперимента (фон).

**3.** Установить оптимальное число градаций изучаемого фактора (в однофакторном опыте) или нескольких факторов (в многофакторном опыте) и интервал варьирования между ними. При этом на основании выдвинутой рабочей гипотезы необходимо определить центр эксперимента, т.е. ту градацию фактора, при которой следует ожидать наибольшее значение результативного признака. При уменьшении или увеличении количества (напряженности) фактора от его основного уровня (центра эксперимента) величина результативного признака уменьшается.

Варианты в схеме однофакторного опыта располагают в определенной последовательности и обозначают (кодируют) буквами. На первом месте обычно ставят контрольный вариант. Последующие варианты пишут в порядке возрастания градаций фактора.

Например, в опыте с удобрениями:

1. без удобрений, контроль  $a_0$ ,
2.  $N_{60}$ ,  $a_1$ ,
3.  $N_{90}$ ,  $a_2$ ,
4.  $N_{120}$ ,  $a_3$ ,

5.  $N_{150}, a_4$ .

Если варианты в схеме однофакторного опыта различаются качественно (опыты по сортоиспытанию, оценка разных предшественников, видов удобрений, гербицидов и т.д.), то их, как правило, обозначают заглавными буквами: А, В, С, D и т.д.

В схеме многофакторного опыта вариантами являются отдельные градации изучаемых факторов, а также все возможные их сочетания. Разработанный по принципу факторности опыт, называют **полным факториальным экспериментом (ПФЭ)**. Он позволяет установить реакцию растений на дозы (градации) каждого фактора в отдельности и на их совместное применение в разных сочетаниях.

В схеме ПФЭ факторы, их градации и сочетания располагают в определенной последовательности. При кодировании заглавными буквами обозначают факторы  $A, B, C, Z$ , а строчными с индексами – их градации и сочетания  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n; b_0, b_1, b_2, \dots, b_n; a_0b_0, a_1b_1, a_2b_2, \dots, a_nb_n$ .

Схема ПФЭ, представленная в виде таблицы последовательного расположения закодированных факторов, их градаций и сочетаний, называется **матрицей планирования** (таблица 4.1, 4.2).

Таблица 4.1 – Матрица планирования ПФЭ 2х3

Вариант	Фактор		Обозначение (код) вариантов
	A	B	
1	$a_0$	$b_0$	$a_0b_0$
2	$a_0$	$b_1$	$a_0b_1$
3	$a_0$	$b_2$	$a_0b_2$
4	$a_1$	$b_0$	$a_1b_0$
5	$a_1$	$b_1$	$a_1b_1$
6	$a_1$	$b_2$	$a_1b_2$

Таблица 4.2 – Матрица планирования в трехфакторной схеме

Варианты	Факторы			Обозначение вариантов
	A	B	C	

Матрицу можно представить и в виде веерной схемы (рисунок 4.1).

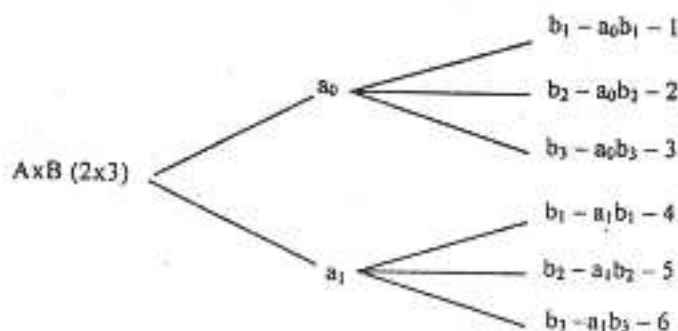


Рисунок 4.1 – Веерная схема ПФЭ 2х3

После составления схемы опыта приступают к размещению опытных делянок на плане. Опыт необходимо разместить так, чтобы соблюсти все основные требования, предъявляемые к опытам, а все элементы опыта должны иметь оптимальные значения. Поэтому, учитывая рекомендации методики полевого опыта, приведенные в предыдущих работах, следует рассчитать все элементы для конкретного опыта, обязательно учитывая сопутствующие условия (фон) и технику, используемую для механизации работ в опыте. Например, в опытах с зерновыми культурами механизацию всех работ в опыте можно обеспечить при общей площади опытной делянки около  $200 \text{ м}^2$ . Для уборки урожая комбайном СК-5 берут ширину учетной части делянки, равной ширине захвата жатки комбайна – 4,1 м.

С учетом боковых защитных полос общая ширина делянки будет несколько больше. Для этого нужно засеять за два прохода сеялки СЗ-3,6 ширину делянки  $3,6 \times 2 = 7,2 \text{ м}$  (рисунок 4.2).

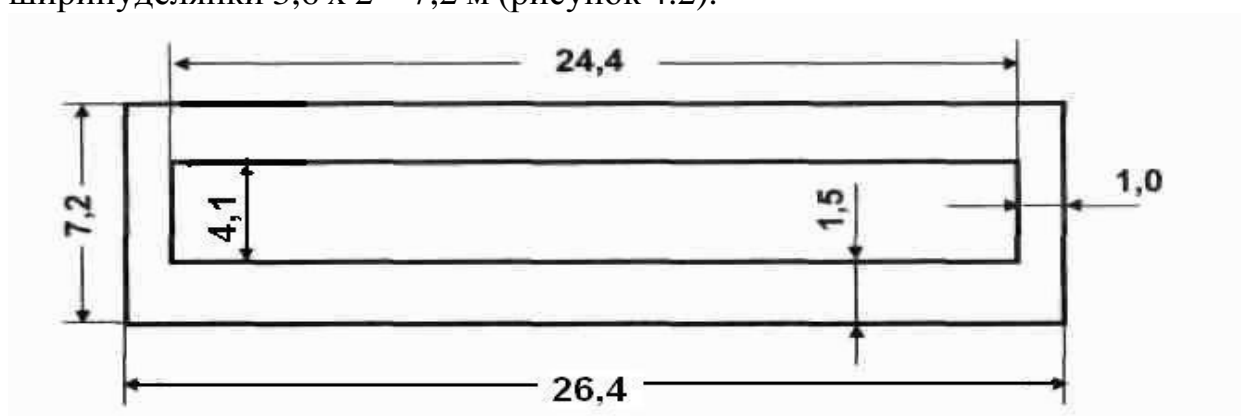


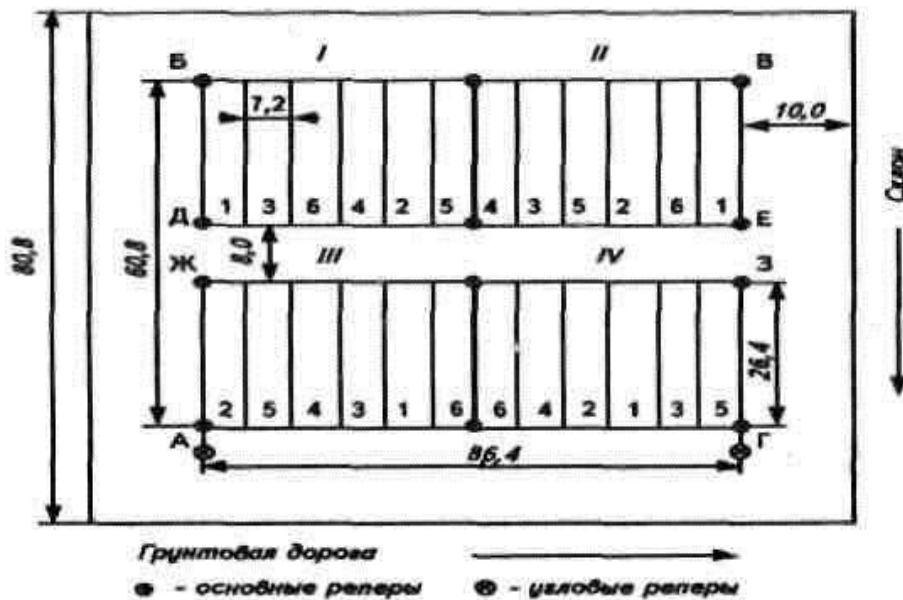
Рисунок 4.2 – Размер (в м) и форма опытной делянки. Общая площадь делянки  $190 \text{ м}^2$ , площадь учетной части  $100 \text{ м}^2$

Разность между шириной общей и учетной части делянки составит  $7,2 - 4,1 = 3,1 \text{ м}$ . Каждая боковая защитная полоса будет иметь ширину  $3,1 : 2 = 1,55 \text{ м}$ , что достаточно для опыта, к примеру, с дозами удобрений или сроками посева. На концевые защитные полосы выделим по 1 м. Если учетная площадь составляет  $100 \text{ м}^2$ , то ее длина будет равна  $100 : 4,1 = 24,4 \text{ м}$ , а общая длина делянки составит  $24,4 + 1 + 1 = 26,4 \text{ м}$ . Форма делянки при этом будет прямоугольной, так как соотношение сторон  $24,4 : 4,1 \approx 6 : 1$ .

Для всего опыта целесообразно подобрать участок, форма которого близка к квадрату, что будет способствовать уменьшению влияния систематического варьирования почвенного плодородия.

Поэтому часто опыт располагают в несколько ярусов. Между ярусами следует оставлять защитную полосу для разворота сельскохозяйственных машин расстоянием 5,0-8,0 м. Со всех сторон опыт окружают окаймляющей защитной шириной 5-10 м (обсев) для создания микроклимата типичного для выращивания изучаемой культуры.

Намеченное расположение опыта наносят на схематический план с типичным указанием размеров всего опыта, повторений, делянок (рисунок 4.3).



$$S_{\text{уч.}} = 0,86 \text{ га}$$

Рисунок 4.3 – Схематический план опыта с изучением сроков посева озимой пшеницы

Под рисунком указывают общую площадь опытного участка в гектарах. Следующим этапом разработки программы исследований является планирование наблюдений и учетов. Важно правильно выбрать однократные и периодические количественные и качественные наблюдения за растениями и условиями внешней среды. Чтобы получить надежные данные, экспериментатор должен решить следующие вопросы:

- какие наблюдения, анализы и учеты включить в программу;
- в какие сроки, и с какой частотой их проводить;
- определить оптимальный объем выборок (проб);
- обеспечить представительность отбираемых выборок (проб).

Наиболее распространенной ошибкой является включение в программу исследования случайного набора наблюдений и учетов без заранее намеченных целей и технических возможностей. *Целенаправленность* – важнейшее требование к любому наблюдению, сопутствующему полевому опыту. Небольшое число продуманных и целеустремленных наблюдений гораздо ценнее, чем груды случайно выбранных, шаблонных описаний фаз развития, измерения высоты и других, очень трудоемких, но впоследствии обычно не используемых.

Сроки наблюдений и отбора образцов приурочивают к фенологическим фазам развития растений или проводят наблюдения через одинаковые промежутки времени – раз в декаду, раз в месяц или каждые 2-3-5 дней. Сроки и частоту наблюдений устанавливают в каждом конкретном опыте индивидуально.

При проведении полевых опытов возникает необходимость отбора образцов (проб), число которых должно быть таким, чтобы обеспечить достаточную точность учетов и наблюдений. В опытах с полевыми культурами Б.А. Доспехов (1985, 2011) рекомендует отбирать 6-8 проб на делянке площадью не менее 100 м<sup>2</sup>, 8-10 проб на делянке площадью 100-200 м<sup>2</sup> и 15-20 проб на делянке площадью более 200 м<sup>2</sup>.

*Задание 2.* На основании рассмотренных требований и рекомендаций составить матрицу ПФЭ или схему 1-факторного опыта по индивидуальному заданию.

*Для составления матрицы ПФЭ необходимо:*

1. Выбрать контроль ( $S_t$ ).
2. Определить число факторов, градаций каждого фактора, число возможных вариантов и количество повторений.
3. Составить матрицу ПФЭ в виде таблицы кодированных переменных или в виде веерной схемы (таблица 4.1, 4.2, рисунок 4.1).
4. Выбрать оптимальный метод размещения вариантов в повторении.
5. Выписать элементы МПО, которые использованы при составлении схемы, сделать выводы.

*Задание 3 (проектное).* Провести поэтапное планирование эксперимента в соответствии с индивидуальным заданием. Подготовить проектное задание к защите.

*Порядок выполнения задания*

1. Получить или согласовать (при самостоятельном выборе) задание у преподавателя.
2. Ознакомиться с условиями и сделать краткую запись в тетрадь.
3. Провести поэтапное планирование полевого опыта:
  - 3.1 Сформулировать тему исследования.
  - 3.2 Обозначить объект исследования (культура, сорта, нормы и т.д.).
  - 3.3 Четко сформулировать задачи полевого опыта.
  - 3.4 Дать характеристику земельному участку под опыт (его расположение, и выравненность по плодородию почвы, размеры, предшественник). Принять во внимание условия, предусмотренные в таблице 4.3.
4. Выдвинуть рабочую гипотезу (что предполагается проверить полевым опытом?).
5. Разработать программу исследования.
  - 5.1 Выбрать  $S_t$  (контроль), составить схему опыта.
  - 5.2 Подобрать оптимальное сочетание элементов методики полевого опыта:
    - 5.2.1 Число вариантов (устанавливают из схемы опыта).
    - 5.2.2 Повторность опыта на территории. Число повторений обосновать расчетом, используя:
      - а) коэффициент вариации (или стандартное отклонение) территориальной изменчивости плодородия почвы на опытном поле;
      - б) планируемое минимальное различие между вариантами (НСР) по урожайности или другому изучаемому признаку.

Таблица 4.3 – Характеристика земельных участков под полевые опыты

Номер и вариант задания		Размер земельного участка, м	Характеристика рельефа	Требования к размещению опыта
1		2	3	4
1.	А)	80x185	Уклон 2° с юго-востока на северо-запад и на 2,5° с юго-запада на северо-восток	Обеспечить количественную характеристику пестроты почвенного плодородия в двух направлениях
	Б)	104x110	Односторонний уклон на юго-запад, не более 1,3°	Общие
2.	А)	100x140	Уклон 3° с запада на восток	Обеспечить повышение точности информации об эффективности способов применения навоза и минеральных удобрений
	Б)	80x160	Рельеф ровный	Повторность меньше числа вариантов в два раза
3.	А)	80x80	Рельеф ровный	Получить более точную информацию о существенности различий между сортообразцами
	Б)	60x100	Односторонний уклон на юго-запад, не более 1,3°	Обеспечить количественную характеристику пестроты почвенного плодородия в одном направлении
4.	А)	60x115	Рельеф ровный	Общие
	Б)	120x50	Уклон 0,5° на юг	Обеспечить более точную информацию об эффективности действия гербицидов
5.	А)	62x65 и 65x104	Рельеф ровный	Опыт разместить на двух участках
	Б)	115x128	Уклон 0,5° на восток	Обеспечить более точную информацию об эффективности глубины зяблевой вспашки под ячмень
6.	А)	125x100	Уклон 1,5° с севера на юг	Повторность в два раза меньше числа вариантов

Окончание таблицы 4.3				
1		2	3	4
7.	А)	92x101	Уклон до 1° с запада на восток	Получить более точную информацию об эффективности способов углубления пахотного слоя
	Б)	60x70	Уклон до 1° с севера на юг	Общие
8.	А)	85x93	Рельеф ровный	Получить более точную информацию о существенности различий между сортообразцами
	Б)	64x50 и 70x60	Рельеф ровный	Опыт разместить на двух участках
9.	А)	86x104	Уклон 1,5° с севера на юг	Обеспечить повышение точности определения эффективности влияния удобрений
	Б)	110x185	Рельеф ровный	Общие
10.	А)	80x40	Рельеф ровный	Общие
	Б)	75x55	Односторонний уклон на юг, не более 1,3°	Получить более точную информацию о существенности различий между сортообразцами
11.		210x272	Односторонний уклон не более 0,8° на восток	Предусмотреть повышение точности определения эффективности способов обработки

### 5.2.3 Общее число делянок.

5.2.4 Площадь и размеры учетной делянки и всей опытной делянки (учесть культуру, способ ее посева, размер междурядья):

а) ширина учетной делянки подбирается, учитывая ширину захвата сельскохозяйственных машин и орудий, ширину захвата агрегатов, планируемых для работы на опыте, пестроту почвенного плодородия и др.;

б) длина учетной делянки;

в) форма делянки;

г) ширина опытной делянки (с учетом ширины боковой защитки у делянки (боковая защитка должна быть с двух сторон учетной части делянки, но иногда она отсутствует);

д) длина опытной делянки (с учетом концевой защитки);

е) площадь опытной делянки общая \_\_\_ м<sup>2</sup>, учетная \_\_\_ м<sup>2</sup>.

5.2.5 Система расположения делянок, вариантов и повторений на схематическом плане опыта и в поле. Варианты разместить одним из рендомизированных методов.

### 5.3 Нарисовать схематический план размещения полевого опыта.

5.3.1 Указать все размеры: длину, ширину опытной делянки и ее учетной части, длину и ширину всего участка, дорог, номера делянок, вариантов и повторений. Делянки располагать, учитывая рельеф и другие условия, предусмотренные в таблице 4.3.

5.3.2 Под рисунком указать общую площадь участка в гектарах и подписать рисунок.

6. Запланировать наблюдения и учеты, которые позволят решить поставленные задачи.

### *Индивидуальные задания для самостоятельной работы*

#### **№1**

1. Определить число повторностей в опыте по изучению урожайности озимой пшеницы, если  $S = 0,2 \text{ т/га}$ ,  $S_{\bar{x}} = 0,09 \text{ т/га}$ .
2. Составить матрицу планирования опыта по изучению влияния отзывчивости озимой пшеницы на различные уровни питания (ПФЭ 2<sup>3</sup>). В качестве контроля – рекомендуемое сочетание NPK для озимой пшеницы в условиях Зерноградского района.
3. Изучить отзывчивость озимой пшеницы Зерноградка 11 на 5-ти уровнях питания (без удобрений,  $N_{60}$ ,  $N_{90}$ ,  $N_{120}$ ,  $N_{150}$ ,) при одинаковом фоне питания  $P_{90}K_{60}$ . Составить схему опыта и разработать программу исследований.

#### **№2**

1. Вычислить число повторностей, если варьирование урожайности ячменя сорта Виконт составляет  $V = 8 \%$ , а запланированная ошибка опыта  $S_{\bar{x}} \% = 4 \%$ .
2. Составить матрицу ПФЭ 3x5 в кодированных переменных.
3. Запланировать эксперимент по изучению эффективности применения навоза и минеральных удобрений при основной обработке почвы под ячмень. Контрольный вариант — без удобрений.

#### **№3**

1. Определить размер выборки при  $S = 10 \text{ см}$ ,  $S_{\bar{x}} = 1,2 \text{ см}$  при 5 % уровне значимости в опыте по изучению высоты растений сорго зернового.
2. Составить матрицу планирования опыта по моделированию интенсивного окультуривания солонцовых почв. Опыт – трехфакторный ПФЭ 2x4x2. Фактор А – основная обработка почвы (2 градации), В – внесение удобрений (4 градации), С – гипсование (2 градации).
3. Провести планирование сортоиспытания зернового сорго: St – Зерноградское 53, Жемчуг, SPV – 475, М – 60317, М – 60374, М – 60943, К – 3010, СПЗС-11, Зерноградское 88.

#### **№4**

1. Определить размер выборки на 5 % уровне значимости, если  $S_{\bar{x}} \% = 5 \%$ , а  $V \%$  засоренности на  $1 \text{ м}^2 = 16 \%$ .
2. Составить матрицу планирования опыта по изучению влияния сроков посева и фосфорно-калийных удобрений ( $P_{45}K_{30}$ ,  $P_{45}K_{60}$ ,  $P_{90}K_{30}$  и  $P_{90}K_{60}$ ) на пораженность растений кукурузы пузырчатой головней.

3. Разработать схему опыта по эффективности гербицидов (4 градации) в борьбе с двудольными сорными растениями на посевах озимых культур. В качестве контроля использовать вариант без обработки.

## №5

1. Определить размер выборки на 5 и 1 % уровне значимости при изучении высоты растений ячменя, если  $S\bar{x} = 2$  см, а  $S = 5$  см.
2. Составить матрицу ПФЭ  $3^3$ .
3. Запланировать эксперимент по установлению эффективной глубины зяблевой вспашки после кукурузы под ячмень на черноземах обыкновенных карбонатных тяжелосуглинистых. Общее число вариантов – шесть. За контрольный вариант принять рекомендуемую в условиях Ростовской области глубину зяблевой вспашки под ранние зерновые культуры.

## №6

1. Определить число повторностей в опыте по испытанию сортов озимой твердой пшеницы, если в предварительном эксперименте  $S\bar{x} = 0,2$  т/га, а  $S = 0,49$  т/га.
2. Составить матрицу планирования опыта по агротехнической оценке совмещения обработки почвы и нормы высева озимой твердой пшеницы в двухфакторном опыте ПФЭ  $3 \times 4$ : фактор А – обработка почвы, В – нормы высева.
3. Составить схему опыта по изучению влияния ходовых систем тракторов на уплотнение почвы и процессы ее естественного разуплотнения (5 градаций).

## №7

1. Определить размер выборки на 1 % уровне значимости при изучении продуктивности гороха, если  $V = 20\%$ , а  $S\bar{x} \% = 5\%$ .
2. Составить матрицу планирования опыта по влиянию дифференцированных доз удобрений на урожайность озимой пшеницы. А – условия возделывания (2 градации). В – удобрения (3 градации).
3. Провести планирование опыта по установлению влияния способов углубления пахотного слоя обыкновенных черноземов Ростовской области и внесению фосфорных удобрений на урожай гороха. За контрольный вариант принять рекомендуемый в указанных условиях способ углубления пахотного слоя без внесения удобрений.

## №8

1. Определить число повторностей в опыте по сортоиспытанию риса, если предполагаемая  $НСР_{05} = 1,35$  т/га. По предварительным данным получена средняя урожайность сортов: 7,4; 6,9; 5,8; 8,0; 7,6 т/га.
2. Составить матрицу планирования опыта по влиянию удобрений, норм высева, сроков посева на урожай озимого ячменя. Трехфакторный опыт ПФЭ  $3^3$ .
3. Составить план опыта по сортоиспытанию риса, (число опытных вариантов 15). Разработать программу исследований.

