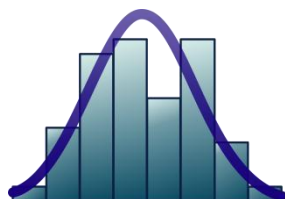


МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Р.Р. Усманов

**Методические указания по выполнению
контрольных заданий по дисциплине
«Методика опытного дела»**



МОСКВА

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

2023

УДК 631.147

ББК 40.0

У 75

Усманов, Р. Р. Методические указания по выполнению контрольных заданий по дисциплине «Методика опытного дела»/ Р.Р. Усманов; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2023. - 63 с. – Текст: электронный.

В настоящих методических указаниях даны рекомендации по выполнению контрольных заданий, приведены теоретические материалы и примеры решения заданий; вопросы для самоконтроля и вопросы экзаменационных билетов. Тематика разработанных в практикуме заданий направлена на формирование у обучающихся общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

При выполнении заданий студентам рекомендуется все работы по статистической обработке результатов экспериментальных данных выполнить на калькуляторе, а затем в программе Excel и после статистического анализа сделать агрономический вывод.

Методические указания соответствуют программе и учебному плану дисциплины «Методика опытного дела» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.04. – «Агрономия» заочной формы обучения.

© Усманов Р.Р., 2023

© ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр
Тема 1. Выборочный метод в агрономических исследованиях	4
1.1. Основные статистические показатели данных наблюдений и экспериментов	4
1.2. Группировка и графическое представление данных агрономических исследований	10
1.3. Контрольное задание 1	15
Тема 2. Сравнительная оценка двух вариантов при количественной изменчивости признаков	18
2.1. Контрольное задание 2	23
Тема 3. Дисперсионный анализ данных агрономических исследований	25
3.1. Контрольное задание 3	33
Тема 4. Корреляционно-регрессионный анализ в агрономических исследованиях	35
4.1. Контрольное задание 4	43
Тема 5. Планирование полевого опыта	47
5.1. Контрольное задание 5	53
6. Приложения. Статистические таблицы	58
7. Вопросы для промежуточной аттестации	60
8. Библиографический список	63

Тема 1. Выборочный метод в агрономических исследованиях

1.1. Основные статистические показатели данных наблюдений и экспериментов

Цель: в соответствии с компетенцией ОПК-5,1 знать основы экспериментальных исследований в агрономии и методы их статистической обработки.

Теоретическая часть. Все методы агрономических исследований делятся на *наблюдения* и *эксперименты* или опыты, в которых изучаемые биологические объекты (растения, почва, окружающая среда), во-первых, состоят из большого множества элементов, а во-вторых, они подвержены изменчивости (вариации). В связи с этим в агрономии при проведении наблюдений, обследований, испытании и постановке экспериментов пользуются выборочным методом исследований, сущность которого заключается в том, что изучаются не все подлежащие изучению объекты (*генеральная совокупность*), а только часть этих объектов (*выборка*), и по результатам выборки оценивается генеральная совокупность.

К статистическим показателям (характеристикам) количественной изменчивости относятся средние величины (выборочная средняя, медиана) и показатели вариации (дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации и др.).

Средние величины:

Средняя арифметическая или выборочная средняя: $\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$,

где: $\sum X$ – сумма всех значений признака выборки;

n – объем (численность) выборки.

Среднее значение случайной величины представляет собой наиболее типичное, наиболее вероятное ее значение, своеобразный центр, вокруг которого разбросаны все значения признака.

Минимум, максимум X_{min} , X_{max} – минимальное и максимальное значения признака выборки.

Медиана: $Q_{50\%}$. Медиана – это значение признака, которое делит ранжированную совокупность на две равные части, то есть медиана – средняя позиция в упорядоченном ряду значений. Она хорошо подходит как мера центральной тенденции для одномерных распределений даже в условиях выраженной асимметрии распределения или при наличии выраженных выбросов значений.

К показателям вариации относятся:

Дисперсия: $S^2 = \frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n - 1}$;

где: $\sum (X - \bar{x})^2$ – сумма квадратов отклонений от выборочной средней (СК);

$n - 1$ – число степеней свободы

Дисперсия является мерой изменчивости, вариации признака и представляет собой средний квадрат отклонений отдельных значений признака от выборочной средней. В отличие от других показателей вариации дисперсия может быть разложена на составные части, что позволяет тем самым оценить влияние различных факторов на вариацию признака.