## №9

1. Определить число вариантов, число повторностей и общее число делянок в полевом опыте по установлению действия известкования и различных доз удобрений на пораженность клубней картофеля обыкновенной паршой, если по предварительным исследованиям установлено, что  $S = 16,1 \%$ ,  $S_x = 7,72 \%$ .
2. Составить матрицу планирования опыта по изучению прибавки урожая картофеля от фосфора при различной обеспеченности азота. Фактор А – дозы азота: 0, 80, 160, 240, 320 кг д.в./га, фактор В – дозы фосфора: 60, 120, 180, 240 кг д.в./га.
3. Запланировать эксперимент по изучению влияния фосфорных удобрений при различной обеспеченности азота на прибавку урожая картофеля в 2-х факторном опыте. Градации факторов – в предыдущем задании.

## №10

1. Определить число повторностей в опыте по изучению продуктивности льна масличного, если предполагаемый эффект составит 20 %. По предварительным данным получена средняя урожайность (т/га): 0,24; 0,29; 0,38; 0,30; 0,26, 0,32; 0,24; 0,39; 0,38; 0,25. Для вычисления стандартного отклонения использовать коэффициент Пирсона  $k$ .
2. Составить матрицу планирования опыта  $4^3$ .
3. Провести планирование эксперимента для сравнительной оценки сортов льна масличного, выращиваемых в условиях зерноградского района Ростовской области. В качестве стандарта взять сорт ВНИИМК 630.

## №11

1. Определить число повторностей в опыте по изучению прибавки урожая сахарной свеклы, если  $S_{\bar{x}} \% = 7 \%$ , а  $V = 12,1 \%$ .
2. Составить матрицу планирования опыта ПФЭ  $3 \times 4 \times 3$ .
3. Запланировать эксперимент по изучению влияния различных систем обработки тяжелосуглинистого чернозема обыкновенного на урожай сахарной свеклы. За контрольный вариант принять лущение на 6-8 см и вспашку на 28-30 см.

*Контрольные вопросы*

1. Этапы научного исследования.
2. Понятие планирования опыта.
3. Основные этапы планирования научных исследований.
4. Как правильно сформулировать тему исследований?
2. Что понимают под программой исследований? Что она включает?
3. Особенности ориентации делянок на территории опытного участка.
4. Каковы основные принципы планирования?
5. Как установить повторность в полевом опыте? Показать расчеты.
6. От чего зависит величина ошибки?
7. Как определить объем выборки? От чего он зависит?
8. Каковы требования при составлении схем однофакторного опыта?

9. Каковы требования при составлении многофакторного опыта? Понятие факторности.
10. Что такое ПФЭ и его матрица?
11. Что следует учитывать при подборе оптимального сочетания элементов МПО?
12. Принципы планирования наблюдений и анализов в полевом опыте.

### Практическая работа № 6

#### Тема: **Разбивка участка и закладка полевого опыта** (выездное занятие)

**Цель:** Освоение техники закладки эксперимента и приобретение навыков разбивки участка под опыт.

**Место проведения занятия:** учебно-опытное фермерское хозяйство института.

**Продолжительность:** 2 часа

*Подготовительный этап:* используя рекомендуемую литературу, изучить основные этапы закладки и проведения различных опытов, технику этих операций в полевом опыте; познакомиться с полевыми работами на опытном участке и усвоить требования к ним.

*Задание 1.* Произвести разбивку участка под посев озимой пшеницы (поздний срок) по заранее составленному плану.

*Задание 2.* Подготовиться к устному опросу по данной теме на следующем занятии.

#### *Рекомендуемая литература*

1. Лекция № 4 на тему «Техника закладки и проведения опытов».
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва: Колос, 1985, переизд. 2011.
3. Кирюшин, Б.Д. Основы научных исследований в агрономии / Б.Д. Кирюшин, Б.Д. Усманов, И.П. Васильев. – Москва: КолосС, 2009.
4. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха, В.Е. Ещенко. – Москва: Колос, 1996, 1999.

#### *Контрольные вопросы*

1. Каковы этапы закладки лабораторного опыта? Вегетационного? Лизиметрического? Что общего и чем они отличаются?
2. Этапы закладки полевого опыта. В чем особенность этого опыта?
3. Каковы важнейшие правила экспериментатора?
4. Когда и как проводят разбивку участка под опыт? Что для этого нужно?
5. Какие полевые работы осуществляются после разбивки участка?
6. Каковы правила обработки почвы? Внесения удобрений?

7. Что включает в себя уход за посевом?
8. Каковы основные требования при уборке урожая?
9. Как подготовить опыт к уборке? Что такое выключка?
10. Способы и сроки уборки. Требования к способам уборки.
11. Методы учёта урожая.

Практическая работа № 7  
Тема: **Методика наблюдений и учетов**

**Цель:** Изучение и освоение методик различных наблюдений и учетов, проводимых во время агрономических исследований.

**Продолжительность:** 2 часа

**Форма проведения:** рекомендуется каждому студенту подготовить доклад в виде презентации по одной из заранее выбранных тем; тему согласовать с преподавателем.

*Примерные темы для обсуждения*

1. Метеорологические наблюдения.
2. Фенологические наблюдения.
3. Изучение физических свойств почвы.
4. Определение агрохимических показателей почвенной среды.
5. Учет засоренности посевов и почвы.
6. Оценка посевов и учет биометрических показателей.
7. Фитопатологические учеты на посевах различных культур.
8. Энтомологические учеты на посевах различных культур.
9. Изучение корневой системы.
10. Анализ сноповых образцов.
11. Анализ зерна и семян.
12. Учет урожая.
13. Лабораторный анализ химико-технологических показателей.

*Задание на дом:* Завершить проектное задание по теме «Планирование с.-х. эксперимента» (№ 3, с. 31), путем планирования наблюдений и учетов по конкретному опыту с описанием методик 1–2 наблюдений.

*Рекомендуемая литература*

1. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха, В.Е. Ещенко. – Москва: Колос, 1996.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва: Колос, 1985, переизд. 2011.
3. <http://mse-online.ru/zemledelie/nablyudeniya-i-uchety-v-period-vegetacii-rastenij.html>

## II. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В АГРОНОМИИ

### Практическая работа № 8

Тема: Подготовка материала к математической обработке.

### Группировка и графическое представление данных агрономических исследований

**Цели:** ознакомление с понятиями генеральной и выборочной совокупностей, различными типами изменчивости, способами группировки данных; формирование умений и навыков подготовки экспериментального материала к математической обработке.

**Продолжительность работы:** 2 часа

**Форма проведения:** общегрупповое обсуждение теоретического материала; индивидуальное составление вариационного ряда и построение графика.

#### *Общие сведения*

**Статистические методы** – это средство объяснения результатов исследований и активный инструмент планирования оптимальной схемы и структуры эксперимента.

**Главная задача исследователя** – получение достоверной информации исходных данных об изучаемом явлении, без которой невозможна правильная статистическая обработка. Абсолютная точность расчетов ничего не даст, если исходные данные не надежны.

Обработку данных агрономических исследований проводят в три этапа:

1. *Агрономический анализ* полученных данных. Он заключается в сопоставлении фактической методики проведения опыта с методикой, требуемой условиями и характером исследования и включает: критический обзор данных об урожаях, сопоставление их с результатами полевых наблюдений, анализ методики проведения опыта, а также освобождение первичных данных от описок и других неточностей.

2. *Первичная цифровая обработка* данных включает: 1) пересчет массы зерна с делянки на урожай с 1 га; 2) приведение урожайности к стандартной влажности; 3) составление таблиц урожаев: определение сумм урожаев по вариантам, повторениям и общей суммы урожаев, расчет средних урожаев по вариантам и опыту; 4) «восстановление выпавших данных», если из учета выпала одна или несколько делянок и, следовательно, нарушено сравнение вариантов, путем вычисления наиболее вероятного урожая этих делянок; 5) браковку «сомнительных» данных.

3. *Статистическая оценка результатов исследований.* Надлежащая математическая обработка экспериментальных данных позволяет сделать надежные выводы об объективных свойствах, закономерностях интересующего нас явления.

Но прежде, чем исходный материал подвергнуть математической обработке, его необходимо предварительно подготовить. Обработку варьирующих признаков начинают с группировки данных. Варьирование этих признаков происходит, благодаря основному свойству всего живого: отличаться друг от друга. Это называется **изменчивостью признака**. Варьирующими признаками у растений являются высота, продуктивная кустистость, длина колоса (метелки), количество зерен в колосе (метелке), масса 1000 зерен, урожайность и т.д. Изучение этих признаков ведется не на одном растении, а в совокупности. Различают **генеральную** и **выборочную совокупность**.

*Генеральная* совокупность состоит из качественно однородных представителей вида, разновидности, сорта и т.п., обладающих определенными свойствами, возникающими, примерно в одинаковых условиях внешней среды. Например, семена одной партии сорта, делянка или целое поле, засеянное одним сортом и т.д. Размеры такой совокупности обычно очень велики.

*Часть объектов генеральной совокупности, которая попала на изучение, в исследование, называется выборочной совокупностью или выборкой*, например, 50-100 растений с делянки, 2-3 навески семян из общей партии и т.д. Выборка должна быть *репрезентативной*, т.е. типичной, представлять или характеризовать всю совокупность в целом. А это достигается случайным (*рندомизированным*) отбором и объективным подходом.

*Число элементов в генеральной совокупности и выборке называется их объемом.*

Объем генеральной совокупности обозначается « $N$ », а выборочной – « $n$ ». Выборка, в которой меньше 30 членов называется малой ( $n < 30$ ), а в которой больше 30 – большой ( $n \geq 30$ ).

Различают **количественную** и **качественную изменчивость**.

*Количественной* называют изменчивость, при которой различия между вариантами (отдельными значениями признака) можно измерить или посчитать (масса, урожай, высота, количество зерен в колосе и т.д.).

При *качественной* изменчивости различия выражаются качественными показателями, не поддающимися измерению (вкус, цвет, форма и т.д.).

При подготовке материала к математической обработке способ группировки данных зависит как от характера изменчивости признака, так и от объема выборки.

Для малой выборки при любом характере изменчивости применяется *ранжирование*, т.е., расположение вариантов в строгом порядке по принципу их увеличения или уменьшения.

Например: при измерении высоты растений сорта риса Привольный получены следующие данные: 87,4; 104,5; 101,3; 97,8; 90,2; 93,0; 85,9; 98,3; 95,6; 89,4 см.

Ранжированный ряд выглядит так:

85,9; 87,4; 89,4; 90,2; 93,0; 95,6; 97,8; 98,3; 101,3; 104,5.

Минимальная высота растений – 85,9 см, максимальная – 104,5 см. Эти значения называются *лимитами*,  $\lim (x_{\min}, x_{\max})$ .

Для больших выборок ( $n \geq 30$ ) основным способом группировки является составление вариационного ряда.

**Вариационный ряд** – это двойной ряд чисел, в которых указаны значения варьирующего признака в порядке возрастания или убывания и соответствующие им частоты. Его можно представить в виде непрерывного интервального или безинтервального ряда. Интервальный вариационный ряд дает большую наглядность и разрешимость.

### *Составление интервального вариационного ряда*

Рассмотрим порядок построения вариационного ряда на примере.

*Задание 1.* При изучении сортообразцов сорго сахарного на делянках контрольного питомника (КП) были получены следующие данные урожайности зеленой массы на силос (т/га):

39,6	37,0	35,0	40,6	38,8	38,2	36,0	38,4	37,0	35,8
37,8	40,4	38,8	<u>44,8</u>	<u>31,0</u>	36,2	38,6	41,6	44,0	36,2
37,8	38,8	42,4	34,4	37,2	35,8	37,0	40,0	37,0	38,8
40,6	37,4	39,0	35,2	42,0	36,0	40,4	40,0	37,4	36,4

Сгруппировать данные и построить графическое изображение вариационного ряда.

При составлении вариационного ряда всю выборочную совокупность разбивают на *группы (классы, K)*. Количество вариантов, попавших в каждый класс, называют *частотами (f)*. Сумма частот по всем классам должна равняться объему выборки:  $\Sigma f = n$ . Величина, на которую один класс отличается от другого, называется *межклассовый интервал (i)*.

### *Порядок составления вариационного ряда*

**1.** Найти в приведенных данных лимиты, т.е. максимальное ( $x_{\max}$ ) и минимальное ( $x_{\min}$ ) значения признака и определить размах варьирования (R):

$$\begin{aligned} x_{\max} &= 44,8 \text{ т/га} & R &= x_{\max} - x_{\min} & (8.1) \\ x_{\min} &= 31,0 \text{ т/га} & R &= 44,8 - 31,0 = 13,8 \text{ т/га} \end{aligned}$$

**2.** Выбрать оптимальное число классов ( $k$ ), исходя из объема выборки.

Ориентировочно, число классов равно корню квадратному из общего числа наблюдений:  $K = \sqrt{n}$ .

#### Рекомендуется:

при числе наблюдений	классов
31 – 60	6 – 8
61 – 100	7 – 10
101 – 200	9 – 12

201 и &gt;

12 – 17

В нашем примере  $K = \sqrt{40} \approx 6,32$ .

4. Установить величину межклассового интервала на основании количества классов и размаха варьирования признака:

$$i = \frac{R}{K} = \frac{X_{max} - X_{min}}{K} \quad (8.2)$$

значит,  $i = \frac{13,8}{6,32} = 2,18 \approx 2$  т/га.

Интервал лучше брать целым числом или оканчивающийся на 5 десятых (например, 2,5) чтобы эта величина была удобной для дальнейших расчетов.

4. Составить таблицу и внести в нее нижние границы каждого класса, соблюдая межклассовый интервал (таблица 8.1.).

Таблица 8.1 – Распределение по классам данных урожайности зеленой массы на силос сортообразцов сорго сахарного

Класс (κ)	Способ разности		Частота (f)	Средняя групповая ( $X_i$ )
	«штрих»	«конверт»		
31,0 – 32,9		*	1	32,0
33,0 – 34,9		*	1	34,0
35,0 – 36,9		⊠	9	36,0
37,0 – 38,9		⊠	16	38,0
39,0 – 40,9		⊠	8	40,0
41,0 – 42,9		⊠	3	42,0
43,0 – 44,8		⊠	2	44,0
			$\sum f = 40$	

За начало первого класса берут или минимальное значение (если оно выражено целым числом), или такое значение (в целых числах), чтобы  $X_{min}$  попало примерно в середину класса. Начало следующего класса должно отличаться на величину классового интервала, а конец предыдущего класса – на единицу точности измерения. Другими словами, если значения признака даны в десятых долях, то разница между концом предыдущего и началом последующего классов равна 0,1, если измерения до сотых долей, то – 0,01 (непрерывная количественная изменчивость), а если это дискретные признаки, т.е. значения выражены целыми числами, то эта разница будет равна единице. Конец последнего класса всегда завершается максимальным значением признака.

5. Провести разность исходных данных по классам. Ее можно проводить двумя способами: «штрих» и «конверт», при этом разносить варианты по

классам лучше в порядке их записи, отмечая в соответствующем классе штрихом или точкой в зависимости от выбранного способа.

**6.** Вычислить *среднюю групповую величину* ( $X_i$ ), которая определяется путем сложения нижней границы каждого класса и половины интервала. Так, средней групповой первого класса будет  $31,0 + 1,0 = 32,0$  (т/га), второго класса –  $33,0 + 1,0 = 34,0$  (т/га) и т.д.

**7.** Построить графическое изображение вариационного ряда.

Итоги группировки можно изобразить в виде графика: **гистограммы** – столбиковой диаграммы, соединяющей начало каждого класса и **полигона** – ломаной линии, соединяющей среднегрупповые значения классов.

При выборе масштаба рекомендуется придерживаться «золотого правила графика»: отношение ширины графика к его высоте должно составлять 7 : 5 или 8 : 5. На оси абсцисс откладывают значения нижней границы классов или среднегрупповые, а на оси ординат – частоты (рисунок 8.1).

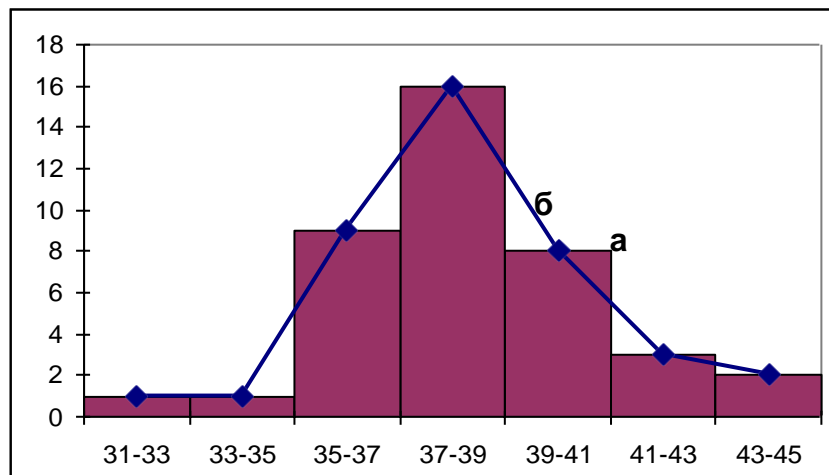


Рисунок 8.1 – Гистограмма (а) и полигон (б) урожайности зеленой массы на силос сортообразцов сорго сахарного

Графическое изображение позволяет наглядно определить закономерности распределения изучаемого признака и судить о характере его изменчивости.

**Задание 2.** Используя правила составления вариационного ряда, самостоятельно сгруппировать данные и построить графическое изображение вариационного ряда по индивидуальному заданию.

### *Индивидуальные задания для самостоятельной работы*

**№1.** У озимой пшеницы сорта Дон 107 масса зерна с одной семьи в питомнике испытания потомства 1-го года составила (в г):

55,0	58,2	58,4	55,8	56,2	64,0	62,4	57,2	60,0	58,8
57,0	59,6	56,0	57,8	58,6	56,2	54,4	55,8	58,8	64,8
60,6	58,8	57,0	60,4	61,6	57,8	58,8	57,0	57,4	51,0

57,4 60,6 59,0 70,3 62,0 60,0 56,0 57,4 56,8 60,4  
59,2 55,6 53,6 65,0 60,2 57,8 58,6 54,0 60,1 57,4

Сгруппировать данные, определить  $i$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

- №2. При обследовании поля сахарной свеклы на заселенность обыкновенным свекловичным долгоносиком в почвенных пробах обнаружено следующее число насекомых (в шт.):

2 1 3 2 3 4 7 3 4 5  
4 3 5 5 7 5 2 2 3 6  
2 2 7 1 2 8 5 4 6 5  
7 4 10 4 5 1 4 5 7 6  
10 7 15 6 8 3 1 7 4 6

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

- №3. При определении поврежденности зерна озимой пшеницы Донская безостая клопом-черепашкой получены следующие показатели (в %):

29,9 13,1 9,4 4,9 3,8 11,8 5,9 15,3 9,8 5,8  
13,6 19,2 3,6 9,5 10,2 14,3 6,7 13,8 15,9 7,4  
10,3 12,9 10,8 10,5 11,0 18,7 21,9 15,4 8,9 23,5  
5,2 19,7 6,3 20,9 5,9 19,0 19,1 16,8 18,7 18,5  
19,8 11,3 35,1 13,6 31,2 4,5 15,3 13,4 13,6 12,8

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

- №4. При обследовании растений гибрида подсолнечника Донской 22 в питомнике испытания на делянках было обнаружено следующее количество растений, пораженных ржавчиной (в шт.):

13 7 30 14 17 15 17 19 24 26  
17 18 15 16 18 17 20 24 23 21  
34 21 18 8 32 20 21 25 20 18  
18 17 20 18 20 12 32 17 21 20  
20 22 16 25 14 17 10 30 18 20

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

- №5. У озимой пшеницы сорта Ростовчанка 5 содержание белка в зерне составило (в %):

14,1 10,8 15,1 9,9 13,6 11,5 11,8 12,9 14,5 13,7  
11,8 9,7 12,8 10,8 11,5 12,7 11,6 11,9 12,4 10,7  
10,5 14,2 11,6 12,6 12,4 14,3 12,4 9,8 12,8 13,7  
13,6 14,4 14,2 11,9 13,8 10,9 10,6 13,9 11,7 12,4  
12,6 15,4 10,8 14,7 12,8 11,9 10,1 14,6 13,6 12,8

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№6. Масса зерна с одного растения озимого ячменя сорта Жигули в МСИ составила (в г):

3,1	2,5	3,4	2,8	4,1	3,1	3,4	3,2	2,9
3,0	2,8	3,2	3,3	3,8	3,2	2,8	3,3	3,3
2,9	3,1	2,8	3,4	3,6	2,9	2,9	3,1	3,2
3,3	3,4	2,7	2,7	3,6	3,0	3,2	3,5	3,4
3,5	3,7	3,1	2,5	3,3	3,0	3,4	3,0	3,1

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№7. У трехлинейного гибрида кукурузы зерноградский 251 МВ число зерен в ряду початка в среднем составило (в шт.):

32	25	42	31	36	32	30	36	38	33
36	28	30	36	35	33	36	35	36	29
32	33	36	34	36	28	34	36	37	30
40	38	37	36	37	34	38	30	34	32
38	36	34	30	33	37	35	32	33	34

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№8. У сорта сахарного сорго Сахарное 5 в питомнике переопыления элитных растений содержание сахара в соке стеблей составило (в %):

14	11	13	15	16	14	15	12	13	12
11	12	14	14	15	15	16	13	15	14
10	14	11	9	14	13	12	12	14	15
11	10	14	12	11	10	12	14	12	15
12	13	9	14	12	15	16	13	12	14

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№9. При анализе колоса озимой пшеницы Танаис длина его в питомнике испытания потомств составила (в см):

8,5	8,2	9,6	9,2	7,5	8,0	9,0	8,4	9,5	9,4
7,0	8,0	8,5	9,4	9,7	9,0	9,0	7,2	8,4	9,2
9,5	7,5	8,5	9,0	8,6	8,6	9,2	9,2	9,0	8,0
9,4	9,0	8,7	9,1	8,0	9,6	8,2	7,9	8,4	9,1
8,6	9,5	9,0	9,1	8,5	9,4	9,7	8,4	7,2	9,0

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№10. У озимой пшеницы сорта Юмпа высота растений в МСИ составила (в см):

65	80	75	75	68	66	67	60	69	70
80	73	85	65	73	68	75	62	67	65
72	75	76	60	69	76	70	75	76	62
75	63	62	62	72	61	70	70	65	59
60	68	64	73	79	68	75	65	64	75

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№11. У озимой тритикале сорта Торнадо в питомнике испытания потомств 1-го года число зерен в колосе составило (в шт.):

30	40	35	30	20	40	32	35	30	38
31	42	37	31	21	41	30	32	21	36
35	36	28	27	24	39	29	30	24	34
20	22	24	29	24	37	26	28	28	36
25	21	25	26	25	33	23	28	31	30

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№12. Количество зерен с растения одной семьи сорта гороха Чишминский 229 в питомнике испытания потомств 2-го года составила (в шт.):

17	29	17	36	24	11	29	12	13	12
24	25	25	30	14	20	22	18	11	16
18	19	19	29	19	26	13	16	12	16
33	19	27	17	21	17	24	15	18	11

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№13. Высота растений подсолнечника сорта Лакомка в опыте по изучению площади питания составила (в см):

164	180	159	163	165	155	170	160	172	174
190	160	155	172	190	165	170	165	188	169
170	188	180	180	173	180	172	182	159	178
180	173	189	191	161	173	158	180	180	172
165	175	181	175	159	168	169	174	186	170

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№14. Масса зерна с одного растения сорта гороха Аксайский усатый 7 в питомнике испытания потомств 2-го года составила (в г):

3,4	3,8	3,9	3,7	3,4	3,3	3,4	3,5	3,0
3,5	4,1	3,5	3,6	3,2	3,7	3,2	3,7	3,2
3,0	3,4	3,3	3,3	3,0	3,2	3,4	4,0	3,5

3,2 3,8 4,2 3,5 3,5 3,6 3,3 4,0 3,5  
 3,6 3,2 3,8 3,2 3,1 3,5 3,6 3,6 3,7

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

№15. Высота растений озимой тритикале сорта Кентавр в питомнике испытания составила (в см):

85 90 88 75 80 80 89 81 75 90  
 90 95 79 82 85 99 85 80 87 90  
 83 80 93 98 93 85 88 99 95 88  
 98 75 80 83 89 94 92 85 86 99  
 95 88 90 79 84 85 88 86 99 90

Сгруппировать данные, определить  $I$ ,  $k$ ,  $X$ . Построить гистограмму и полигон.

### *Контрольные вопросы*

1. Для чего нужны статистические методы? Какова задача исследователя?
2. Этапы обработки данных научных исследований.
3. Что такое изменчивость признака? Типы изменчивости.
4. Что такое генеральная и выборочная совокупность?
5. Понятие варианты, объема выборки. Что такое большая и малая выборки?
6. Как систематизировать данные малой выборки? Пример.
7. Как сгруппировать данные большой выборки?
8. Что такое вариационный ряд?
9. Как определить размах варьирования и оптимальное количество классов?
10. Как определить интервал между классами?
11. Что является нижней (началом) и верхней (концом) границей вариационного ряда?
12. На какую величину отличается конец предыдущего класса и начало следующего?
13. Как посчитать частоту встречаемости вариантов в каждом классе? Способы разности данных.
14. Что такое средняя групповая, как она определяется?
15. Что такое полигон и гистограмма? Что они характеризуют?

### Практическая работа № 9

Тема: **Вычисление статистических показателей выборки при количественной изменчивости признака**

**Цели:** формирование умения вычислять основные статистические показатели количественной изменчивости и приобретение навыка давать характеристику совокупности по полученным результатам.

**Продолжительность работы:** 2 часа

### *Общие сведения*

Основная задача статистической обработки наблюдений является вычисление ряда показателей, характеризующих свойство данной

совокупности в обобщенном виде.

Такие показатели можно представить 3-мя основными группами:

- 1) показатели **уровня ряда** (характеристики положения, центральной тенденции), характеризующие среднее значение признака;
- 2) показатели **изменчивости** (варьирования) признака;
- 3) показатели **ошибки репрезентативности**.

К первой группе относятся: **средняя арифметическая** величина ( $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ) **средневзвешенная** ( $\bar{x}_{взв.}$ ), **средняя геометрическая** ( $G$ ), **гармоническая средняя** ( $H$ ), **мода** ( $Mo$ ), **медиана** ( $Me$ ) и др.

Остановимся пока на первых двух средних.

Простая средняя арифметическая,  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – это среднее значение малой выборки (несгруппированных данных), которая вычисляется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (9.1)$$

где  $x_i$  – отдельные значения признака (варианты);  $n$  – объем выборки.

Среднеарифметическая характеризует всю выборочную совокупность в целом, т.е. является точкой равновесия. Она показывает, какую бы величину признака имели растения данной выборки, если бы эта величина была у всех одинаковой.

Среднеарифметическая обладает двумя важными свойствами:

а) абсолютный центр всех значений (сумма отклонений от  $\bar{x}$ ) равна нулю  $\sum (x_i - \bar{x}) = 0$ ;

б) сумма квадратов отклонений от среднеарифметической минимальна по сравнению с аналогичной суммой отклонений от любого другого числа:

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = \min$$

Среднее значение сгруппированной (большой) выборки называют средневзвешенной арифметической. Это показатель, объединяющий средние значения отдельных групп или нескольких выборок:

где  $X_i$  – групповая средняя (при нескольких выборках – простая среднеарифметическая каждой выборки),

$f$  – частота встречаемости признака в каждой группе.

$$\bar{x} = \frac{\sum f x_i}{n} \quad (9.2)$$

Эту величину можно вычислить и косвенным методом с помощью условной средней:

$$\bar{x} = A + i \frac{\sum f a}{n} \quad (9.3) \quad \text{или} \quad \bar{x} = A + \frac{\sum f X_1}{n} \quad (9.4)$$

где  $A$  – условная средняя;

$i$  – интервал между классами;

$a$  – отклонение от нулевого класса;

$X_1$  – отклонение от условной средней.

За нулевой класс выбирают класс (группу), частота встречаемости вариантов в котором, максимальна. Его еще называют модальным классом, так как в нем находится **мода** – значение признака, наиболее часто встречающееся в совокупности.

За условную среднюю принимают среднюю групповую нулевого класса. К показателям, характеризующим разнообразие (изменчивость) признака, относятся **лимиты** ( $x_{max}, x_{min}$ ), **размах варьирования** ( $R$ ), **дисперсия** ( $S^2$ ) **стандартное** или **среднеквадратическое отклонение** ( $S$ ), **коэффициент изменчивости (вариации) признака** ( $V$ ).

Размах варьирования – самый простой и самый точный способ количественного выражения изменчивости признака. Вычисляется по разности лимитов (формула 8.1). На его основе рассчитывают приблизительную величину стандартного отклонения.

Дисперсия, или средний квадрат отклонений ( $S^2$ ) – сумма квадратов отклонений отдельных значений от средней, деленная на степень свободы.

$$\text{для малой выборки: } S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (9.5)$$

для большой выборки:

$$S^2 = \frac{\sum f (X - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{\sum f X^2 - (\sum f X)^2 : n}{n - 1} = \frac{[\sum f a^2 - (\sum f a : n)^2] \cdot i^2}{n - 1}. \quad (9.6)$$

Основным показателем вариации или рассеяния признака служит стандартное или среднеквадратическое отклонение ( $S$ ). Оно показывает: на сколько признак, присущий данным растениям, отклоняется от средней арифметической в анализируемой совокупности. Вычисляется как корень квадратный из дисперсии:

$$S = \sqrt{S^2}. \quad (9.7)$$

Этот показатель дает представление о наиболее вероятной средней ошибке отдельного единичного наблюдения, взятого из данной совокупности. Его называют еще основным отклонением вариационного ряда.

В пределах одного значения  $\bar{x} \pm 1S$  укладывается 68,3% всех наблюдений генеральной совокупности;  $\bar{x} \pm 2S$  – интервал, соответствующий 95,5% всех вариантов; интервал  $\bar{x} \pm 3S$  характеризует пределы изменчивости признака в генеральной совокупности с вероятностью 99,7%.

Среднеквадратическое отклонение выражается в тех же единицах измерения, что и признак. Поэтому в случае необходимости сравнения изменчивости двух и более разных признаков он будет не удобен.

Для этого служит относительный показатель коэффициент вариации,  $V$ , характеризующий степень изменчивости признака. Он показывает, какой процент от среднеарифметической  $(\bar{x})$  составляет среднеквадратическое отклонение ( $S$ ):  $V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100$ .

С этой формулой мы уже встречались при вычислении числа повторностей и объема выборки:

Изменчивость считается незначительной, если  $V < 10\%$ , средней, если  $10 \leq V \leq 20\%$  и значительной – при  $V > 20\%$ . Максимальная степень изменчивости количественного признака находится в пределах 30%.

К основным показателям ошибки репрезентативности количественных признаков относятся **абсолютная и относительная ошибки средней арифметической (ошибки выборки, опыта)**,  $S_x, S_x \%$ .

Абсолютная ошибка выборочной средней,  $S_{\bar{x}}$  – это мера отклонения средней арифметической выборки  $(\bar{x})$  от средней в генеральной совокупности ( $\mu$ ). Она возникает в результате неполной представительности выборочной совокупности и свойственна только выборочному методу.

Величина ее зависит от степени изменчивости признака и объема выборочной совокупности.

$$\text{Для большой выборки: } S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}} \quad (9.8)$$

$$\text{для малой выборки: } S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n-1}} = \sqrt{\frac{S^2}{n-1}} \quad (9.9)$$

Выражается ошибка в тех же единицах измерения, что и изучаемый признак. Ошибка средней позволяет определить **доверительный интервал** для средней в генеральной совокупности.

Доверительный интервал (ДИ) – это область нахождения отдельных значений признака в определенных пределах с заданной вероятностью.

ДИ для средней арифметической в генеральной совокупности ( $\mu$ ) находится в  $\bar{x} \pm t S_{\bar{x}}$ , где  $t$  – критерий существенности (достоверности) в пределах

на определенном уровне значимости, который находится по таблице приложений 2 при степени свободы  $\nu = n - 1$ .

Ошибка выборки, выраженная в процентах от средней арифметической называется относительной ошибкой выборочной средней,  $S_{\bar{x}} \%$ :

$$S_{\bar{x}} \% = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100. \quad (9.10)$$

Ее часто называют *показателем точности опыта* и считают, что, если:  $S_{\bar{x}} \% < 3$  – точность высокая, при  $S_{\bar{x}} \% = 3 - 5 \%$  – то результаты опыта вполне удовлетворительные, при  $S_{\bar{x}} \% = 5 - 7 \%$  – достоверность опыта допустимая и более 7 % – точность недопустимая, такие опыты нужно выбраковывать.

Однако, эта точка зрения спорная.

*Задание.* Вычислить основные показатели анализируемого признака по индивидуальному заданию и дать ему полную характеристику.

*Порядок выполнения задания*

1. Получить индивидуальное задание у преподавателя и сделать краткую запись условия задания в тетради;
2. Составить рабочую таблицу, в которой:
  - 1) в случае малой выборки ( $n < 30$ ):
    - а) проранжировать значения (в первом столбце);
    - б) определить  $\sum x_i$  и  $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ ;
    - в) найти  $x_i - \bar{x}$  и  $(x_i - \bar{x})^2$  и вычислить  $\sum (x_i - \bar{x})^2$  (во втором и третьем столбцах);
    - г) вычислить основные показатели изменчивости  $S^2$ ,  $S$  по предложенным выше формулам для малой выборки и сделать выводы.
  - 1) в случае большой выборки ( $n \geq 30$ ):
    - а) сгруппировать данные, определить частоту встречаемости ( $f$ ), среднюю групповую варианту ( $X_i$ );
    - б) в зависимости от выбранного способа вычисления средней: рассчитать произведения  $fX_i$ ,  $fX_i^2$  и их суммы  $\sum fX_i$ ,  $\sum fX_i^2$  (для формулы 9.2), или определить нулевой класс и условную среднюю  $A$ , найти отклонения от нулевого класса ( $a$ ), определить произведения  $fa$ ,  $fa^2$  и их суммы  $\sum fa$ ,  $\sum fa^2$  (для формулы 9.3), или найти отклонения от условной средней ( $X_i - A$ ), произведения с ними  $fX_i - A$ ,  $f(X_i - A)^2$  и их суммы  $\sum fX_i - A$ ,  $\sum f(X_i - A)^2$  (для формулы 9.4);
    - в) вычислить  $\bar{x}$  и определить дисперсию ( $S^2$ ) и стандартное отклонение ( $S$ ) по одному из выбранных способов.
3. Определить коэффициент вариации,  $V\%$  и сделать вывод о степени изменчивости признака.
4. Определить абсолютную ошибку выборки  $S_{\bar{x}}$  и указать доверительный интервал ( $ДИ$ ) для средней генеральной совокупности на 95% или 99% уровне вероятности.
6. Определить относительную ошибку опыта  $S_{\bar{x}}\%$  и сделать окончательный вывод о достоверности результатов по данному признаку.

*Индивидуальные задания для самостоятельной работы*

- №1. Определить  $\bar{x}$ ,  $S$ ,  $V$ ,  $S_{\bar{x}}$ ,  $S_{\bar{x}}\%$  в опыте по изучению высоты растений риса по следующим данным,  $x_i$ : 76; 73; 74; 71; 75; 72 (см).  
Установить  $ДИ$  для средней высоты на 95% уровне вероятности ( $t_{0,5} = 2,57$  при  $v = n - 1 = 5$ ).
- №2. Дать характеристику сорту озимого ячменя по урожайности, определив  $\bar{x}$ ,  $S$ ,  $V$ ,  $S_{\bar{x}}$ ,  $S_{\bar{x}}\%$ , при следующих полученных данных в повторениях:

- 5,24; 5,54; 5,23; 5,28; 5,51; 5,49 (т/га). Установить *ДИ* для средней урожайности озимого ячменя на 5% уровне значимости.
- №3. Определить  $\bar{x}$ ,  $R$ ,  $S$ ,  $S \bar{x}$ ,  $S x \%$ , и 95% *ДИ* для средней высоты растений озимой пшеницы, обработанных азотными удобрениями, при  $x_i$ : 105; 108,3; 110,4; 107,2; 109,2; 106,1; 107; 105,3; 109; 102,8 (см).
- №4. В опыте по изучению продуктивности сорта гороха Аксайский 7 подсчитано количество зерен с одного растения: 24, 32, 16, 32, 16, 30, 22, 25, 18, 19 (шт.). Дать характеристику сорту по этому признаку, определив все статистические показатели.
- №5. В опыте по изучению продуктивности сорта гороха Аксайский 7 определена масса зерна с одного растения: 4,4; 5,3; 2,2; 6,0; 2,5; 4,0; 4,0; 3,9; 2,6; 2,8 (г). Дать характеристику сорту по этому признаку, определив все статистические показатели.
- №6. На 10-ти зерновках риса промерена длина: 8,0; 8,4; 8,1; 7,8; 8,4; 9,0; 7,9; 8,5; 8,0; 8,2 (мм) и ширина: 3,4; 3,6; 3,2; 2,8; 3,4; 3,4; 3,6; 3,4; 3,3; 3,0 (мм). Дать характеристику этим признакам. Какой из них более стабилен?
- №7. Высота растений подсолнечника составила: 178, 190, 176, 150, 182, 172, 168, 162, 164, 176 (см). Определить основные статистические показатели и дать характеристику признаку.
- №8. Представлены данные поражения растений сорго бактериозом (%),  $n = 40$ ,  $t_{05} = 2,03$ .  
Определить статистические показатели:  $\bar{x}$ ,  $S$ ,  $V$ ,  $S \bar{x}$ ,  $S x \%$ , *ДИ* на 5 % уровне значимости. Построить гистограмму

Группа, $K$	Частота, $\bar{f}$	Средняя групповая, $X_i$
4,0-9,9	2	7
10,0-15,9	15	13
16,0-21,9	7	19
22,0-27,9	5	25
28,0-33,9	3	31
34,0-39,9	4	37
40,0-45,9	4	43

Таблица №9. Определить  $\bar{x}$ ,  $S$ ,  $V$ ,  $S \bar{x}$ ,  $S x \%$ , и 95% *ДИ* для средней масличности семян льна масличного при  $x_i$ : 43,0; 42,4; 42,9; 42,8; 41,9; 44,2; 43,9; 44,0 (%).

### Контрольные вопросы

1. Какие показатели характеризуют выборочную совокупность при количественной изменчивости?
2. Охарактеризовать среднюю арифметическую и среднюю взвешенную. Как они вычисляются?

3. Какие показатели характеризуют изменчивость признака? Что такое дисперсия, как вычисляется?
4. Стандартное отклонение, его значение, способы вычисления.
5. Почему стандартное отклонение называют основным отклонением вариационного ряда?
6. Коэффициент вариации, его значение, пределы изменчивости.
7. Абсолютная ошибка выборки, значение, способ вычисления.
8. Относительная ошибка выборки, ее значение, способ вычисления.
9. Что такое доверительный интервал и как его определить для  $\mu$ ?

### Практическая работа № 10

#### Тема: **Методы проверки гипотез. Оценка существенности различий между выборками по t-критерию**

**Цели:** изучение и освоение статистических методов проверки гипотез при сравнении двух выборочных совокупностей количественной изменчивости; формирование умений различать сопряженные и не сопряженные выборки; приобретение навыков оценки существенности различий между выборками по вычисленному t-критерию и доверительному интервалу.

**Продолжительность работы:** 2 часа.

#### *Основные положения*

Получив статистическую характеристику каждого из опытных вариантов (выборочных совокупностей) в Государственном сортоиспытании, в селекционных опытах, при изучении элементов сортовой технологии или агроприемов, их необходимо сравнить со стандартом или контролем и оценить с учетом существенности разности при определенном уровне значимости. Сравнение выборочных средних чаще всего проводится путем проверки статистической гипотезы.

Под **статистической гипотезой** понимают научное предположение о тех или иных статистических законах распределения, рассматриваемых случайных величин, которое может быть проверено на основе выборки.

Выдвигая гипотезу, исследователь предполагает возможность ее доказательств, и на этапе сравнительного анализа она называется **нулевой ( $H_0$ )**. Формулируется  $H_0$  так: **между выборочными средними (или фактически-ми и теоретическими наблюдениями) нет существенных различий**, т.е.  $H_0: d = 0$ , где  $d$  – разница между средними выборок.

Задача статистических методов проверки заключается в установлении реального различия между фактическими и ожидаемыми результатами.

Для проверки нулевой гипотезы используют различные методы, основанные на **параметрических и непараметрических критериях**. К параметрическим, основанным на вычислении определенных параметров распределения, относятся  $t$ - и  $F$ -критерии.

При этом предполагается, что распределение признака в совокупности подчиняется нормальному закону (Гаусса).

К непараметрическим, не требующим вычисления оценок неизвестных параметров распределения, относят  $X$ -критерий Ван-дер-Вардена,  $U$ -критерий Вилкоксона,  $T$ -критерий Фридмана,  $Z$ -критерий Вилсона и др. Их используют для оценок ассиметричных рядов

К особым относится  $\chi^2$ -критерий Пирсона, применение которого мы рассмотрим в следующей работе.

Выбор метода зависит от способа размещения вариантов в опыте и характера выборочной совокупности.

При *рандомизированных* методах размещения вариантов для обработки данных используют методы **дисперсионного анализа**, основанного на параметрическом критерии  $F$  (на них мы остановимся более подробно несколько позднее).

Если варианты в опыте размещены *систематически*, результаты обрабатывают **дробным методом**, предназначенным для *несопряженных (независимых)* выборок.

**Несопряженными (независимыми)** называются выборки, в которых изучаемые переменные двух выборок не зависят друг от друга (различные условия выращивания, на различных опытных участках, при различном питании и т.п.).

Результаты опытов, в которых варианты размещены *стандартными* методами, обрабатывают **разностным методом**, предназначенным для *сопряженных* выборок.

**Сопряженными** называют выборки, единицы наблюдений которых связаны (сопряжены) каким-либо общим условием (один сорт в разных вариантах, одинаковый агрофон, урожай двух укосов или сроков и т.п.).

Оба эти метода основаны на вычислении  $t$ -критерия существенности (Стьюдента). Для его вычисления необходимо определить разность между сравниваемыми средними,  $d$  и ее ошибку,  $S_d$ .

Однако, в зависимости от метода вычисления величина « $d$ » по-разному называется и вычисляется.

При дробном методе – это *разность средних*,  $d$  (таблица 10.1, формула 10.1) и по  $t$ -критерию определяют существенность разности средних. При разностном методе – это *средняя разность*,  $d$  (10.3) и в этом случае оценивают соответственно существенность средней разности.

Вычисление ошибки разности также отличается в зависимости от выбранного метода или типа выборки (формулы 10.3 и 10.4).

После вычисления фактического значения критерия существенности  $t_{\text{факт.}}$  его сравнивают с теоретическим, который находят по таблице приложений 2 при соответствующей степени свободы,  $\nu$  на заданном уровне вероятности (10.9 и 10.10). Если  $t_{\text{факт.}} \geq t_{\text{теор.}}$ , то между двумя средними значениями ( $x_1$ ,  $x_2$ ) имеется существенное (значимое) различие и  $H_0$  – отвергается, а если  $t_{\text{факт.}} < t_{\text{теор.}}$ , то разность не существенна и  $H_0$  – подтверждается.

Таблица 10.1 – Формулы для вычисления существенности различий между выборочными средними

Показатели	Тип выборки, метод	
	несопряженные, дробный	сопряженные, разностный
Разность средних, $d$ и средняя разность, $\bar{d}$	$d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2$ (10.1)	$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$ (10.2)
Ошибка разности средних, $S_d$ и средней разности, $S_{\bar{d}}$	$S_d = \sqrt{S_{\bar{x}_1}^2 + S_{\bar{x}_2}^2}$ (10.3)	$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2 : n}{n(n-1)}}$ (10.4)
Критерий существенности	$t_{факт.} = \frac{d}{S_d}$ (10.5)	$t_{факт.} = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}}$ (10.6)
Доверительный интервал для генеральной разности	$d \pm t_{теор.} S_d$ (10.7)	$\bar{d} \pm t_{теор.} S_{\bar{d}}$ (10.8)
Степени свободы, $\nu$	$\nu = n_1 + n_2 - 2$ (10.9)	$\nu = n - 1$ (10.10)

Оценку существенности различий между выборками можно провести и другими способами. К **точечной** оценке (выраженной одним числом, точкой), кроме методов, основанных на t-критерии, относят **оценку по наименьшей существенной разности (НСР)**.

$$\pm HCP_{05} = \pm t_{05} S_d \text{ или } \pm HCP_{01} = \pm t_{01} S_d.$$

Произведение  $\pm t S_d$  указывает границу предельным случайным отклонениям.