Стандартное отклонение $S = \sqrt{S^2}$. Стандартное (среднее квадратическое, основное) отклонение (или) ошибка отдельного наблюдения является абсолютной мерой изменчивости (вариации) признака. Оно показывает, на какую величину в среднем отклоняются индивидуальные значения признака от его среднего значения.

Коэффициент вариации $V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100$ (%) – относительный показатель изменчивости. В агрономических исследованиях принято считать, если $V < 10\%$ – слабая, $V = 10 \div 20\%$ – средняя и при $V > 20$ – сильная вариация (изменчивость).

Ошибка выборочной средней или стандартная ошибка $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$ – это величина, которая пока-

зывает, на сколько среднее значение выборки отличается от среднего значения генеральной совокупности при условии, что распределение близко к нормальному.

Вероятность, с которой в условиях данного эксперимента полученные экспериментальные данные можно считать надежными (достоверными), называют доверительной вероятностью или надежностью.

Уровень значимости α – вероятность того, что найденная в исследуемой выборке закономерность является лишь случайной особенностью данной выборки. Уровень значимости показывает вероятность ошибки, связанной с распространением наблюдаемого результата на всю генеральную совокупность.

Уровень надежности или достоверности $\beta = 1 - \alpha$ – это вероятность того, что доверительный интервал покрывает значение искомого параметра.

Обычно уровень значимости равен 0,01, 0,05, что соответствует уровню доверия 0,99, 0,95, Очень часто уровни значимости и доверия измеряются в процентах, то есть уровень доверия 0,99 и 99% – это одно и то же.

Выбор доверительной вероятности или уровня значимости определяется практическими выводами и ответственностью выводов. Во многих областях научных исследований результат $p = 0,05$ является приемлемой границей статистической значимости. То есть величина уровня значимости, равная или меньшая, чем 0,05, говорит о достоверности полученного результата. Для агрономических исследований пользуются вероятностями 0,95 – 95% и 0,99 – 99%, которым соответствуют 0,05 – 5%-ный и 0,01 – 1% уровни значимости. Эти вероятности называют доверительными вероятностями.

Доверительный интервал – это интервал, который с заданной вероятностью покрывает оцениваемый параметр генеральной совокупности.

Доверительный интервал для генеральной средней $\bar{x} \pm t \cdot S_{\bar{x}}$ – интервал, в котором с заданной (95 или 99%) вероятностью находится среднее значение генеральной совокупности (μ): $\bar{x} - t \cdot S_{\bar{x}} \leq \mu \leq \bar{x} + t S_{\bar{x}}$, где \bar{x} – среднее значение выборки, $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней. t – значение критерия Стьюдента, $t S_{\bar{x}}$ – предельная ошибка выборочной средней.

t – критическое (табличное) значение критерия Стьюдента при заданном уровне значимости 0,05 или 0,01 представлено в таблице приложений П1. Значение t -критерия $t_{0,05}$ или $t_{0,01}$ выбирается из таблицы Стьюдента с учетом числа степеней свободы $df = n - 1$.

Теоретическое значение t -критерия можно найти в статистических таблицах или воспользоваться компьютерными программами. В частности, в *MS Excel* для этого используется функция СТЬЮДРАСПОБР(), аргументами которой являются вероятность (0,05 или 0,01) и количество степеней свободы $df = n - 1$.

Доверительный интервал для генеральной совокупности $\bar{x} \pm t \cdot S$ – интервал, в котором с заданной (95 или 99%) вероятностью находятся все значения генеральной совокупности.

Пример 1. В полевом опыте на делянке произведено измерение глубины вспашки в 8 точках ($n = 8$), получены следующие результаты (X , см: 15, 19, 22, 24, 21, 23, 20, 18). Необходимо рассчитать основные статистические показатели выборки определить с заданной вероятностью параметры генеральной совокупности.