Если фактическая разность между выборочными средними  $d \geq t S_d$ , то  $H_0$  – отвергается, а если  $d < t S_d$  – подтверждается.

**Интервальной** называют оценку, которая характеризуется двумя числами – концами интервала, покрывающего оцениваемый параметр. Чтобы оценить существенность различий применяют:

$$a) \text{ доверительный интервал для разности: } d \pm t S_d \quad (10.11)$$

и в этом случае, если предельные значения оба положительные, то различия существенны и  $H_0$  – отвергается, а если минимальный предел отрицательный, т.е. в область покрытых значений попадает ноль, то различия несущественны и  $H_0$  подтверждается;

$$b) \text{ доверительный интервал для средней: } \bar{x} \pm t S_{\bar{x}}.$$

Необходимо сопоставить доверительные интервалы для средней обеих выборок:  $\bar{x}_1 \pm t S_{\bar{x}_1}$  и  $\bar{x}_2 \pm t S_{\bar{x}_2}$ . Если интервалы не перекрываются, то различия

существенны и, наоборот, различия оцениваются случайными, когда интервалы перекрываются.

*Задание 1.* Оценить существенность различий между средними дробным методом (несопряженные выборки).

Выполнение задания разберем на примерах №1 и 2.

**№1.** Анализ независимых выборок показал, что сорта ярового ячменя Рубикон и Виконт имели следующую длину колоса:

Сорт	Длина колоса, $x_i$ , см									
Рубикон	17,5	18,0	18,5	15,0	16,5	15,5	19,0	18,5	19,5	20,5
Виконт	17,5	17,0	16,5	18,0	17,0	16,0	16,5	18,0	18,0	18,0

Определить основные статистические характеристики сравниваемых выборок ( $\bar{x}$ ,  $S$ ,  $V$  %,  $S_x$ ,  $S_x$  %) и оценить существенность различий между ними на 5% уровне значимости.

#### *Порядок выполнения задания*

1) составить рабочую таблицу, в которой проранжировать значения признака и вычислить: суммы по вариантам, их средние, отклонение от средней, квадраты отклонений и их суммы для обеих выборок (таблица 10.2).

Таблица 10.2 – Вычисление отклонений и квадратов отклонений от средних в двух независимых выборках

Рубикон			Виконт		
Варианта, $x_i$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	Варианта, $x_i$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
15,0	-2,85	8,1225	16,0	-1,25	1,5625
15,5	-2,35	5,5225	16,5	-0,75	0,5625
16,5	-1,35	1,8225	16,5	-0,75	0,5625
17,5	-0,35	0,1225	17,0	-0,25	0,0625
18,0	0,15	0,0225	17,0	-0,25	0,0625
18,5	0,65	0,4225	17,5	+0,25	0,0625
18,5	0,65	0,4225	18,0	0,75	0,5625
19,0	1,15	1,3225	18,0	0,75	0,5625
19,5	1,65	2,7225	18,0	0,75	0,5625
20,5	2,65	7,0225	18,0	0,75	0,5625
$\sum x_i = 178,5$	$\sum = 0$	$\sum = 27,525$	$\sum x_i = 172,5$	$\sum = 0$	$\sum = 5,125$

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{178,5}{10} = 17,8 \text{ см} ,$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{172,5}{10} = 17,2 \text{ см} .$$

2) определить статистические показатели для сорта ячменя Рубикон (стандартное отклонение, коэффициент варьирования и ошибку средней):

$$S_1 = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{27,525}{9}} = \pm 1,75 \text{ см}$$

$$V_1 = \frac{S_1}{\bar{x}_1} \cdot 100 = \frac{1,75}{17,85} \cdot 100 = 9,8 \%$$

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_1}{\sqrt{n_1}} = \frac{1,75}{\sqrt{10}} = \pm 0,55 \text{ см}$$

*Следовательно:* выборочная совокупность сорта ярового ячменя Рубикон характеризуется следующими показателями: средняя длина колоса составляет  $\bar{x} = 17,8$  см, изменчивость признака близка к средней, так как  $S =$

$\pm 1,75$  см и  $V = 9,8 \%$ , ошибка выборки находится в пределах  $S_{\bar{x}} = \pm 0,55$  см.

3) определить статистические показатели для сорта Виконт:

$$S_2 = \sqrt{\frac{5,125}{9}} = \pm 0,75 \text{ см}$$

$$V_2 = \frac{0,75}{17,25} \cdot 100 = 4,4 \%$$

$$S_{\bar{x}_2} = \frac{0,75}{\sqrt{10}} = \pm 0,24 \text{ см}$$

*Значит:* у сорта Виконт средняя длина колоса составляет  $\bar{x} = 17,2$  см, варьирование очень слабое  $S_2 = \pm 0,75$  см и  $V_2 = 4,4 \%$ , при этом абсолютная ошибка средней составила  $S_{\bar{x}} = \pm 0,24$  см.

4) сформулировать  $H_0$  и, используя дробный метод проверки гипотезы по t-критерию, проверить ее справедливость.

$H_0$ : Между средними значениями длины колоса у сортов Рубикон и Виконт нет существенных различий.

5) определить разность средних выборочных,  $d$ :

$$d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 17,8 - 17,2 = 0,6 \text{ см};$$

6) определить ошибку разности средних,  $S_d$ :

$$S_d = \sqrt{S_{\bar{x}_1}^2 + S_{\bar{x}_2}^2} = \sqrt{0,55^2 + 0,24^2} = \pm 0,6 \text{ см};$$

7) определить доверительный интервал для разности в генеральной совокупности.

В приложении 2 смотрим значение  $t_{05}$ . При  $v = n_1 + n_2 - 2 = 18$   $t_{05} = 2,101$ .

$$\text{Значит } d \pm t_{05} S_d = 0,6 \pm 2,1 \cdot 0,6 \quad -0,66 \div 1,86.$$

В область доверительного интервала попадает нулевое значение, значит, различия несущественны. Проверим с помощью дробного метода.

8) вычислить фактический критерий значимости,  $t_{\text{факт}}$  и сделать окончательный вывод.

$$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{S_d} = \frac{0,6}{0,6} = 1,0, \text{ а } t_{05} = 2,1, \text{ при } v = 18.$$

**Вывод:** так как  $t_{факт} < t_{05}$  ( $1,0 < 2,1$ ), а пределы доверительного интервала покрывают нулевое значение, значит различия между выборочными средними несущественны и  $H_0$  подтверждается.

**№2.** В опыте по производственному испытанию сортов зернового сорго, размещенных систематическим методом, получены следующие результаты по урожайности зерна (т/га):

Сорт	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$	$n$
Зерноградское 53	3,64	$\pm 0,1$	4
Степное	4,22	$\pm 0,12$	4

Существенно ли отличаются эти сорта по урожайности на 5% уровне значимости?

#### Выполнение задания

Так как варианты опыта размещены систематическим методом, значит сравнительный анализ нужно вести дробным методом.

$H_0$ : Сорта не отличаются по урожайности.

Для проверки гипотезы необходимо вычислить разность средних,  $d$ , ее ошибку,  $S_d$ , доверительный интервал для разности в генеральной совокупности, и критерий существенности,  $t_{факт}$ .

$$d = 4,22 - 3,64 = 0,58 \text{ т/га};$$

$$S_d = \sqrt{0,1^2 + 0,12^2} = \pm 0,16 \text{ т/га}.$$

При  $v = n_1 + n_2 - 2 = 6$  на 5 % уровне значимости  $t_{05} = 2,45$ , тогда ДИ составит  $d \pm t_{05}S_d = 0,58 \pm 2,45 \cdot 0,16 = 0,19 \div 0,97$ , т.е. предельные значения доверительного интервала для разности положительные, превышают нулевое значение, а значит, различия между сортами по урожайности существенны на 5 % уровне значимости. Это подтверждает и вычисление фактического значения  $t$ -критерия

$$t_{факт} = \frac{d}{S_d} = \frac{0,58}{0,16} = 3,72.$$

**Вывод:** так как,  $t_{факт} > t_{05}$  ( $3,72 > 2,45$ ), а доверительный интервал для разности в генеральной совокупности находится в пределах  $0,19 \div 0,97$  т/га, то сорт зернового сорго Степное существенно превышает по урожайности стандартный сорт Зерноградское 53 на 5 % уровне значимости, следовательно  $H_0$  – отвергается.

**Задание 2.** Оценить существенность средней разности, используя разностный метод (сопряженные выборки).

Порядок выполнения этого задания рассмотрим на примере №3.

**№3.** В КСИ риса сравнили урожайности рядом расположенных сортов по 4 повторениям (т/га):

Сорт	I	II	III	IV
Боярин	7,74	8,40	8,86	8,26
Златый	6,74	7,80	7,94	7,66

Определить существенно ли различаются сорта по урожайности на 1 % уровне значимости.

1) сформулировать  $H_0$

$H_0$ : Между сортами Златый и Боярин нет существенных различий по урожайности;

2) определить среднюю разность между выборками,  $\bar{d}$ , заполнив предварительно таблицу по форме 10.3:

Таблица 10.3 – Урожайность сортов риса в КСИ, т/га

Повтор- ность	Урожайность по сортам ц/га		$d$	$d^2$
	Боярин	Златый		
I	7,74	6,74	1,00	1,00
II	8,40	7,80	0,60	0,36
III	8,86	7,94	0,92	0,8464
IV	8,26	7,66	0,60	0,36

$$\Sigma d = 3,12 \quad \Sigma d^2 = 2,5664$$

$$\bar{d} = \frac{\Sigma d}{n} = \frac{3,12}{4} = 0,78 \text{ т/га};$$

3) вычислить ошибку средней разности,  $S_{\bar{d}}$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\Sigma d^2 - (\Sigma d)^2 / n}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{2,5664 - (3,12)^2 / 4}{4 \cdot 3}} = 0,105 \text{ т/га};$$

4) оценить существенность средней разности,  $t_{\text{факт}}$ :

$$t_{\text{факт}} = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}} = \frac{0,78}{0,105} = 7,43 \quad t_{01} = 5,84 \text{ при } \nu = n - 1 = 4 - 1 = 3;$$

5) определить доверительный интервал для  $\bar{d}$  в генеральной совокупности:

$$\bar{d} \pm t_{01} S_{\bar{d}} = 0,78 \pm 5,84 \cdot 0,105 \quad (0,17 \div 1,39).$$

**Вывод:** так как  $t_{\text{факт}} > t_{01}$ , следовательно различия по урожайности между сортами риса Златый и Боярин значимы, значит  $H_0$  – отвергается.

## Индивидуальные задания

№1. Определить 5 % доверительные интервалы для средней высоты растений в опыте по изучению влияния азотных удобрений и проверить значимость различий между контролем и вариантом с подкормкой N<sub>120</sub>. Расположение вариантов систематическое.

Вариант	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$	$n$
контроль	73,5	0,76	4
вариант N <sub>120</sub>	107,3	0,88	4

при  $v = n - 1 = 3$   $t_{05}=3,18$ ; при  $v = n_1 + n_2 - 2 = 6$   $t_{05}=2,45$

№2. Определить, значимо ли различие по урожайности озимой пшеницы сорта Дон 93 в засушливых и обычных условиях? Каков ДИ для средней разности при 5 % уровне значимости?

Вариант	Урожай по повторениям, т/га			
Обычные условия	4,58	5,56	5,72	5,90
Засушливые условия	2,71	2,85	2,90	3,10

При  $v = n - 1 = 3$   $t_{05} = 3,18$

№3. Существенно ли на 5 % уровне значимости расхождение по содержанию белка в зерне озимой мягкой пшеницы между контролем и вариантом с азотной подкормкой?

Вариант	Содержание белка по повторениям, %				
контроль	14,9	15,1	15,3	15,7	16,5
с подкормкой	17,9	18,3	19,4	19,0	18,7

При  $v = n - 1 = 4$   $t_{05} = 2,78$

№4. Определить ДИ для средней урожайности риса (т/га) на 95 % уровне вероятности в обоих вариантах опыта и проверить значимость различий между контролем и вариантом с удобрениями.

Вариант	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$	$n$
контроль	3,45	0,14	4
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>	5,35	0,09	4

При  $v = n - 1 = 3$   $t_{05} = 3,18$ ; при  $v = n_1 + n_2 - 2 = 6$   $t_{теор} = 2,45$

№5. Существенно ли различается на 5 % уровне значимости засоренность поля (шт/м<sup>2</sup>) при различных дозах гербицида?

Вариант	Засоренность поля, шт/м <sup>2</sup>			
В-1(без обра-ботки)	110	122	138	125

В-2	72	85	103	71
В-3	42	40	84	28

При  $v = n - I = 3$   $t_{05} = 3,18$

№6. В 2-х независимых выборках озимого ячменя была определена средняя масса 1000 зерен (г) в 4-х кратной повторности:

Сорт	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$	n
Силуэт	33,8	0,9	4
Ростовский 55	35,0	1,2	4

Определить существенность различий по t-критерию, если  $t_{05} = 2,45$  при

$$v = n_1 + n_2 - 2 = 6$$

№7. Определить значимость известкования на эффективность фосфорных удобрений и их влияние на урожайность гороха. Установить ДИ для разности на 5 % уровне значимости.

Вариант	Урожай, т/га				
В – 1	2,3	2,6	2,98	3,18	3,08
В – 2	2,48	2,92	2,34	3,38	3,25

$$t_{05} = 2,78 \text{ при } v = n - I = 4$$

№8. Промеры высоты растений у сортов риса Контакт и Вираз в опыте, размещенном систематическим методом, были следующими (см):

Сорт	Высота растений, см									
Контакт	78	89	85	90	85	79	83	89	92	88
Вираз	69	84	79	74	79	67	64	61	76	80

Значимо ли различие между сортами по высоте на 95% уровне вероятности?

№9. В селекционной работе с подсолнечником при сравнении сортов и гибридов применяют парный метод испытания. При подсчете количества листьев на растении были получены следующие данные (шт.)

Вариант	Количество листьев, шт.									
стандарт	25	22	23	21	23	19	20	22	20	25
опытный	22	21	20	18	21	19	22	20	22	21

Существенно ли различаются опытный и стандартный варианты по этому признаку?

### Контрольные вопросы

1. Что такое  $H_0$  и на каком этапе эксперимента она выдвигается?
2. Как формулируется нулевая гипотеза?
3. Задача статистических методов проверки гипотез.
4. На чем основаны методы для проверки нулевой гипотезы?

5. От чего зависит выбор метода? В каком случае применяют дробный метод? Разностный метод?
6. Что такое сопряженные и несопряженные выборки?
7. Как определить разность средних? Среднюю разность выборочных средних?
8. Вычисление ошибки разности средних и средней разности.
9. Как оценить существенность различий между средними?
10. Что означает доверительный интервал разности средних (средней разности)?
11. Как с помощью интервальной оценки оценить существенность различий между выборками?

### Практическая работа № 11

#### Тема: **Вычисление статистических показателей выборки при качественной изменчивости признака. Оценка существенности различий**

**Цели:** формирование умения вычислять основные статистические показатели признаков качественной изменчивости; оценивать существенность различий между долями и находить соответствие между фактическими и ожидаемыми наблюдениями; приобретение навыка давать характеристику совокупности по полученным результатам.

**Продолжительность занятия:** 2 часа

#### *Общие сведения*

#### ***Статистические показатели выборки при качественной изменчивости признака***

**Качественная изменчивость** – это варьирование, при котором различие между объектами наблюдений выражаются качественными признаками.

К качественным (атрибутивным) относятся признаки, которые выражаются в каких-либо качествах, не поддающихся количественному измерению: разные с.-х. культуры, разные виды болезней, окраска зерна, цветков, форма плода, наличие или отсутствие признака, реакция на возделывание и др.

Основными показателями, характеризующими такую изменчивость, являются: **доля признака ( $p$ ,  $q$ )**, **показатель изменчивости или стандартное отклонение доли ( $S$ )**, **коэффициент вариации доли ( $V_p$ )**, **ошибка выборочной доли ( $S_p$ )**.

Доля признака ( $p$ ) – это отношение численности каждой группы ( $n_1, n_2 \dots n_k$ ) к общему объему совокупности ( $n$ ) (таблица 11.1, формула 11.1).

Как видно из таблицы, в зависимости от числа градаций признака формулы для вычисления доли и показателя изменчивости несколько отличаются. Если изучаемая совокупность представлена 2-мя градациями признака ( $K=2$ , например, остистые и безостые формы у пшеницы), она называется **альтернативной**. Такую совокупность проще обрабатывать статистически.

Доля признака приравнивается по значению к средней арифметической, характеризующей количественную изменчивость. Она показывает вероятность появления данного признака в изучаемой совокупности. Выражается в частях единицы или в процентах. В сумме доли признака одной совокупности приравниваются к единице или 100 %. Поэтому, зная одну долю признака, легко определить другую в альтернативной совокупности (формула 11.2).

Таблица 11.1 – Формулы для вычисления статистических характеристик качественных признаков

Показатель	Формула при числе градаций (K):	
	K=2	K>2
Доля признака, $p, q$	$p = \frac{n_1}{n} \quad (11.1)$ $q = 1 - p \quad (11.2)$	$p_1 = \frac{n_1}{n}, p_2 = \frac{n_2}{n}, \dots, p_k = \frac{n_k}{n}$
Показатель изменчивости (стандартное отклонение) доли, $S$	$S = \sqrt{pq} \quad (11.3)$	$S = \sqrt[k]{p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_k} \quad (11.4)$ <p style="text-align: center;">или</p> $\lg S = \frac{\lg p_1 + \lg p_2 + \dots + \lg p_k}{k}$
Коэффициент вариации, $V_p$	$V_p = \frac{S}{S_{\max}} \cdot 100 \quad (11.5)$	
Ошибка доли, $S_p$	$S_p = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (11.6)$	
Доверительный интервал для $P$	$p \pm t \cdot S_p \quad (11.7)$	
Степень свободы, $\nu$	$\nu = n - 1$	

Показатель изменчивости ( $S$ ) характеризует варьирование величин ряда относительно друг друга долей и вычисляется по формулам 11.3 и 11.4.

Коэффициент вариации ( $V_p$ ) – это фактический показатель изменчивости, выраженный в процентах к максимально возможной изменчивости доли ( $S_{\max}$ , формула 11.5). Он характеризует относительную степень изменчивости изучаемого признака и используется для сравнительной оценки выравненности различных совокупностей.

Максимальное значение этого показателя равно 100 % при  $S = S_{\max}$ , причем величина максимально возможной изменчивости доли ( $S_{\max}$ ) зависит от числа градаций признака.

При:  $K=2 \rightarrow S_{\max} = 0,5$  (50 %);  $K=3 \rightarrow S_{\max} = 0,333$  (33,3 %);  $K=4 \rightarrow S_{\max} = 0,25$  (25 %);  $K=5 \rightarrow S_{\max} = 0,20$  (20 %) и т.д.

Так как доля признака определяется на основе выборки, ее называют выборочной долей. И как любой выборочный показатель, доля признака имеет свою ошибку, вследствие неполной репрезентативности выборки.

Ошибка выборочной доли ( $S_p$ ) – это мера отклонения доли выборочной совокупности ( $p$ ) от доли в генеральной совокупности ( $P$ ) (формула 11.6).

Генеральную долю представляют доверительным интервалом на определенном уровне вероятности (формула 11.7) Для нахождения  $t$ -критерия используют степень свободы  $\nu = n - 1$ .

*Задание 1.* Вычислить основные статистические показатели атрибутивно-го признака. Дать характеристику совокупности.

Выполнение задания разберем на примере №1.

**№1.** Анализ характера сердцевины стебля растений сорго сахарного в  $F_2$  показал, что из 420 растений – 105 были с сочным стеблем, 210 – с полусочным, а остальные – сухостебельные. Определить процентное содержание каждой группы, изменчивость признака и доверительный интервал для генеральной доли сочностебельных растений на 95% уровне вероятности.

#### *Порядок выполнения задания*

1) сделать краткую запись по исходным данным, определить число градаций признака ( $K$ ) и распределить исходные наблюдения по группам:

*Дано:* сорго сахарное,  
характер сердцевины стебля,  
 $n = 420$  шт.  
 $n_1 = 105$  шт. – сочная  
 $n_2 = 210$  шт. – полусочная.  
 $p_1, p_2, p_3, S, V_p, S_p, ДИ_{95}$  для  $P_1 - ?$

Согласно условию задания, выборочная совокупность представлена 3-мя градациями признака, поэтому определяем численность 3-й группы:

$$n_3 = 420 - (105 + 210) = 105 \text{ растений.}$$

2) используя выше предложенные формулы, определить доли признака ( $p_1, p_2, p_3$ ), показатель изменчивости доли ( $S$ ) и коэффициент вариации доли ( $V_p$ ).

Доли признака вычисляем по формулам при числе градаций  $K > 2$ :

$$p_1 = \frac{n_1}{n} = \frac{105}{420} = 0,238 \text{ (23,8\%);}$$

$$p_2 = \frac{210}{420} = 0,517 \text{ (51,7\%); } p_3 = \frac{105}{420} = 0,245 \text{ (24,5\%).}$$

Изменчивость признака определяем с помощью формул 11.4 и 11.5:

$$S = \sqrt[3]{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3} = \sqrt[3]{0,238 \cdot 0,517 \cdot 0,245} = 0,311(31,1\%)$$

$$V_p = \frac{S}{S_{\max}} \cdot 100 = \frac{0,311}{0,333} \cdot 100 = 93,4\%$$

3) вычислить ошибку выборочной доли и определить доверительный интервал для генеральной доли сочностебельных растений:

$$S_p = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,311}{\sqrt{420}} = 0,015 (1,5\%)$$

$$\text{ДИ}_{05}: p_1 \pm t_{05} \cdot S_p, \text{ если } t_{05} = 2,58, \text{ при } v = 419 = (420 - 1),$$

$$0,238 \pm 2,58 \cdot 0,015 = 0,238 \pm 0,039 (19,9 \div 27,7\%)$$

4) сделать общий вывод по данной совокупности.