Порядок расчета статистических характеристик:

$$\text{Выборочная средняя (средняя глубина вспашки)} \quad \bar{x} = \frac{\sum X}{n} = \frac{162}{8} = 20,25 \text{ см}$$

$$\text{Поправка} \quad C = \frac{(\sum X)^2}{n} = \frac{162^2}{8} = 3280,50$$

$$\text{Сумма квадратов (СК)} \quad \sum (X - \bar{x})^2 = \sum X^2 - C = 3340 - 3280,50 = 59,50$$

$$\text{Дисперсия} \quad S^2 = \frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{59,5}{7} = 8,50$$

$$\text{Стандартное отклонение} \quad S = \sqrt{S^2} = 2,91 \text{ см}$$

$$\text{Коэффициент вариации} \quad V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{2,91}{20,25} \cdot 100 = 14,37\%$$

$$\text{Ошибка выборочной средней} \quad S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{2,91}{\sqrt{8}} = 1,03 \text{ см}$$

95%-й доверительный интервал (ДИ) для генеральной средней (μ):

$$\bar{x} \pm t_{0,5} \cdot S_{\bar{x}} = 20,25 \pm 2,37 \cdot 1,03 = 17,81 \div 22,69 \text{ см}$$

95%-й доверительный интервал (ДИ) для всей совокупности (любого значения X):

$$\bar{x} \pm t_{0,5} \cdot S = 20,25 \pm 2,37 \cdot 2,91 = 13,35 \div 27,15 \text{ см}$$

Для нахождения медианы (Q_{50}) необходимо проранжировать (расположить в порядке возрастания) значения глубины вспашки по 8-ми точкам:

15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24. Так как наш ряд равен четному числу ($n=8$), медиана (Q_{50}) =

$$\left(X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1} \right) / 2 = \left(X_{\frac{8}{2}} + X_{\frac{8}{2}+1} \right) / 2 = (20 + 21) / 2 = 20,5 \text{ см}$$

На основании проведенных расчетов можно сделать следующие агрономические выводы:

1. Средняя глубина вспашки в выборке (\bar{x}) равна 20,25 см, средняя глубина вспашки в генеральной совокупности (на всей делянке μ) с вероятностью 95% находится в интервале от 17,81 до 22,69 см, а минимальное и максимальное значение глубины вспашки варьирует от 13,35 до 27,15 см.

2. Близкие значения между выборочной средней и медианной свидетельствуют, что данные примера подчиняются закону нормального распределения.

Расчеты в программе Excel с использованием пакета Анализ данных

Основные статистические показатели в программе Excel можно рассчитать с помощью ввода нужных формул или выбора соответствующих статистических функций, однако это занимает достаточно много времени и усилий для большого числа операций.

В программе MS Excel имеется пакет **Анализ данных**, который в значительной степени ускоряет и облегчает расчеты по статистической обработке результатов исследований, что дает возможность ввести исходные данные и сразу в автоматическом режиме получить итоговые данные по описательной статистике, проверить гипотезу по двум выборкам, провести дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализы. Для выполнения различных статистических задач в пакете анализа имеются 19 инструментов: Описательная статистика, Гистограмма, Корреляция, Регрессия, Дисперсионный анализ и др.

Установка пакета

Перед выполнением расчетов необходимо проверить, настроена ли ваша программа Excel на использование **Пакета анализа**. Если при запуске Excel при открытии в меню **Данные** нет вкладки **Анализ данных**, то следует подключить надстройку **Пакет анализа**, выполнив определенные действия в настройках MS Excel. Ниже описывается алгоритм подключения надстройки **Пакет анализа** в MS Excel версии 2010, 2013 и 2016 гг.

Откройте вкладку **Файл**, нажмите кнопку **Параметры** и выберите категорию **Надстройки**. В раскрывающемся списке **Управление** выберите пункт **Надстройки Excel** и нажмите кнопку **Перейти** (рис. 1)