*Вывод:* Генеральная доля сочностебельных растений в изучаемой совокупности на 95% уровне вероятности может находиться в пределах 19,9 ÷ 27,7% при выборочной доле этого признака равной 23,8%. Процентное содержание других градаций признака таковы: 51,7% – полусочных и 24,5% – сухостебельных растений. Фактическая степень изменчивости очень высока  $V_p = 93,4\%$  при изменчивости долей относительно друг друга  $S=31,1\%$ . Ошибка репрезентативности при этом составила  $S_p=1,5\%$ .

### ***Оценка существенности различий***

Сравнение выборочных долей можно проводить по  $\chi^2$ -критерию соответствия Пирсона (**метод Пирсона хи-квадрат**) и по  $t$ -критерию.

Хи-квадрат – это отношение суммы квадратов отклонений эмпирических частот от теоретических к теоретическим частотам. Он вычисляется по формуле:

$$\chi^2 = \sum \frac{d^2}{q} = \sum \frac{(p-q)^2}{q}, \quad (11.8)$$

где  $d^2$  – квадрат отклонений (разности) фактической частоты каждого класса от теоретически ожидаемой;

$p$  – фактические частоты;

$q$  – теоретически ожидаемые частоты.

Критерий  $\chi^2$  используется 1) в генетическом анализе для оценки соответствия фактического расщепления гибридов теоретически ожидаемому соотношению; 2) для оценки независимости (или сопряженности) в распределении объектов совокупности; 3) для определения степени соответствия фактического (эмпирического) распределения изучаемого признака нормальному и 4) для оценки соответствия двух эмпирических распределений между собой. Критерий позволяет проверить нулевую гипотезу,  $H_0$ , т.е. предположение об отсутствии различий между фактическими данными и теоретически ожидаемыми.

Нулевая гипотеза отвергается, если  $\chi^2_{\text{факт}} \geq \chi^2_{\text{теор}}$  и подтверждается, если  $\chi^2_{\text{факт}} < \chi^2_{\text{теор}}$ . Если фактические и теоретические частоты полностью совпадают, то  $\chi^2 = 0$ .

Теоретические значения  $\chi^2$  даны в таблице приложений 2 данного пособия и в учебниках, рекомендуемых для данного курса. Число степеней свободы, по которому находят  $\chi^2_{\text{теор}}$ , определяется по формулам:

1)  $\nu = (c - 1)(k - 1)$ , где  $c$  – число строк,  $k$  – число колонок в аналитической таблице – при оценке сопряженности или независимости в распределении объектов совокупности;

2)  $\nu = n - 1$ , где  $n$  – число классов – при оценке соответствия фактических результатов с теоретически ожидаемыми;

3)  $\nu = k - 3$ , где  $k$  – число групп – при оценке соответствия эмпирических распределений нормальному.

Необходимо помнить, что в формулу вычисления  $\chi^2$  подставляются только частоты (доли) признака, а не конкретные величины измерений, взвешиваний и т.п.

Точность результата зависит от объема выборки. Чем больше объем выборки, тем точнее результат.

Если при изучении качественной изменчивости помимо установления значимости различий между долями необходимо определить и доверительный интервал для разности долей на определенном уровне значимости, используют параметрический критерий  $t$ :

$$t_{\text{факт}} = \frac{d}{S_d} = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{S_{p_1}^2 + S_{p_2}^2}} = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{\frac{p_1 q_1}{N_1} + \frac{p_2 q_2}{N_2}}}, \quad (11.9)$$

где  $p$  и  $q$  – выборочные доли;

$S_{p_1}$  и  $S_{p_2}$  – ошибки долей;

$N_1$  и  $N_2$  – объемы сравниваемых выборок.

Доверительный интервал (ДИ) для разности долей находят на определенном уровне значимости (5% или 1%):

$$d \pm t \cdot Sd = (p_1 - p_2) \pm tSd.$$

**Задание 2.** Оценить существенность различий между долями, используя методы  $\chi^2$  и  $t$ -критерия.

Выполнение задания рассмотрим на примерах №2-4.

### 1. С применением метода $\chi^2$

**№2.** В гибридном питомнике  $F_2$  ячменя получили 128 растений, из них 10 растений – плотноколосых фуркатных, 22 – плотноколосых остистых, 28 – рыхлоколосых фуркатных, а остальные рыхлоколосые остистые. Дать оценку соответствия фактического расщепления теоретически ожидаемому.

Дано: ячмень

плотность колоса, остистость

$n - 128$  шт.

$n_1 - 10$  шт. – плотноколосых фуркатных,

$n_2 - 22$  – плотноколосых остистых,

$n_3 - 28$  – рыхлоколосых фуркатных,

остальные – рыхлоколосые остистые

$\chi^2 - ?$

*Порядок выполнения задания*

1) сформулировать  $H_0$ .

Так как это дигибридное скрещивание по типу аллельного взаимодействия, значит, можно предположить, что ( $H_0$ ): фактически полученное расщепление соответствует соотношению 9 : 3 : 3 : 1.

2) составить рабочую таблицу и вычислить теоретически ожидаемое расщепление, соответствующее соотношению 9 : 3 : 3 : 1 (табл.11.2).

Таблица 11.2 – Вычисление  $\chi^2$  по данным расщепления в  $F^2$  ячменя

Показатели	Распределение частот по классам				Все-го
	рыхлоколо- ые ости- стые	рыхлоколо- ые фуркат- ные	плотноколо- ые ости- стые	плотноколосые фуркатные	
$F_2 (p)$	68	28	22	10	128
Теоретическое соотношение	9	3	3	1	16
Теоретически ожидаемое расщепление ( $q$ )	72	24	24	8	128
Разность $d = p - q$	- 4	4	- 2	2	0
$d^2$	16	16	4	4	
$\chi^2 = \sum \frac{d^2}{q}$	$\frac{16}{72}$	$\frac{16}{24}$	$\frac{4}{24}$	$\frac{4}{8}$	1,55

3) найти отклонения между фактическими результатами и теоретически вычисленными в каждом классе,  $d = p - q$  ;

4) возвести в квадрат величины  $d$  по каждому классу;

5) найти отношение  $\frac{d^2}{q}$  по каждому классу и вычислить их сумму:

$$\chi^2_{\text{факт.}} = 1,55;$$

6) найти  $\chi^2_{\text{теор.}}$  на 5 % и 1 % уровне значимости при  $v = n - 1 = 4 - 1 = 3$  и сравнить с фактическим критерием соответствия.

$$\chi^2_{05} = 7,82 \quad \chi^2_{01} = 11,34.$$

Вывод: так как  $\chi^2_{факт} < \chi^2_{теор}$  на 95 % и 99 % уровне вероятности при  $\nu = 3$ , значит фактически полученное расщепление соответствует теоретически ожидаемому и  $H_0$  – подтверждается.

**№3.** На 260 полях, засеянных ячменем, учтен урожай и проведен подсчет зараженности почвы проволочником. Поля разбиты на две группы по урожайности и на четыре – по зараженности проволочником. Зависит ли урожай ячменя от степени зараженности проволочником? Исходные данные и основные вычисления приведены в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Фактические частоты полей под ячменем при разной степени зараженности проволочником

Урожай	Заражение, шт. полей				Сумма полей, шт. $\Sigma$	Процент от общего %
	слабое	умеренное	сильное	очень сильное		
Удовлетворительный	94	62	31	15	202	77,7
Неудовлетворительный	15	15	17	11	58	22,3
Сумма, шт.	109	77	48	26	260	100
Процент от общего, %	41,9	29,6	18,5	10,0		100

1)  $H_0$ : урожай не зависит от степени зараженности и различия в соотношении удовлетворительных и неудовлетворительных урожаев при разном заражении случайны.

2) для определения ожидаемых (теоретических) частот при разной степени зараженности, необходимо составить пропорции и решить их.

Сначала рассчитаем ожидаемые частоты полей ( $q_1, q_2, q_3, q_4$ ) с удовлетворительным урожаем:

а) при слабом заражении:

$$109 \text{ полей} - 100\%; \quad q_1 = \frac{77,7 \cdot 109}{100} = 84,7 \text{ полей (таблица 11.4);}$$

$$q_1 - 77,7\%.$$

Таблица 11.4 – Ожидаемые частоты полей под ячменем при разной степени зараженности проволочником

Урожай	Заражение				Сумма $\Sigma$	Процент %
	слабое	умеренное	сильное	очень сильное		
Удовлетворительный	84,7	59,8	37,3	20,2	202	77,7
Неудовлетворительный	24,3	17,2	10,7	5,8	58	22,3
Сумма	109	77	48	26	260	100
Процент	41,9	29,6	18,5	10,0		100

б) при умеренном заражении:

$$q_2 = \frac{77,7 \cdot 77}{100} = 59,8 \text{ полей}$$

в) при сильном заражении: полей;

$$q_3 = \frac{77,7 \cdot 48}{100} = 37,3 \text{ полей}$$

г) при очень сильном заражении:

$$q_4 = \frac{77,7 \cdot 26}{100} = 20,2 \text{ полей}$$

Точно также рассчитываем частоты полей ( $q_5, q_6, q_7, q_8$ ) с неудовлетворительным урожаем

д) при слабом заражении:

$$109 \text{ полей} - 100\%; q_5 = \frac{22,3 \cdot 109}{100} = 24,3$$

е) при умеренном заражении:

$$q_6 = \frac{22,3 \cdot 77}{100} = 17,2 \text{ полей}$$

ж) при сильном заражении:

$$q_7 = \frac{22,3 \cdot 48}{100} = 10,7 \text{ полей}$$

з) при очень сильном заражении:

$$q_8 = \frac{22,3 \cdot 26}{100} = 5,8 \text{ полей}$$

Данные теоретических частот необходимо записать в скобках в рабочей таблице в соответствующей строке и колонке.

3) определить отклонения между фактическими и ожидаемыми частотами полей (таблица 11.5) и вычислить  $\chi^2$ . Сравнить его с теоретическим значением.

Таблица 11.5 – Отклонения между фактическими и ожидаемыми частотами полей

Урожай	Заражение				Сумма
	слабое	умеренное	сильное	Очень сильное	
Удовлетворительный	-9,3	2,2	-6,3	-5,2	0
Неудовлетворительный	-9,3	-2,2	6,3	5,2	0
Сумма	0	0	0	0	0

$$\chi^2 = \frac{9,3^2}{84,7} + \frac{2,2^2}{59,8} + \frac{(-6,3)^2}{37,3} + \frac{(-5,2)^2}{20,2} + \frac{(-9,3)^2}{24,3} + \frac{(-2,2)^2}{17,2} + \frac{6,3^2}{10,7} + \frac{5,2^2}{5,8} = 15,72$$

$$\chi_{05}^2 = 7,82 \text{ при } \nu = (c-1)(k-1) = 3$$

$$\chi_{01}^2 = 11,34$$

Вывод: так как  $\chi_{\text{факт}}^2 > \chi_{05}^2$  и  $\chi_{01}^2$ , то имеет место существенная зависимость урожая ячменя от степени заражения почвы проволоочником, следовательно  $H_0$  – отвергается.

## II. С применением $t$ -критерия

**№4.** Из 1000 растений озимой пшеницы, обработанных ТУРом, полегло 215 растений, а из 500 необработанных растений, полегших оказалось 390. Определить существенно ли влияет обработка ТУРом на прочность соломины у растений и, каков доверительный интервал для разности долей при 95% уровне вероятности?

Дано: озимая пшеница

полегание растений

$N_1$  – 1000 шт. обработаны

$n_1$  – 215 шт. – полегли,

$N_2$  – 500 шт. – не обработаны,

$n_2$  – 390 шт. – полегли

$t_{\text{факт.}}$  ДИ - ?

1) при использовании метода оценки по  $t$ -критерию, предварительно необходимо определить основные статистические показатели, характеризующие качественную изменчивость обеих групп:

Обработанные ТУРом	Необработанные ТУРом
$p_1 = \frac{n_1}{N_1} = \frac{215}{1000} = 0,215 (21,5\%)$	$p_2 = \frac{n_2}{N_2} = \frac{390}{500} = 0,78 (78\%)$
$q_1 = 1 - p_1 = 1 - 0,215 = 0,785 (78,5\%)$	$q_2 = 1 - p_2 = 1 - 0,78 = 0,22 (22\%)$
$S_{p_1} = \sqrt{\frac{p_1 \cdot q_1}{N_1}} = \sqrt{\frac{0,215 \cdot 0,785}{1000}} = 0,013 (1,3\%)$	$S_{p_2} = \sqrt{\frac{p_2 \cdot q_2}{N_2}} = \sqrt{\frac{0,78 \cdot 0,22}{500}} = 0,018 (1,8\%)$

2) сформулировать  $H_0$ : Обработка растений ТУРом существенного влияния на прочность соломины озимой пшеницы не оказывает.

3) вычислить  $t_{\text{факт.}}$  и оценить существенность различий между долями:

$$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{S_d} = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{S_{p_1}^2 + S_{p_2}^2}} = \frac{|0,215 - 0,78|}{\sqrt{0,013^2 + 0,018^2}} = \frac{0,565}{0,022} = 25,68$$

$$t_{05} = 1,96 \quad \text{при } \nu = N_1 + N_2 - 2 = 1000 + 500 - 2 = 1498$$

Вывод: так как  $t_{факт.} > t_{05}$ ,  $\Rightarrow H_0$  – отвергается.

4) определить доверительный интервал для разности долей и сделать окончательный вывод

$$p_1 - p_2 \pm t_{05} \cdot S_d = 0,565 \pm 1,96 \cdot 0,022 = 0,565 \pm 0,043$$

$$(0,522 \div 0,608) = (52,2 \div 60,8\%)$$

*Вывод:* различия между обработанными ТУРом растениями и необработанными существенны, доверительный интервал генеральной разности долей на 5 % уровне значимости находится в пределах 52,2÷60,8 %.

### *Индивидуальные задания для самостоятельной работы*

- №1. При обследовании 450 особей клопа черепашки установлено, что 112 из них были заражены белой мускардиной, 18-разными бактериальными болезнями. Определить % содержание каждой группы при 5% уровне значимости, если  $t_{05}=1,96$ .
- №2. Определить % содержание и доверительный интервал при 95 и 99% уровнях вероятности если из 320 растений гибридов второго поколения ярового ячменя было обнаружено 50 растений с 2-х узловыми формами.  $t_{05}=1,96$ ,  $t_{01}=2,58$ .
- №3. Анализ озимой пшеницы показал, что из 400 растений популяции 120 были засухоустойчивыми, 200-среднеустойчивыми, остальные – неустойчивы. Определить % содержание каждой группы в выборке и их доверительный интервал ( $\div$ ) в генеральной совокупности с 5% уровнем значимости,  $t_{05}=1,96$ .
- №4. В  $F_2$  при неполном доминировании 2-х пар аллелей ожидается расщепление в  $(1:2:1)^2$  отношении. По изучению наследования признаков уземляники по окраске ягод (красные, К, розовые, Р, белые, Б) и форме чашечки (нормальная, Н, промежуточная, П, листовидная, Л) получены следующие результаты:  
 $F_2$ : 25 К.Н. : 33 К.П. : 17 К.Л.; 45 Р.Н. : 85 Р.П. : 30 Р.Л.;  
 20 Б.Н. : 42 Б.П. : 10 Б.Л.  
 Определить по  $\chi^2$  соответствие фактического расщепления теоретическому, если  $t_{05}=15,51$ , при  $v=8$ .
- №5. При посеве 250 семян озимого ячменя обработанных фунгицидом взошли и дали здоровые растения 200 шт., а при посеве 250 семян необработанных фунгицидом взошли и дали здоровые растения – 95. Существенны ли различия между выборками? Определить  $ДИ_{95}$  при  $t_{05}=1,96$ .

№6. Установить (по методу  $\chi^2$ ) наличие зависимости между интенсивностью роста растений подсолнечника и размером их листьев.

Интенсивность роста	Листья		Сумма	%
	мелкие	крупные		
Слабая	52 (q-?)	28		
Средняя	62	93		
Сильная	34	25		
Сумма			294	100

### Контрольные вопросы

1. Что такое качественная изменчивость, атрибутивные признаки? Привести примеры.
2. Основные показатели, характеризующие качественную изменчивость.
3. Как вычислить долю признака при альтернативной изменчивости? Что показывает доля признака?
4. Какова доля признака при  $K > 2$ ?
5. Показатель изменчивости и способы его вычисления. От чего зависит  $S_{\max}$ ?
6. Что характеризует коэффициент вариации доли? Его значение, способ вычисления. Чем он отличается от коэффициента вариации количественной изменчивости?
7. Как определить репрезентативность выборки при качественной изменчивости?
8. Как определить параметры генеральной доли?
9. Методы оценки существенности различий между выборочными долями.
10. Метод  $\chi^2$ , его применение.
11. От чего зависит степень свободы при определении теоретического значения  $\chi^2$ ?
12. Оценка существенности разности долей по  $t$ - критерию.
13. Определение доверительного интервала для генеральной разности долей.

### Практическая работа № 12

**Тема: Дисперсионный анализ данных однофакторного вегетационного опыта с одинаковой и разной повторностью по вариантам**

**Цели:** освоение метода дисперсионного анализа данных вегетационного опыта и приобретение навыка оценки существенности различий между изучаемыми вариантами.

**Продолжительность работы:** 2 часа.

### **Однофакторный вегетационный опыт с одинаковым числом наблюдений**

При дисперсионном анализе одновременно обрабатываются данные нескольких выборок (вариантов), составляющих *единый статистический комплекс*. В вегетационном опыте (или полевом, размещенном методом полной рендомизации) такой комплекс состоит из нескольких независимых выборок, так как в нем обычно нет территориально организованных повторений.

Поэтому анализ проводится по типу несопряженных выборок.

Перед дисперсионным анализом ставится задача проверить статистическую нулевую гипотезу ( $H_0$ ), которая формулируется так:

**Между средними по вариантам нет существенных различий**, т.е.

$$\bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \dots = \bar{x}_n \text{ или } \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = d = 0, \text{ т.е. } H_0 : d = 0.$$

В однофакторном вегетационном опыте общее варьирование результативного признака ( $C_y$ ) обусловлено двумя компонентами: варьирование вари-антов ( $C_v$ ) и случайное варьирование ( $C_z$ ):

$$C_y = C_v + C_z. \quad (12.1)$$

Формула 12.1 является **дисперсионной моделью однофакторного вегетационного опыта** или **полевого опыта**, варианты которого расположены методом неорганизованных повторений.

Статистический анализ данных вегетационного однофакторного опыта проводят в три этапа. Порядок проведения анализа рассмотрим на примере задания 1.

**Задание 1.** Оценить влияние способов опыления озимой пшеницы на завязываемость семян в вегетационном опыте.

Способ опыления	Завязываемость семян, %			
1. Принудительное	54,6	55,4	65,2	66,7
2. Ограниченно-свободное	52,3	60,8	61,4	58,3
3. Твелл-метод	65,2	68,2	65,4	68,2
4. Свободное	48,2	53,2	56,8	55,4

**$H_0$ :** способ опыления не влияет на результат завязываемости семян пшеницы.

**I.** Составление рабочей таблицы, в которой определяют суммы ( $\sum V$ ) и средние по вариантам ( $\bar{x}_i$ ), общую сумму ( $\sum X$ ) и среднее значение ( $\bar{x}$ ) результативного признака по опыту (таблица 12.1).

Таблица 12.1 – (Изучаемый признак)

Вариант, $l$	Наблюдения, $X_i$				Сумма по вариантам, $\sum V$	$\bar{X}_l$ по вариантам
1	54,6	55,4	65,2	66,7	241,9	60,5
2	52,3	60,8	61,4	58,3	232,8	58,2
3	65,2	68,2	65,4	68,2	267,0	66,8
4	48,2	53,2	56,8	55,4	213,6	53,4
					$\sum X = 955,3$	$\bar{X} = 59,7$

**II.** Вычисление сумм квадратов отклонений для общей дисперсии  $C_Y$ , дисперсии вариантов  $C_V$  и дисперсии остаточной  $C_Z$ , а также средних квадратов отклонений по вариантам и остатку. Определение фактического значения критерия Фишера  $F_{\text{факт.}}$  (таблица 12.2).

Сумма квадратов отклонений для общей дисперсии  $C_Y$  будет равна:

$$C_Y = \sum X^2 - C, \quad (12.2)$$

где  $X$  – каждое значение признака;

$C$  – поправка к средней (корректирующий фактор), которая вычисляется

по формуле: 
$$C = \frac{(\sum X)^2}{N}, \quad (12.3)$$

где  $N = l \cdot n$  – общее число наблюдений,  $l$  – число вариантов,  $n$  – число повторностей (наблюдений).

В нашем опыте число вариантов (способов опыления)  $l=4$  и число наблюдений  $n = 4$ , значит  $N = 4 \cdot 4 = 16$ .

$$C = (\sum X)^2 : N = 955,3^2 : 16 = 57037,38;$$

$$C_Y = 54,6^2 + 55,4^2 + \dots + 55,4^2 - 57037,38 = 593,21.$$

Далее вычисляем сумму квадратов отклонений для дисперсии вариантов:  $C_V = \sum V^2 : n - C$  (12.4).

$$C_V = (232,8^2 + 241,9^2 + 267,0^2 + 213,6^2) : 4 - 57037,38 = 368,97$$

Сумма квадратов отклонений остаточной дисперсии находится по разности:  $C_Z = C_Y - C_V$  (12.5)

$$C_Z = 593,21 - 368,97 = 224,24.$$

Все полученные значения вносят в таблицу «Итоги дисперсионного анализа» и заполняют недостающие строки (таблица 12.2).

Таблица 12.2 – Итоги дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	F-критерий	
				факт.	05
Общая $C_Y$	593,21	15	-	-	-
Вариантов $C_V$	368,97	3	122,99	6,58	6,20
Остатка $C_Z$	224,24	12	18,69	-	-

Число степеней свободы определяют так: для общей дисперсии  $v = N - l = 16 - 1 = 15$ ; для вариантов  $v = l - 1 = 4 - 1 = 3$ , для остатка  $v = N - l = 16 - 4 = 12$ .

Дисперсии (средние квадраты отклонений) вычисляют для вариантов и остатка, путем деления соответствующей суммы квадратов отклонений на степень свободы:

$$\text{средний квадрат отклонений по вариантам; } S_v^2 = \frac{\Sigma V^2 : n - C}{l - 1}, \quad (12.6)$$

$$\text{средний квадрат отклонений остатка: } S^2 = \frac{C_Y - C_V}{N - l}. \quad (12.7)$$

Критерий Фишера находят из соотношения полученных дисперсий:

$$F_{\text{факт.}} = S_v^2 : S^2.$$

Теоретическое значение критерия Фишера ( $F_{\text{теор}}$ ) находят по таблице приложений 4 и 5, исходя из числа степени свободы дисперсии вариантов (числитель) и степени свободы остатка (знаменатель) на определенном уровне значимости.

В нашем случае при  $v_1 = 3$  и  $v_2 = 12$  на 5 % уровне значимости  $F_{05} = 6,20$ .

Если  $F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$  –  $H_0$  подтверждается, а различия между вариантами находятся в пределах ошибки опыта, которая вычисляется на третьем этапе.

При  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$  – имеются существенные различия по вариантам на определенном уровне значимости и нулевая гипотеза ( $H_0$ ) – отвергается. В этом случае необходимо оценить *существенность частных различий*.

В опыте по изучению способов опыления цветков озимой пшеницы  $F_{\text{факт.}} > F_{05}$ , значит, влияние способа опыления на завязываемость семян существенно и, следует оценить частные различия по вариантам.

**III.** Определение ошибки опыта ( $S_{\bar{x}}$ ) и оценка существенности частных различий с помощью *НСР*.

Ошибка опыта определяется по уже известным нам формулам 9.8 и 9.10:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}, \text{ где } S^2 - \text{остаточная дисперсия, } n - \text{число повторностей.}$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{18,7}{4}} = \pm 2,16\%$$

$$S_{\bar{x}} \% = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{2,16}{59,7} \cdot 100 = 3,62\%$$

На основании этих вычислений делается вывод о достоверности результатов опыта: *ошибка средней находится в пределах  $\pm 2,16\%$  при относительной ее величине  $3,62\%$ . Следовательно, опыт достоверен.*

Для вычисления *НСР* необходимо определить ошибку разности средних:

$$S_d = \sqrt{\frac{2S^2}{n}}. \quad (12.8)$$

Такая формула применяется, если в опыте есть контрольный вариант и число повторностей у всех вариантов одинаково. В случае отсутствия в опыте контрольного варианта средние показатели по вариантам сравнивают с общей средней арифметической по опыту и, тогда ошибка разности вычисляется с учетом числа вариантов ( $l$ ):

$$S_d = \sqrt{\frac{S^2 \cdot (l-1)}{l \cdot n}} = S_x \sqrt{\frac{l-1}{l}}. \quad (12.9)$$

В опыте по изучению способов опыления контроль не предусмотрен, поэтому  $S_d = 2,16 \cdot \sqrt{\frac{4-1}{4}} = 1,87\%$ .

Наименьшая существенная разность определяется с учетом выбранного уровня вероятности ( $HCP_{05}$  или  $HCP_{01}$ ) и выражается в конкретных единицах измерения или в процентах:

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d \quad (12.10); \quad HCP_{05} \% = \frac{t_{05} \cdot S_d}{\bar{x}} \cdot 100; \quad (12.11)$$

$$\text{или } HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d \quad HCP_{01} \% = \frac{t_{01} \cdot S_d}{\bar{x}} \cdot 100.$$

Теоретическое значение критерия Стьюдента ( $t_{05}$  или  $t_{01}$ ) определяют по числу степеней свободы остатка и соответствующему уровню значимости (приложение 2).

В нашем опыте  $t_{05} = 2,179$  при  $v = 12$ , тогда

$$HCP_{05} = 1,87 \cdot 2,179 = \pm 4,07 \%,$$

$$HCP_{05} \% = \frac{4,07}{59,7} \cdot 100 = 6,82\%.$$

На основании полученных результатов делаются агрономические выводы о существенности частных различий при попарном сравнении вариантов со стандартом (контролем) или со средней по опыту. Результаты опыта и статистической обработки записываются в таблицу 12.3.

Таблица 12.3 – Результаты дисперсионного анализа

Способ опыления	$\bar{x}$	Отклонение от стандарта (St, K), $d$		Группа урожайности
		$\pm$ в единицах измерения	$\pm$ в %	
1. Принудительное	60,5	0,8	1,34	2
2. Ограниченно-свободное	58,2	-1,5	-2,51	2
3. Твелл-метод	66,8	7,1	11,9	1
4. Свободное	53,4	-6,3	-10,6	3
	$\bar{x} = 59,7$	$\pm HCP_{05} = \pm 4,07$	$\pm HCP_{05} \% = 6,82$	

Для распределения вариантов по группам урожайности сравнивают отклонение каждого изучаемого варианта от стандарта ( $d$ ) (от средней по опыту) с  $HCP_{05}$  по опыту:

если  $d \geq +HCP_{05}$ , вариант относится к I группе, т.е. он имеет существенную прибавку урожая по сравнению со стандартом;

если  $+HCP_{05} > d > -HCP_{05}$ , вариант относится ко II группе, т.е. находится на уровне со стандартом, а значит, различия несущественны;

если  $d \leq -HCP_{05}$ , вариант относится к III группе, т.е. он существенно уступает стандартному сорту.

**Вывод:** Существенное преимущество по завязываемости семян (%) имеет вариант опыления твелл-методом. Его следует рекомендовать для использования. На уровне со средним значением, т.е. недостоверные различия имеют два способа опыления: принудительное и ограниченно-свободное. И значительно меньшую завязываемость семян получили при свободном опылении цветков. Этот способ опыления лучше не использовать на пшенице.

Дисперсионный анализ данных такого опыта можно провести и с помощью компьютерных программ *Excel*, *Statgraphics Plus for Windows*, *Statistics*.

Используя основные положения и предложенные формулы, самостоятельно провести дисперсионный анализ, выполнив задание 2.

**Задание 2.** Анализ массы зерна ярового ячменя сорта ТАН-1, полученного в вегетационном опыте с минеральным питанием, показал следующие результаты:

Вариант	Масса зерна, г/сосуд				
1. Без удоб- рений – (К)	25,6	27,1	20,7	20,9	24,4
2. N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>	26,8	33,2	24,5	28,4	27,3
3. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	35,5	36,8	37,6	34,8	29,4
4. N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>40</sub>	29,8	36,9	31,7	35,1	29,2
5. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	27,4	28,2	27,1	34,8	29,5

Оценить существенность различий между вариантами.

### **Однофакторный вегетационный опыт с разным числом наблюдений**

(для самостоятельного изучения)

В случае обработки данных вегетационного опыта, варианты которого имеют разное число наблюдений, возникает необходимость вычисления нескольких значений  $HCP$ , так как не все средние *равноточны*. В связи с этим, на каждом этапе необходимы дополнительные расчеты.

На первом этапе следует в рабочую таблицу добавить столбец (перед суммирующими значениями по вариантам), в котором уточняется число наблюдений ( $n$ ) по каждому варианту.

На втором этапе при вычислении суммы квадратов отклонений по вариантам,  $C_v$ , следует учесть, что в суммы по отдельным вариантам,  $\sum V_i$ , входит разное число наблюдений  $n$ . Поэтому формула 12.3 примет следующий вид:

$$C_v = \left( \sum_{i=1}^l \frac{V_i^2}{n_i} + \frac{V_2^2}{n_2} + \dots + \frac{V_l^2}{n_l} \right) - C$$

где  $l$  – число вариантов.

На третьем этапе при оценке существенности частных различий также необходимо учитывать неравноточность средних. При сравнении вариантов, имеющих разное число наблюдений, ошибку разности между средними вычисляют по формуле

$$S_d = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} = \sqrt{S^2 \cdot \frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}} \quad (12.13)$$

При сравнении вариантов с одинаковым числом наблюдений используют уже известную формулу (12.9) для вычисления  $S_d$ .

Значений  $HCP$ , соответственно, будет столько, сколько ошибок разности необходимо вычислить для попарного сравнения различных вариантов.

Поэтому в таблицу результатов анализа необходимо добавить колонку для  $HCP_{05}$  каждого варианта (таблица 12.4):

По результатам анализа следует сделать выводы, исходя из рекомендаций распределения по группам урожайности.

Таблица 12.4 – Результаты дисперсионного анализа

Вариант	$\bar{x}_i$	$\pm St (K)$		$\pm HCP_{05}$	Группы урожайности
		в единицах измерения	в %		

**Задание 3.** Установить, значимо ли различие по урожайности ярового ячменя в зависимости от срока посева. Метод размещения вариантов – неорганизованные повторения.

Срок посева	Урожайность, т/га ( $x_i$ )					
I (23.03)	2,45	2,30	2,60	2,20	2,55	2,40
II (30.03)	-	2,00	1,60	1,70	-	1,85
III (15.04)	1,50	1,60	1,60	-	1,70	-

Сделать агрономический вывод.

### Контрольные вопросы

1. Что такое статистический комплекс? Из чего он состоит в вегетационном опыте?
2. Формулировка нулевой гипотезы ( $H_0$ ) в дисперсионном анализе.
3. Модель дисперсионного анализа вегетационного опыта.
4. Этапы дисперсионного анализа.
5. Как определяется корректирующий фактор?
6. Из чего складывается общая сумма квадратов отклонений?
7. Как вычисляется сумма квадратов отклонений по вариантам?
8. Как вычисляется сумма квадратов отклонений остатка?
9. Что такое  $F_{факт}$  и как он вычисляется?
10. Как оценить существенность различий между вариантами?
11. Как определить ошибку опыта ( $S_{\bar{x}}$ ) и ошибку разности ( $S_d$ )?
12. Что такое  $HCP$ , для чего она используется?
13. Распределение вариантов по группам урожайности (рангам).
14. Чем отличается дисперсионный анализ в опыте с разным числом наблюдений?

## Практическая работа № 13

**Тема: Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта  
с однолетними культурами, размещенного организованными  
повторениями**

**Цели:** освоение метода дисперсионного анализа данных, полученных в полевом опыте, размещённом организованными повторениями; приобретение навыка оценки существенности различий по вариантам такого опыта.

**Продолжительность работы:** 2 часа.

*Основные положения*

Полевые опыты при изучении селекционного материала, сортов и элементов сортовой технологии представляют собой статистические комплексы, состоящие из нескольких *сопряженных выборок*. Сопряженность сравниваемых вариантов обусловлена территориально организованными повторениями. Поэтому в отличие от вегетационных опытов дисперсионная модель полевого однофакторного опыта, размещённого методом рендомизированных повторений, будет выглядеть так:

$$C_y = C_v + C_p + C_z, \quad (13.1)$$

где  $C_p$  – сумма квадратов отклонений результативного признака, варьирующего по повторениям.

Выполнение дисперсионного анализа однофакторного полевого опыта идёт в той же последовательности, что и в вегетационном опыте. Однако есть некоторые особенности, на которых следует остановиться.

На первом этапе при составлении рабочей таблицы (табл. 13.1) необходимо вычислить помимо сумм по вариантам  $\sum V$  и суммы по повторениям  $\sum P$ .

Таблица 13.1 – (Изучаемый признак)

Вариант	Результативный признак по повторениям ( $X_i$ )				Суммы $V$	Средние
	I	II	III	IV		
1	$X_{1.1}$	$X_{1.2}$	$X_{1.3}$	$X_{1.4}$	$V_1$	$X_1$
2	$X_{2.1}$	$X_{2.2}$	$X_{2.3}$	$X_{2.4}$	$V_2$	$X_2$
3	$X_{3.1}$	$X_{3.2}$	$X_{3.3}$	$X_{3.4}$	$V_3$	$X_3$
....	...	...	...	...	...	...
$l$	$X_{l.1}$	$X_{l.2}$	$X_{l.3}$	$X_{l.4}$	$V_l$	$X_l$
Суммы $P$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$\sum X =$	$\bar{x} =$

Правильность вычислений проверяется по соотношению:  $\sum P = \sum V = \sum X$ .

На втором этапе вычисление показателей дисперсионного анализа ведется согласно формулам, представленным в таблице 12.2, но дополнительно еще вычисляют сумму квадратов отклонений для повторений  $C_P$ :

$$C_P = \frac{\sum P^2}{l} - C_Y. \quad (13.2)$$

Тогда сумма квадратов отклонений для остаточной дисперсии будет равна:  $C_Z = C_Y - C_P - C_V$  (13.3).

Все полученные расчеты вносят в таблицу итогов дисперсионного анализа и вычисляют недостающие показатели (таблица 13.2).

Таблица 13.2 – Итоги дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат ( $S^2$ )	Критерий Фишера	
				$F_\phi$	$F_{05}$
Общая ( $Y$ )	$C_Y$	$N-1$	-		
Повторений ( $P$ )	$C_P$	$n-1$	-		
Вариантов ( $V$ )	$C_V$	$l-1$	$S_V^2$	$S_V^2 / S_Z^2$	
Остаточная ( $Z$ )	$C_Z$	$(n-1)(l-1)$	$S_Z^2$		

Средний квадрат отклонений по вариантам вычисляют по формуле 12.6

или  $S_v^2 = \frac{C_v}{l-1}$ , а средний квадрат остатка:  $S_Z^2 = \frac{C_Z}{(n-1)(l-1)}$ . (13.4)

Дисперсионный анализ позволяет определить долю влияния вариантов  $\eta_v^2$ , повторений  $\eta_P^2$  и случайных факторов  $\eta_Z^2$  на общую изменчивость признака:

$$\eta_v^2 = \frac{C_V}{C_Y} \quad (13.5), \quad \eta_P^2 = \frac{C_P}{C_Y} \quad (13.6), \quad \eta_Z^2 = \frac{C_Z}{C_Y}. \quad (13.7)$$

При этом в сумме влияние всех факторов равно единице или 100%:

$$\eta^2 = \eta_y^2 + \eta_v^2 + \eta_p^2 + \eta_z^2 = 1 \quad (100 \%).$$

Вычисление фактического значения критерия Фишера и сравнение его с теоретическим позволяет оценить существенность различий между средними. Однако он не указывает, между какими средними они существенны. В случае, когда общая оценка по критерию  $F$  выявляет наличие вариантов, существенно отличающихся от остальных ( $F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$ ) и нулевая гипотеза о равенстве средних отвергается, определяют, к каким вариантам относятся существенные различия с помощью критерия  $HCP$ . Если  $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$  оценку частных различий не проводят, поскольку все разности между любыми парами находятся в пределах ошибки.

Третий этап дисперсионного анализа по данным полевого опыта, размещенного организованными повторениями, проводится так же, как описано выше для вегетационного опыта. Выводы – аналогичны.

**Задание 1.** Провести дисперсионный анализ данных полевого опыта, размещенного методом рендомизированных повторений (таблица 13.3).

Таблица 13.3 – Урожайность озимого ячменя, т/га

Вариант	Урожайность по повторениям, ц/га				Сум- мы $V$	Средние $X_v$
	I	II	III	IV		
1, St	4,40	3,82	4,01	4,32		
2	4,84	5,40	4,96	5,32		
3	5,13	5,00	5,41	5,16		
4	5,00	5,16	5,04	5,16		
5	4,08	4,42	4,59	4,31		
6	6,25	6,24	6,16	6,07		
Суммы Р						

Сделать агрономический вывод.

### **Дисперсионный анализ данных в опыте с повышенной повторностью** (для самостоятельного изучения)

В полевых опытах возможны случаи, когда используется контроль или стандарт несколько раз в повторении (например, через каждые 5-10 номеров в селекционных питомниках). В таких случаях среднее значение результативного признака стандарта необходимо вычислить, исходя из общего числа

наблюдений. Например, если стандарт был расположен на 2-х делянках в « $n$ »

повторениях, то среднее значение его признака будет:  $\bar{x}_{st} = (V_1 + V_2) : (2 \cdot n)$

Далее расчёты ведутся по тому же алгоритму, что и в обычном полевом опыте. Но при определении  $HCP_{05}$  необходимо учесть неравноточность средних значений стандарта и опытных вариантов и использовать для вычисления ошибки разности формулу 12.13 при сравнении опытных вариантов со стандартом. Если возникнет необходимость сравнить варианты между собой, используют формулу 12.8. Соответственно и  $HCP$  будет две, и вычисляться они будут на основании двух ошибок разности средних.

**Задание 2.** Провести дисперсионный анализ полевого опыта с подсолнечником при повышенной повторности контроля (таблица 13.4).

Таблица 13.4 – Урожайность подсолнечника, т/га

Вариант	Урожай по повторениям			Суммы $V$	Средние $X_v$
	I	II	III		
1 (контроль)	1,56	1,71	1,56		
2	1,44	1,59	1,56		
3	1,68	1,78	1,67		
4	1,42	1,58	1,38		
5(контроль)	1,39	1,63	1,45		
6	1,59	1,87	1,76		
Суммы $P$					

Распределить варианты по группам урожайности. Сделать агрономический вывод.

### **Дисперсионный анализ данных неортогонального комплекса** (для самостоятельного изучения)

*Неортогональным* называется комплекс, в котором повторения имеют неодинаковое число вариантов («выпавшие» данные). При выпадении отдельных делянок из учёта, прежде чем проводить дисперсионный анализ данных, необходимо привести результаты опыта к сравнимому виду, то есть восстановить «выпавшие» данные.

Если из учёта выпала только одна делянка, то её восстанавливают по формуле:

$$x = \frac{lV + nP - \sum X}{(l-1)(n-1)}, \quad (13.8)$$

где  $l$  – число вариантов;

$n$  – число повторений;

$V$  – сумма данных того варианта, где выпала делянка;

$P$  – сумма данных того повторения, в котором выпала делянка;

$\sum X$  – общая сумма всех наблюдений.

Если из учета выпало несколько делянок, восстановление их данных ведут более сложным путем: методом последовательных приближений или путем сравнения вариантов, имеющих «выпавшие» делянки, с вариантами с полным набором делянок, вычисляя эффекты (отклонения) вариантов.

Рассмотрим более подробно последний. Вычисления проводят в

следующей последовательности:

1) в расчётной таблице исходных данных определить суммы по повторениям, включая только те варианты, которые имеют полный набор делянок по повторениям, и рассчитать средние по повторениям путём деления  $\Sigma P$  на число этих вариантов;

2) составить вспомогательную таблицу, в которую внести только варианты с «выпавшими» делянками и средние по повторениям, вычисленные для вариантов с полным набором делянок (таблица 13.5).

Для вычисления эффектов вариантов с «выпавшими» делянками определяют средние значения этих вариантов по оставшимся делянкам и средние значения по вариантам с полным набором делянок для этих же повторений и, затем сравнивают эти средние:

$$\bar{x}_1 = (x_{1.1} + x_{1.2} + x_{1.4}) : 3$$

$$\bar{x}_2 = (x_{2.1} + x_{2.2}) : 2$$

$$\bar{x}_{l1} = (x_{p1} + x_{p2} + x_{p4}) : 3$$

$$\bar{x}_{l2} = (x_{p1} + x_{p2}) : 2$$

$$\Theta_{11} = \bar{x}_{l1} - \bar{x}_{vl1} \quad \Theta_{12} = \bar{x}_{l2} - \bar{x}_{vl2}$$

Таблица 13.5 – Вспомогательная таблица для восстановления «выпавших» данных

Вариант	Значения по повторениям, $x_i$				Сумма $V$	Средняя по вариантам	
	I	II	III	IV		$l_1$	$l_2$
$l_1$	$X_{l.1}$	$X_{l.2}$	—	$X_{l.4}$	$V_1$	$\bar{x}_1$	—
$l_2$	$X_{2.1}$	$X_{2.2}$	—	—	$V_2$	—	$\bar{x}_2$
$\bar{x}$ по вариантам с полным набором делянок	$\bar{X}_{P1}$	$\bar{X}_{P2}$	$\bar{X}_{P3}$	$\bar{X}_{P4}$	—	$\bar{X}_{l1}$	$\bar{X}_{l2}$
Эффект варианта						$\Theta_{11}$	$\Theta_{12}$
Восстановленный результативный признак							
$l_1$			$x'_{l1}$				
$l_2$			$x'_{l2}$	$x'_{l3}$			

3) восстановить «выпавшие» данные, то есть рассчитать теоретически ожидаемый урожай (или другой результативный признак). Теоретические значения результативного признака находят путём сложения среднего значения по тому повторению, где выпала делянка и эффекта по варианту с «выпавшей» делянкой.

$$x'_{l1} = \bar{x}_{p3} + \Theta_{11}$$

$$x'_{l2} = \bar{x}_{p3} + \Theta_{11}$$

$$x'_{l3} = \bar{x}_{p4} + \Theta_{12}$$

4) составить расчётную таблицу, в которой восстановленные данные

заклЮчить в скобки и расчёты вести уже по известной схеме.

5) при составлении итоговой таблицы дисперсионного анализа необходимо учесть количество «выпавших» делянок, вычисляя число степеней свободы остатка, то есть из полученного по формуле  $(n-1)(l-1)$  числа степеней свободы вычесть то количество делянок, которое выпало из учёта.

6) при определении существенности частных различий особенностью в опыте с восстановленными данными является учёт фактических дат, лежащих в основе вычисления статистических показателей. Поэтому вычисляют

где  $n_1 n_2 \dots n_l$  – фактическое число повторений по каждому варианту.

Ошибка разности,  $S_d$  в зависимости от того, какие варианты сравниваетмежду собой, равноточные или неравноточные, вычисляется по уже известным формулам 12.8 и 12.13.

**Задание 3.** Провести дисперсионный анализ в опыте по сортоиспытанию ярового ячменя, в котором выпали из учета три делянки.

Таблица 13.6 – Урожайность ярового ячменя, т/га

Вариант	Урожай по повторениям, $X_i$				$\sum V$	$\bar{x}_v$
	I	II	III	IV		
1st	3,64	4,20	3,94	4,00		
2	4,10	3,76	3,64	4,20		
3	3,92	4,10	-	4,04		
4	4,54	4,26	4,20	4,50		
5	3,64	-	-	3,76		
$\sum P$					$\sum x_i$	$\bar{x}$

Оценить существенность различий по сортам. Распределить по группам урожайности.

#### Контрольные вопросы

1. Какова модель дисперсионного анализа полевого опыта, размещенного рендомизированно?
2. Что собой представляет статистический комплекс полевого опыта?
3. Какова последовательность вычислений данных при таком опыте?
4. Как вычислить сумму квадратов отклонений по повторениям?
5. Какова особенность проведения дисперсионного анализа в опыте с повышенной повторностью?
6. Как определить среднее значение варианта, имеющего повышенное число повторений?
7. Сколько НСР необходимо вычислить для оценки существенности частных различий в опыте с повышенной повторностью?
8. Как проводится анализ в опыте с «выпавшими» данными?
9. Как восстановить одну «выпавшую» из учета делянку?
10. Восстановление «выпавших» данных на нескольких делянках.
11. На каком этапе дисперсионного анализа необходимо учесть количество «выпавших» делянок?
12. Как оценить существенность частных различий в опыте с

восстановленными данными?

## Практическая работа № 14

**Тема: Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта, размещенного латинским квадратом или прямоугольником**

**Цели:** освоение метода дисперсионного анализа данных, полученных в полевом опыте, размещённом методом латинского квадрата или прямоугольника; приобретение навыка оценки существенности различий по вариантам такого опыта.

**Продолжительность работы:** 2 часа.

*Основные положения*

В латинском квадрате и прямоугольнике расположение вариантов ортогонально, т.е. уравновешенно в двух взаимно перпендикулярных направлениях – по рядам и столбцам, что позволяет исключить в конечном итоге из общего варьирования результативного признака варьирование по рядам и столбцам.

Модель дисперсионного анализа данных опыта, размещенного методом латинского квадрата, выглядит так:

$$C_y = C_v + C_p + C_c + C_z, \quad (14.1)$$

где  $C_p = \sum P^2 : n - C$  – варьирование по рядам; (14.2)

$C_c = \sum C^2 : n - C$  – варьирование по столбцам. (14.3)

При этом степень свободы для остаточной дисперсии будет равна:

$$v = (n - 1)(n - 2). \quad (14.4)$$

В случае выпадения из учета одной делянки восстановленный урожай определяют по формуле:

$$x' = \frac{n(P + C + V) - 2 \sum X}{(n - 1)(n - 2)}, \quad (14.5)$$

где  $n$  – число рядов, столбцов и вариантов;

$P, V, C$  – сумма данных того ряда, столбца и варианта, где находится выпавшая делянка;

$\sum X$  – общая сумма всех фактических наблюдений.

В опыте, размещенном методом латинского прямоугольника, схема дисперсионного анализа не меняется, но так как в отличие от латинского квадрата в прямоугольнике число вариантов кратно числу повторений, а не равно, то варьирование по рядам и столбцам должно учитывать это число вариантов. Поэтому суммы квадратов отклонений по рядам и столбцам вычисляются так:

$$C_p = \sum P^2 : l - C. \quad (14.6)$$

$$C_c = \sum C^2 : l - C. \quad (14.7)$$

Степень свободы для остаточной дисперсии определяется с учетом числа вариантов и повторений:

$$v = (n - 1)(l - 2). \quad (14.8)$$

### Порядок проведения анализа

1. Выдвижение нулевой гипотезы  $H_0$ .
2. В рабочей таблице подсчет сумм по рядам, столбцам, вариантам и общей суммы по опыту. Помнить, что  $\sum P = \sum C = \sum V = \sum X$ . Определение средних по вариантам и по опыту в целом.
3. Вычисление сумм квадратов отклонений для общей дисперсии  $C_y$ , дисперсии по рядам  $C_p$ , столбцам  $C_c$ , вариантам  $C_v$  и остатку  $C_z$ , определив предварительно корректирующий фактор ( $C$ ).
4. Составление таблицы итогов дисперсионного анализа, определение в ней числа степеней свободы для каждой дисперсии, средних квадратов для вариантов и остатка и вычисление критерия Фишера. Сравнив его с теоретическим значением, оценить существенность различий между вариантами.
5. Определение ошибки опыта и оценка существенности частных различий с помощью НСР.
6. Подведение итогов анализа и интерпретация выводов.

Пользуясь основными рекомендациями по проведению анализа, выполнить предложенные задания.

*Задание 1.* Оценить существенность различий между средними по урожайности озимого ячменя в опыте, размещенном методом латинского квадрата 5 x 5 (латинскими буквами обозначены варианты). Вариант А – контроль (таблица 14.1).

Таблица 14.1 – Урожайность озимого ячменя, т/га

Ряд	Столбец					$\sum P$	$\sum V$	$\bar{x}_l$
	1	2	3	4	5			
1	6,3 В	4,4 С	4,5 D	4,9 Е	4,2 А			
2	5,4 Е	4,4 D	4,6 А	5,6 В	4,5 С			
3	4,6 А	5,6 В	4,0 С	4,8 D	5,4 Е			
4	4,6 D	4,5 А	5,2 Е	4,3 С	5,8 В			
5	4,8 С	5,1 Е	5,9 В	4,7 А	4,7 D			
$\sum C$								

*Задание 2.* В опыте, варианты которого размещены латинским прямоугольником 4 x 4 x 2, получена следующая урожайность зеленой массы кукурузы (таблица 14.2). Контрольным вариантом в опыте является вариант А. Провести дисперсионный анализ и оценить существенность различий между вариантами.

Таблица 14.2 – Урожайность зеленой массы кукурузы, т/га

Ряд	Столбец				$\Sigma P$	$\Sigma V$	$\bar{x}_l$
	1	2	3	4			
1	49 E	64 G	35 B	50 D			
	43 A	65 C	47 F	60 H			
2	64 G	42 E	55 D	35 B			
	66 C	42 A	54 H	35 F			
3	40 F	50 H	40 E	51 G			
	40 B	48 D	36 A	60 C			
4	53 H	45 F	53 G	30 E			
	62 D	37 B	59 C	46 A			
$\Sigma C$					$\Sigma X =$		$\bar{x} =$

### Контрольные вопросы

1. Каковы особенности дисперсионного анализа в опыте, размещенном методом латинского квадрата?
2. Модель дисперсионного анализа латинского квадрата.
3. Как определить  $C_p$  и  $C_c$  в таком анализе?
4. Какова остаточная степень свободы в опыте, размещенном методом латинского квадрата?
5. Как проводится анализ данных латинского квадрата, если из учета «выпала» делянка?
6. Модель дисперсионного анализа латинского прямоугольника.
7. Как определить  $C_p$  и  $C_c$  в дисперсионном анализе данных опыта, размещенном методом латинского прямоугольника?

### Практическая работа № 15

#### Тема: Дисперсионный анализ данных многофакторного опыта

**Цели:** изучение особенностей проведения дисперсионного анализа данных многофакторных полевых опытов; освоение метода дисперсионного анализа данных, полученных в полевом опыте, размещенном организованными повторениями при изучении одновременно двух факторов.

**Продолжительность работы** – 2 часа.

### Основные положения

*Многофакторный дисперсионный комплекс* – это совокупность исходных наблюдений (дат), позволяющих статистически оценить действие и *взаимодействие* нескольких изучаемых факторов на изменчивость результативного признака.

*Эффект взаимодействия факторов* составляет ту часть общей изменчивости, которая вызвана различным действием одного фактора при разных градациях другого.

Специфическое действие сочетаний в ПФЭ выявляется тогда, когда при одной градации первого фактора второй действует слабоили угнетающе, а при другой – он проявляется сильно и стимулирует развитие результативного признака.

Эффект от совместного применения изучаемых факторов в полевом опыте может быть **положительным (синергизм)**, т.е. превышающим сумму эффектов раздельного применения каждого из них или **отрицательным (антагонизм)**, т.е. меньшим по сравнению с суммой эффектов раздельного применения. Когда прибавка от совместного действия равна сумме эффектов раздельного применения каждого из изучаемых факторов, т.е. эффект взаимодействия отсутствует, его называют **аддитивным**.

Определить эффект взаимодействия факторов позволяет дисперсионный анализ. В зависимости от метода размещения вариантов в опыте алгоритм анализа несколько отличается.

### ***Двухфакторный полевой опыт, размещенный методом организованных повторений***

*Моделью двухфакторного полевого опыта является:*

$$C_y = C_v + C_P + C_z, \text{ или } C_y = C_A + C_B + C_{AB} + C_P + C_z, \quad (15.1)$$

так как  $C_v = C_A + C_B + C_{AB}$ ,

где  $C_A, C_B, C_{AB}$  – варьирование признака в результате действия фактора  $A, B$  и их взаимодействия.

В трехфакторном опыте дисперсия по вариантам разлагается на семь компонентов:  $C_v = C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC} + C_{ABC}$ , в четырехфакторном – на 14 и т.п.

Обработка данных двухфакторного полевого опыта проводится в пять этапов:

#### **1. Составление рабочей таблицы и вычисление сумм и средних значений (таблица 15.1).**

Таблица 15.1 – Результативный признак изучаемой культуры

Фактор А	Фактор В	Данные по повторениям, $x_i$				$\sum V$	$\bar{x}_v$
		I	II	III	IV		
$a_0$	$b_1$						
	$b_2$						
	$b_3$						
$a_1$	$b_1$						
	$b_2$						
	$b_3$						
$\sum P$						$\sum x$	$\bar{x}$

Варианты опыта в таблице указывают с учетом градаций факторов.

**2. Разложение общей дисперсии на ее составляющие:**  $C_Y = C_V + C_P + C_Z$  и определение существенности различий с помощью критерия  $F$ .

1) общее число наблюдений:  $N = l_A \cdot l_B \cdot n$ ,  
где  $l_A$  и  $l_B$  – число градаций факторов  $A$  и  $B$ ;

2) корректирующий фактор (поправка):  $C = \frac{(\sum X)^2}{N}$ ;

3) общая сумма квадратов отклонений:  $C_Y = \sum X^2 - C$ ;

4) сумма квадратов для повторений:  $C_P = \frac{\sum P^2}{l_A \cdot l_B} - C$  (15.2)

5) сумма квадратов для вариантов:  $C_V = \frac{\sum V^2}{n} - C$ ;

6) сумма квадратов для ошибки (остаток):  $C_Z = C_Y - C_V - C_P$ ;

7) составление таблицы итогов дисперсионного анализа (таблица 15.2).

Таблица 15.2 – Итоги дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера	
				$F_\phi$	$F_{05}$
Общая (Y)	$C_Y$	$N-1$	-		
Повторений (P)	$C_P$	$n-1$	-		
Вариантов (V)	$C_V$	$l_a \cdot l_b - 1$	$S_V^2$	$S_V^2 / S_Z^2$	
Остаточная (Z)	$C_Z$	$(n-1)(l-1)$	$S_Z^2$		

8) определение средних квадратов (дисперсий) – вариантов и ошибки:

$$s_V^2 = \frac{C_V}{l-1}, \text{ где } l = l_a \cdot l_b; \quad s_Z^2 = \frac{C_Z}{(n-1)(l-1)};$$

9) определение силы влияния вариантов, повторений и случайных

$$\eta^2 = \frac{C_V}{C_Y}, \quad \eta^2 = \frac{C_P}{C_Y}, \quad \eta^2 = \frac{C_Z}{C_Y};$$

факторов на общую дисперсию признака:  $\eta^2 = \frac{C_V}{C_Y}, \quad \eta^2 = \frac{C_P}{C_Y}, \quad \eta^2 = \frac{C_Z}{C_Y};$

10) определение существенности различий по вариантам с помощью  $F$ -критерия Фишера. Если  $F_{\text{факт.}} \geq F_{\text{теор.}}$  имеются существенные различия и необходимо оценить существенность главных эффектов и эффекта взаимодействия факторов.

**3. Разложение дисперсии по вариантам,  $C_V$ , на соответствующие источники варьирования, главные эффекты изучаемых факторов,  $C_A$  и  $C_B$ , и их взаимодействие,  $C_{AB}$ :**  $C_V = C_A + C_B + C_{AB}$ .

11) для определения главных эффектов и эффекта взаимодействия факторов составляют дополнительную таблицу, чтобы вычислить суммы по факторам  $A$  и  $B$ ,  $\sum A$ ,  $\sum B$  (таблица 15.3).

Таблица 15.3 – Вычисление сумм вариантов по факторам  $A$  и  $B$ 

Градация $A$	Градация $B$			Сумма $A$
	1	2	3	
1	$A_{1.1}$	$A_{1.2}$	$A_{1.3}$	$A_1$
2	$A_{2.1}$	$A_{2.2}$	$A_{2.3}$	$A_2$
Сумма $B$				Сумма $x$

12) варьирование признака под действием фактора  $A$ :

$$C_A = \Sigma A^2 : \left( l_B \cdot n \right) - C; \quad (15.3)$$

13) варьирование признака под действием фактора  $B$ :

$$C_B = \Sigma B^2 : \left( l_A \cdot n \right) - C; \quad (15.4)$$

14) варьирование признака в результате взаимодействия факторов:

$$C_{AB} = C_V - C_A - C_B.$$

Полученные результаты свести в итоговую таблицу для выявления существенности влияния отдельных факторов и их взаимодействия по  $F$ -критерию (таблица 15.4).

Таблица 15.4 – Итоги дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат ( $S^2$ )	Критерий Фишера	
				$F_\phi$	Табличный $F_{05}$
Общая	$C_Y$	$N-1$	-	-	-
Повторений	$C_P$	$n-1$	-	-	-
Фактора $A$	$C_A$	$(l_A-1)$	$S_A^2$	$S_A^2 / S_Z^2$	
Фактора $B$	$C_B$	$(l_B-1)$	$S_B^2$	$S_B^2 / S_Z^2$	
Взаимодействия $AB$	$C_{AB}$	$(l_A-1)(l_B-1)$	$S_{AB}^2$	$S_{AB}^2 / S_Z^2$	
Остатка (ошибки)	$C_Z$	$(N-1)-(n-1)-(l_A \cdot l_B - 1)$	$S_Z^2$	-	-

**4. Оценка существенности частных различий и определение  $HCP_{05}$**  для сравнения любых средних значений в опыте между собой проводится так же, как и в предыдущих случаях.

**5. Оценка существенности главных эффектов и эффекта взаимодействия по  $HCP_{05}$ .** Здесь необходимо помнить, что средние для главных эффектов  $A$ ,  $B$  и их взаимодействия опираются не только на повторения, но и на число градаций каждого фактора. Поэтому при вычислении ошибок главных эффектов и эффекта взаимодействия  $S'_d$  и  $S''_d$  и соответствующих им  $HCP_{05}$  или  $HCP_{01}$  необходимо это учитывать.

При сравнении вариантов опыта с разными градациями фактора  $A$  и одинаковыми градациями фактора  $B$  ошибку разности вычисляют так:

$$S'_d = \sqrt{\frac{2S^2}{n \cdot l_B}}; . \quad (15.5)$$

Опираясь на эту ошибку, определяют  $HCP'_{05} = t_{05} \cdot S'_d$ .

Для фактора  $B$  и взаимодействия  $AB$  ошибка разности составит:

$$S'_d = \sqrt{\frac{2S^2}{n \cdot l_A}}; . \quad (15.6)$$

$HCP'_{05} = t_{05} \cdot S'_d$  применяют при сравнении вариантов с разными градациями фактора  $B$  и одинаковыми градациями фактора  $A$  или для оценки существенности различий эффекта взаимодействия.

Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта можно представить в виде таблицы 15.5 или графика (рис.15.1).

Таблица 15.5 – Действие изучаемых факторов на результативный признак ( $HCP_{05} =$ )

Фактор $A$	Фактор $B$			$HCP'_{05}$
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	
$a_0$				
$a_1$				
$HCP''_{05}$				

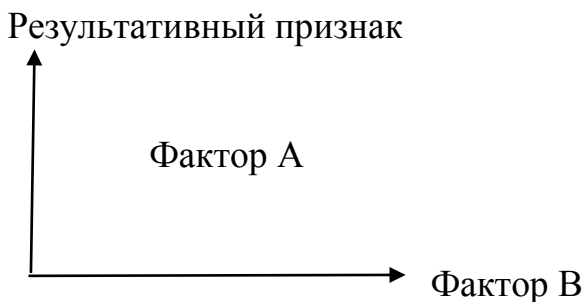


Рисунок 15.1 – Действие изучаемых факторов на результативный признак

На основании полученных результатов необходимо пояснить, каков эффект взаимодействия изучаемых факторов (положительный, отрицательный или аддитивный), сравнив его с суммами главных эффектов и дать агрономические рекомендации.

*Задание 1.* Провести дисперсионный анализ данных опыта по изучению влияния органических и минеральных удобрений на поражение озимой пшеницы бурой ржавчиной. Варианты размещены методом организованных повторений (таблица 15.6). Оценить эффект взаимодействия изучаемых факторов и сделать агрономический вывод.

Таблица 15.6 – Степень поражения озимой пшеницы мучнистой росой, %

Органиче-ские удобре-ния, т/га (А)	Минераль-ные удоб-рения (В)	Поражение бурой ржавчиной по повто-рениям, %				$\Sigma V$	$\bar{x}_v$
		I	II	III	IV		
Не вносили	Не вносили	23	18	28	20		
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	25	24	17	18		
	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>45</sub>	26	17	15	13		
10	Не вносили	18	17	18	18		
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	15	12	13	12		
	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>45</sub>	10	10	9	9		
20	Не вносили	23	26	28	20		
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	13	19	14	17		
	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>45</sub>	8	7	3	10		
$\Sigma P$							

**Полевой опыт, размещенный методом неорганизованных повторений**  
(для самостоятельного изучения)

Данные полевого опыта, размещенного методом неорганизованных повторений (или вегетационного), обрабатываются по типу несопряженных выборок. Общее варьирование результативного признака складывается из варьирования по вариантам и остаточного или случайного варьирования.

$$C_y = C_v + C_z.$$

В свою очередь варьирование по вариантам,  $C_v$  – это результат действия каждого изучаемого фактора и их взаимодействия:

$$C_v = C_A + C_B + C_{AB} \text{ – в двухфакторном опыте.}$$

$$\text{Тогда общая схема: } C_y = C_A + C_B + C_{AB} + C_z.$$

Обработка данных такого опыта методом дисперсионного анализа проводится аналогично, описанному выше. Только следует помнить, что дисперсия по повторениям здесь не вычисляется.

**Задание 2.** Провести дисперсионный анализ данных двухфакторного опыта по изучению влияния азотных и фосфорных удобрений на урожайность озимой пшеницы. Варианты опыта размещены методом неорганизованных повторений (таблица 15.7).

Таблица 15.7 – Урожайность зерна озимой пшеницы, т/га

Фактор А, азот	Фактор В, фосфор	Урожай по повторностям, X				$\Sigma V$	$\bar{x}_i$
		1	2	3	4		
a <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	3,51	3,43	3,75	3,68		
	B <sub>1</sub>	3,84	3,58	3,72	3,76		
	B <sub>2</sub>	3,75	3,88	3,90	3,65		
a <sub>1</sub>	B <sub>0</sub>	4,04	3,93	3,86	3,72		
	B <sub>1</sub>	3,96	3,87	3,95	4,01		
	B <sub>2</sub>	3,92	4,08	4,17	3,87		

Оценить эффект взаимодействия двух факторов на урожайность.

**Дисперсионный анализ многофакторного полевого опыта, размещенного  
методом расщепленных делянок**  
(для самостоятельного изучения)

*Расщепленные делянки* – это сложные делянки (совмещение в одной делянке двух и более изучаемых факторов), разные по площади. Поэтому сравнения главных эффектов и их взаимодействий в дисперсионном анализе данных будут неравноточны. Новым элементом или этапом при обработке данных, является *разложение суммы квадратов остатка*,  $C_z$ , на компоненты, связанные с вариабельностью делянок первого (ошибка I), второго (ошибка II), третьего (ошибка III) и т.д. порядков.

Первые три этапа расчетов ведутся в той же последовательности, что и в случае с рендомизированными повторениями.

На *четвертом этапе* необходимо определить ошибки градаций факторов  $A$ ,  $B$  и т.д. и их взаимодействия. В двухфакторном опыте таких ошибок будет две, для вариантов фактора  $A$ , которые изучаются на более крупных делянках I порядка (ошибка I,  $C_{ZI}$ ) и для вариантов фактора  $B$  и взаимодействия (ошибка II,  $C_{ZII}$ ).

$$C_z = C_{ZI} + C_{ZII}. \quad (15.7)$$

Сумма квадратов отклонений первой ошибки,  $C_{ZI}$  позволяет оценить действие фактора  $A$ , а сумма квадратов отклонений второй ошибки,  $C_{ZII}$  – эффект фактора  $B$  и взаимодействия  $AB$ .

Чтобы определить варьирование на делянках I порядка  $C_{ZI}$ , нужно составить вспомогательную таблицу 15.8, куда записывают суммы результативного признака по делянкам I порядка.

Таблица 15.8 – Результативный признак по делянкам I порядка

Фактор $A$	Значения по повторениям, $p_i$				Сумма $A$
	I	II	III	IV	
$a_0$	$*p_{0I}$	$p_{0II}$	$p_{0III}$	$p_{0IV}$	$A_0$
$a_1$	$p_{1I}$	$p_{1II}$	$p_{1III}$	$p_{1IV}$	$A_1$
Сумма $P$	$p_I$	$p_{II}$	$p_{III}$	$p_{IV}$	$\sum x$

Примечание: \*р – сумма значений признака на делянках I порядка

Общая сумма квадратов отклонений результативного признака на делянках I порядка,  $C_{YI}$ :

$$C_{YI} = \sum p^2 : l_B - C, \text{ но } C_{YI} = C_A + C_P + C_{ZB}, \quad (15.8)$$

$$\text{отсюда } C_{ZI} = C_{YI} - C_A - C_P \quad (15.9)$$

при  $v = (l_A - 1)(n - 1)$ .

Исходя из формулы 15.7, сумма квадратов отклонений на делянках второго порядка будет равна:  $C_{ZII} = C_z - C_{ZI}$ .

Далее составляем таблицу итогов дисперсионного анализа и определяем существенность действия и взаимодействия факторов (таблица 15.9).

Таблица 15.9 – Итоги дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат ( $S^2$ )	Критерий Фишера	
				$F_{\text{факт}}$	$F_{05}$
Общая	$C_Y$	$N-1$	-	-	-
Повторений	$C_P$	$n-1$	-	-	-
Фактора А	$C_A$	$(l_A-1)$	$S_A^2$	$S_A^2/S_{ZI}^2$	
Ошибки I	$C_{ZI}$	$(n-1)(l_A-1)$	$S_{ZI}^2$	-	-
Фактора В	$C_B$	$(l_B-1)$	$S_B^2$	$S_B^2/S_{ZII}^2$	
Взаимодействия АВ	$C_{AB}$	$(l_A-1)(l_B-1)$	$S_{AB}^2$	$S_{AB}^2/S_{ZII}^2$	
Ошибки II	$C_{ZII}$	$(N-1)-(n-1) \cdot (l_A \cdot l_B - 1)$	$S_{ZII}^2$	-	-

Сравнив  $F_{\text{факт.}}$  и  $F_{05.}$ , оценить существенность различий по главным эффектам и их взаимодействию.

На *пятом этапе* обработки данных дать оценку существенности частных различий для делянок I и II порядка:

$$\text{а) для делянок I порядка: } S'_x = \sqrt{\frac{S_{ZI}^2}{n}}; \quad S'_d = \sqrt{\frac{2S_{ZI}^2}{n}}; \quad HCP'_{05} = t_{05} \cdot S'_d;$$

$$\text{б) для делянок II порядка: } S''_x = \sqrt{\frac{S_{ZII}^2}{n}}; \quad S''_d = \sqrt{\frac{2S_{ZII}^2}{n}}; \quad HCP''_{05} = t_{05} \cdot S''_d.$$

*Шестой, заключительный этап* позволяет оценить существенность главных эффектов и их взаимодействия:

а) главный эффект фактора А:

$$S''_d = \sqrt{\frac{2S_{ZI}^2}{n \cdot l_B}}; \quad HCP'' = t_{05} \cdot S''_d;$$

б) главный эффект фактора В и эффект взаимодействия АВ:

$$S'''_d = \sqrt{\frac{2S_{ZII}^2}{n \cdot l_A}}; \quad HCP''' = t_{05} \cdot S'''_d;$$

В выводах при оценке:

- а) значимости различий между частными средними по делянкам I порядка используют  $HCP'_{05}$ ;
- б) значимости различий между частными средними по делянкам II порядка –  $HCP''_{05}$ ;
- в) значимости главного эффекта фактора А независимо от фактора В –  $HCP''_{05}$ ;
- г) значимости главного эффекта фактора В независимо от фактора А и эффекта их взаимодействия –  $HCP'''_{05}$ .

Результаты опыта и статистической обработки представляют в виде таблицы или графика (таблица 15.5, рисунок 15.1).

*Задание 3.* В 2-факторном опыте с яровым ячменём на делянках I порядка изучалось влияние сроков сева (первый срок – 9.04, второй срок – 17.04), а на делянках II порядка – различные нормы высева (400, 500, 600 зерен/м<sup>2</sup>) Данные представлены в таблице 15.10.

Таблица 15.10 – Урожайность ярового ячменя, т/га

Сроки посева	Нормы высева	Урожай по повторениям, $x$				$\Sigma V$	$\bar{x}_v$
		I	II	III	IV		
I	400	2,60	3,40	3,40	2,80		
	500	3,24	3,66	3,35	3,55		
	600	3,70	4,40	4,08	4,06		
II	400	2,50	2,20	2,45	2,25		
	500	2,80	3,16	2,95	2,89		
	600	3,20	2,76	2,84	3,22		
$\Sigma P$							

Обработать результаты опыта методом дисперсионного анализа и сделать агрономический вывод.

#### *Контрольные вопросы*

1. Что такое многофакторный дисперсионный комплекс?
2. Какие компоненты включает в себя дисперсия по вариантам?
3. Какова модель дисперсионного анализа двухфакторного полевого опыта, размещенного организованно?
4. Какова методика дисперсионного анализа данных двухфакторного полевого опыта?
5. Как определить варьирование признака под действием фактора  $A$ , фактора  $B$  и их взаимодействия  $AB$ ?
6. Что составляет эффект взаимодействия факторов? Какой он бывает?
7. Как вычислить  $C_p$ ?
8. Как определить силу влияния вариантов, повторений и случайных факторов на общую дисперсию признака?
9. В каком случае переходят к определению главных эффектов и эффекта взаимодействия?
10. Как оценить существенность различий главных эффектов и взаимодействия по  $НСР_{05}$ ? Что необходимо учитывать?
11. Как можно представить результаты анализа?
12. Чем отличается дисперсионный анализ многофакторного полевого опыта, размещенного неорганизованными повторениями?
13. Модель двухфакторного вегетационного опыта.
14. В чем особенность метода расщепленных делянок?
15. Модель дисперсионного анализа данных двухфакторного полевого опыта, размещенного методом расщепленных делянок.

16. Этапы анализа.
17. Что такое  $C_{ZI}$  и  $C_{ZII}$ ? Как их определить?
18. Как вычислить ошибку средней для делянок первого порядка? второго порядка?
19. Как сделать вывод по результатам анализа?

### Краткий указатель символов

$\mu$  – средняя генеральной совокупности;  
 $\sigma^2$  – дисперсия генеральной совокупности;  
 $\sigma$  – стандартное отклонение генеральной совокупности;  
 $x_i$  – значение (варианта) варьирующего признака;  
 $\bar{x}$  – выборочная средняя, арифметическая средняя;  
 $S^2$  – выборочная дисперсия, средний квадрат;  
 $S$  – выборочное стандартное отклонение, среднее квадратическое отклонение;  
 $V$  – коэффициент вариации, изменчивости;  
 $S_{\bar{x}}$  – средняя ошибка выборочной средней;  
 $S_{\bar{x}} \%$  – относительная ошибка выборочной средней;  
 $d$  – разность между выборочными средними;  
 $S_d$  – ошибка разности между выборочными средними;  
 $l$  – число вариантов;  
 $n$  – число повторностей, объем выборки;  
 $N$  – общее число наблюдений в опыте;  
 $\nu$  – число степеней свободы;  
 $P$  – уровень вероятности;  
 $P_1$  – уровень значимости;  
 $t_{\text{факт.}}$  – фактическое значение критерия  $t$  Стьюдента;  
 $t_{05}, t_{01}$  – табличные значения критерия для 5%-го и 1%-го уровня значимости;  
 $F_{\text{ф}}$  – фактическое значение критерия  $F$  Фишера;  
 $F_{05}, F_{01}$  – табличные значения критерия  $F$  для 5%-го и 1%-го уровня значимости;  
 $\chi^2_{\text{ф}}$  – фактическое значение критерия хи-квадрат Пирсона;  
 $\chi^2_{05}, \chi^2_{01}$  – табличные значения критерия хи-квадрат для 5 %-го и 1%-го уровня значимости;  
 $H_0$  – нулевая гипотеза;  
 $HSP_{05}, HSP_{01}$  – наименьшие существенные разности для 5%-го и 1%-го уровня значимости;  
 $C$  – корректирующий фактор (поправка) дисперсионном анализе;  
 $C_y, C_p, C_v, C_z$  и т.д. – суммы квадратов отклонений для разных источников варьирования в дисперсионном анализе;  
 $\Sigma$  – сумма, знак суммирования;  
 $ДИ, \div$  – доверительный интервал.

### Краткий словарь терминов

**Абсолютная ошибка** – мера отклонения между фактически вычисленным значением показателя (выборочным) и истинным (в генеральной совокупности).

**Альтернативная совокупность** – изучаемая совокупность, представленная 2-мя градациями признака

**Вариант** – отдельный элемент опыта, источник новой информации.

**Варианта** (дата,  $x_i$ ) – отдельное числовое значение варьирующего признака.

**Вариационный ряд** – двойной ряд чисел, который показывает, с какой частотой встречаются те или иные значения признака.

**Вероятность доверительная** – уровень вероятности, который считается достаточным для суждения о достоверности статистических показателей, получаемых на основе выборочных данных (в агрономических исследованиях используют 95 и 99 % уровень вероятности).

**Выборочная совокупность** – часть генеральной, отобранная для совместного изучения.

**Выборочный метод** – метод при изучении статистических совокупностей, основанный на изучении выборки.

**Генеральная совокупность** – бесконечно большое множество относительно однородных единиц, составляющих ее содержание.

**Гистограмма** – изображение интервального вариационного ряда в виде столбиковой диаграммы. Показывает зависимость между классами и частотой встречаемости в них соответствующих значений признака.

**Градации** – отдельные значения изучаемого фактора в эксперименте (уровни фактора). Бывают фиксированные, случайные и иерархические.

**Группировка данных** – процесс систематизации первичных данных в целях извлечения полученной информации и обнаружения закономерностей.

**Делянка** – элементарная единица полевого опыта, на которой располагают вариант опыта.

**Дисперсионный анализ** – метод статистической оценки результатов эксперимента, заключающийся в разложении общей изменчивости признака на составляющие компоненты, (как минимум два) Существенность влияния различных факторов на результативный признак оценивают с помощью критериев F и НСР.

**Дисперсия** (от лат. dispersio – рассеивание), или **варианса** – средний квадрат отклонений вариант от их средней величины в данной совокупности. **Доверительный интервал** – область нахождения значений, в пределах которой может находиться параметр генеральной совокупности на определенном уровне вероятности.

**Единица наблюдений** – отдельный элемент биологического объекта.

**Защитная полоса (защитка)** – боковая (по длине) или концевая (по ширине) часть опытной делянки, предназначенная для предохранения учетной площади от краевых воздействий и случайных повреждений.

**Изменчивость признака** – свойство всего живого отличаться друг от друга.

**Контроль, стандарт** – один или несколько хорошо изученных вариантов, с которыми сравнивают опытные варианты.

**Коэффициент вариации** – показатель, характеризующий степень изменчивости признака, выраженный в процентах.

**Критерий** (от греч. kriterion – мерило, средство суждения) – показатель, позволяющий судить о надежности выводов относительно принятой гипотезы, ожидаемого результата и т.д.

**Параметрические критерии** основаны на вычислении определенных параметров распределения; **непараметрические** – не требуют вычисления оценок неизвестных параметров распределения.

**Матрица планирования** – схема ПФЭ, представленная в виде таблицы последовательного расположения закодированных факторов, их градаций и сочетаний.

**Метод латинского квадрата** – размещение вариантов в повторении, при котором число вариантов равно числу повторений. Используется в случае изменчивости почвенного плодородия в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

**Метод латинского прямоугольника** - размещение вариантов в повторении, при котором число вариантов кратно числу повторений. Используется в случае изменчивости почвенного плодородия в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

**Метод организованных (рендомизированных) повторений** – случайное расположение вариантов в каждом повторении с целью контроля варьирования плодородия в одном направлении.

**Метод полной рендомизации (неорганизованные повторения)** – размещение вариантов в опыте, при котором каждый вариант имеет шанс попасть на любую делянку. Выделить повторения в таком опыте нельзя.

**Метод расщепленных делянок** – размещение вариантов многофакторного опыта, при котором делянки, на которых расположены варианты одного фактора служат блоком для делянок другого фактора, т.е. их расщепляют на более мелкие.

**Несопряженные (независимые) выборки** – в которых изучаемые переменные двух выборок не зависят друг от друга

**Нулевая гипотеза ( $H_0$ )** – статистическая гипотеза, исходящая из предположения об отсутствии разницы между параметрами сравниваемых совокупностей; **рабочая гипотеза** – противоположность нулевой.

**Ортогональный комплекс** – равномерное (пропорциональное) распределение вариантов в совокупностях статистического комплекса (альтернатива – **неортогональный комплекс**)

**Повторение** – число делянок с полным набором всех вариантов, объединенных территориально в одну группу.

**Повторность во времени** – число лет испытаний сортов, гибридов или агроприемов.

**Повторность на территории** – число экспериментальных единиц каждого варианта или число одноименных вариантов в опыте.

**Полный факториальный эксперимент (ПФЭ)** – опыт, разработанный по принципу факторности (т.е. позволяющий установить влияние каждого фактора в отдельности и их совместное применение в разных сочетаниях градаций на результативный признак).

**Распределение** – совокупность случайных значений признака и соответствующих им вероятностей.

**Рекогносцировочный (разведывательный) посев** – сплошной посев одной культуры, предшествующий закладке опыта, с последующим дробным учетом урожая с целью выявления вида и степени варьирования почвенного плодородия.

**Рендомизация** (*randomization*, англ. случайность) – принцип составления выборки, расположения вариантов в повторении, основанный на случайности.

**Репрезентативность** (от лат. *represento* – представляю) – степень соответствия выборочных характеристик их параметрам в генеральной совокупности.

**Средняя арифметическая** – среднее значение объектов выборки по какому-либо признаку

**Сопряженные** – выборки, единицы наблюдений которых связаны (сопряжены) каким-либо общим условием.

**Стандартное (среднеквадратическое) отклонение** – показатель изменчивости признака, характеризующий, на сколько в среднем отклоняется каждая варианта выборки от средней арифметической.

**Статистическая гипотеза** – научное предположение о тех или иных статистических законах распределения.

**Статистический комплекс** – совокупность исходных данных (наблюдений) нескольких выборок (вариантов).

**Схема опыта** – последовательный перечень всех вариантов опыта.

**Схематический план опыта** – план опыта с указанием его размеров.

**Точность опыта** – условное понятие, определяемое величиной относительной ошибки выборочной средней

**Уровень вероятности (Р)** – площадь под кривой распределения, отграниченная от среднего на  $\pm t$  стандартных отклонений ( $\mu \pm t\sigma$ ). Выражается в процентах.

**Уровень значимости (Р<sub>1</sub>)** – величина, которой можно пренебречь в данном исследовании или явлении. Указывает вероятность отклонения, от установленных пределов варьирования случайной величины.

**Фактор** – способ воздействия на объект исследования.

## Литература

1. Глуховцев, В.В. Практикум по основам научных исследований в агрономии / В.В. Глуховцев, В.Г. Кириченко, С.Н. Зудилин. – Москва: КолосС, 2006.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований (переизд.) / Б.А. Доспехов. – Москва: КолосС, 2011.
3. Кирюшин, Б.Д. Методика научной агрономии. В 2-х частях / Б.Д. Кирюшин. – Москва: МСХА, 2004, 2005.
4. Кирюшин, Б.Д. Основы научных исследований в агрономии / Б.Д. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев. – Москва: КолосС, 2009.
5. Костылева, Л.М. Лабораторный практикум по основам научных исследований в агрономии / Л.М. Костылева. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2009.
6. Литтл, Т. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ / Т. Литтл, Ф. Хиллз. – Москва: Колос, 1981.
7. Молостов, А.В. Методика полевого опыта / А.В. Молостов. – Москва: Колос, 1966.
8. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха, В.Е. Ещенко. – Москва: Колос, 1996.
9. Перегудов, В.Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка результатов. – Москва: Колос, 1978.
10. Шевченко, В.Е. Пособие по статистической обработке результатов исследований полевого опыта на МК-52, МК-61 / В.Е. Шевченко, В.Т. Зажарский, Н.Т. Павлюк. – Воронеж, ВГАУ, 1991.

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Приложение 1

**Таблица случайных чисел**  
(для двухзначных цифр брать сдвоенные ряды или столбцы)

8203145821727385529063164548955833156  
 0873319752576980362512752352209357877  
 2338614240261895269834010755575 792550  
 4755630771916174171379337575935545080  
 1939534955275803488127534630368953371  
 2878141494241529462152819735156345323  
 8485139660721902067060130706878038832  
 0388475151734520747966774361314281796  
 3531937495020146254585092514845342105  
 3459527989055851773554772981551447649  
 4153091372587713639787917578012776316  
 7295678545345419867579318118709515991  
 5928986441537708025606120418421794554  
 1333905287409037317945528291629729885  
 4601086210050315490374701552413419860  
 7706632885895640591805494014652912354  
 3385757434579695077668859492028265238  
 9171369291942330818776472797819476380  
 6228094537254665665046568745306533645  
 1759002056585195337405824147369384899  
 0396947357065471185328098816287978000  
 3082814416766999758964590564542190807  
 9491220132467918829832629204211921175  
 7251449652855108262069223547077026958  
 9925743123641524042287182404517306005  
 2091894461486792506933012568012576163  
 6526121771478142737400129908342605277  
 1299642532743233853365532176287131189  
 3283796048605411490509441202325891740  
 09341195832467344923725787965 38554765  
 6753421550124755268782803769004808098  
 9601305366296034761191653929204269573  
 4699678581292624490554520086716567016  
 9771926563363683998772797050521278255  
 7533337376739112390959657629597951112  
 2813134210312320239775069632326153410  
 6094885537900001920615842867285362966  
 3590770181293469289898655142255077596  
 4481174474441659365983243265314725113  
 6397062533260512437107821043843763328

**Минимальные значения одно- и двухстороннего t-критерия  
Стьюдента и  $\chi^2$  -критерия Пирсона для оценки существенности  
различий в зависимости от объема выборок (числа пар)**

Число степеней свободы, $\nu$	t- двухсторонний при $P_1$ , равном				$\chi^2$	
	0,30	0,10	0,05	0,01	0,05	0,01
1	0,727	6,314	12,706	63,657	3,84	6,63
2	0,617	2,920	4,303	9,925	5,99	9,21
3	0,584	2,353	3,182	5,841	7,81	11,34
4	0,569	2,132	2,776	4,604	9,49	13,28
5	0,559	2,015	2,571	4,032	11,07	15,09
6	0,553	1,943	2,447	3,707	12,59	16,81
7	0,549	1,895	2,365	3,499	14,07	18,48
8	0,546	1,859	2,306	3,355	15,51	20,09
9	0,543	1,833	2,262	3,250	16,92	21,67
10	0,542	1,812	2,228	3,169	18,31	23,21
11	0,540	1,796	2,201	3,106	19,68	24,72
12	0,539	1,782	2,179	3,054	21,07	26,22
13	0,538	1,771	2,160	3,012	22,36	27,69
14	0,537	1,761	2,145	2,977	23,68	29,14
15	0,536	1,753	2,131	2,947	25,00	30,58
16	0,535	1,746	2,120	2,921	26,30	32,00
17	0,534	1,740	2,110	2,898	27,59	33,41
18	0,534	1,734	2,101	2,878	28,88	34,81
19	0,533	1,729	2,093	2,861	30,14	36,19
20	0,533	1,725	2,086	2,845	31,41	37,57
21	0,532	1,721	2,080	2,831	32,67	38,93
22	0,532	1,717	2,074	2,819	33,92	40,29
23	0,532	1,714	2,069	2,807	35,17	41,64
24	0,531	1,711	2,064	2,797	36,42	42,98
25	0,531	1,708	2,059	2,787	37,65	44,31
26	0,531	1,706	2,056	2,779	38,89	45,64
27	0,531	1,703	2,052	2,771	40,11	46,96
28	0,530	1,701	2,048	2,763	41,34	48,28
29	0,530	1,699	2,045	2,756	42,56	49,59
30	0,530	1,697	2,042	2,750	43,77	50,89
40	0,529	1,684	2,021	2,704	55,76	63,69
50	0,528	1,676	2,009	2,678	67,50	76,15
60	0,527	1,671	2,000	2,660	79,08	88,38
80	0,527	1,664	1,990	2,639	101,88	112,33
100	0,526	1,660	1,984	2,626	124,34	135,81
500	0,525	1,648	1,965	2,586	—	—
$\infty$	0,524	1,645	1,960	2,576	—	—
t- односторонний при $P_1$ , равном					0,15	0,05
					0,025	0,005

## Приложение 3

**Значения коэффициента Пирсона  $k$  при ориентировочных расчетах  
стандартного отклонения**

$n$	$k$	$n$	$k$	$n$	$k$	$n$	$k$
2	0,89	7	0,37	13-14	0,29	41-50	0,22
3	0,59	8	0,35	15-16	0,28	51-100	0,20
4	0,49	9	0,34	17-20	0,27		
5	0,43	10	0,32	21-30	0,25		
6	0,4	11-12	0,31	31-40	0,23		

## Приложение 4

**Значения критерия  $F$  на 5% уровне значимости**

Степени свободы для меньшей дисперсии (знаменателя)	Число степеней свободы для большей дисперсии (числителя), $\nu_1$														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	50	100	$\infty$
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	246	248	252	253	254
2	18,5	19,0	19,2	19,2	19,3	193	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,70	8,66	8,58	8,56	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,86	5,80	5,70	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,62	4,56	4,44	4,40	4,37
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	3,94	3,87	3,75	3,71	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,51	3,44	3,32	3,28	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,22	3,15	3,03	2,98	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,01	2,94	2,80	2,76	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,85	2,77	2,64	2,59	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,72	2,65	2,50	2,45	2,40
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,40	2,33	2,18	2,12	2,07
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,20	2,12	1,96	1,90	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,01	1,93	1,76	1,69	1,62
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,92	1,78	1,60	1,52	1,51
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,10	2,03	1,97	1,92	1,75	1,68	1,51	1,39	1,25
$\infty$	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,67	1,57	1,40	1,24	1,01

### Значения критерия F на 1% уровне значимости

v <sub>2</sub>	Число степеней свободы для дисперсии числителя, v <sub>1</sub>														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	50	100	∞
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	5981	6022	6056	6157	6208	6302	6334	6366
2	98,5	99,0	99,2	99,2	99,3	99,3	99,3	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,5	99,5	99,5
3	34,1	30,8	29,4	28,7	28,2	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	26,9	26,7	26,4	26,2	26,1
4	21,2	18,0	16,7	16,0	15,5	15,2	15,0	14,8	14,7	14,5	14,2	14,0	13,7	13,6	13,5
5	16,3	13,3	12,1	11,4	10,9	10,7	10,4	10,3	10,2	10,0	9,72	9,55	9,24	9,13	9,02
6	13,7	10,9	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,56	7,39	7,09	6,99	6,88
7	12,2	9,5	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,31	6,15	5,85	5,75	5,65
8	11,33	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,52	5,36	5,06	4,96	4,86
9	10,6	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	4,96	4,80	4,51	4,41	4,31
10	10,0	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,56	4,41	4,12	4,01	3,91
11	9,65	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,25	4,10	3,80	3,70	3,60
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,57	3,36	3,07	2,97	2,87
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	3,09	2,94	2,63	2,53	2,42
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,06	2,98	2,70	2,55	2,24	2,13	2,01
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,18	3,02	2,88	2,78	2,70	2,42	2,26	1,94	1,82	2,68
100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,20	2,99	2,82	2,69	2,59	2,51	2,22	2,06	1,73	1,59	1,43
∞	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,04	1,87	1,52	1,36	1,00