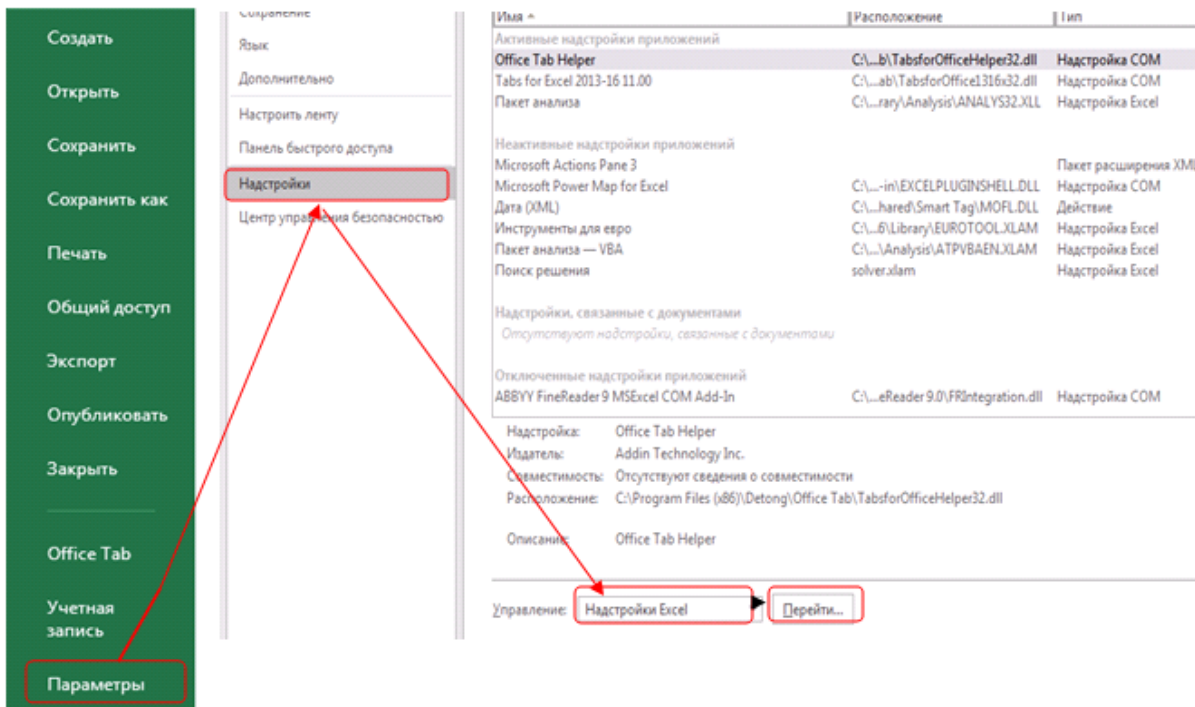


Рис. 1. Порядок выбора опций в меню **Надстройка**

В диалоговом окне **Надстройки** установите флажок **Пакет анализа**, а затем нажмите кнопку **ОК** (рис. 2). Если **Пакет анализа** отсутствует в списке поля **Доступные надстройки**, нажмите кнопку **Обзор**, чтобы выполнить поиск. Если выводится сообщение о том, что пакет анализа не установлен на компьютере, нажмите кнопку **Да**, чтобы установить его.

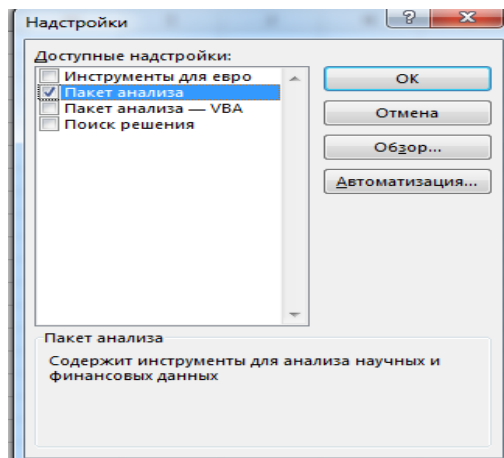


Рис. 2. Выбор в надстройках **Пакета анализа**

После нажатия на клавишу **Ок** **Пакет анализа** появляется на ленте функций. Для получения доступа к нему в интерфейсе программы выбирается вкладка **Данные**, в правой части ленты **Раздел анализа** появляется иконка опции **Анализ данных**.

Расчет основных статистических показателей выборки с использованием Описательной статистики Пакета анализа

Проведем расчет основных статистических показателей по данным выше приведенного примера 1: (Глубина вспашки X , см: 15, 19, 22, 24, 21, 23, 20, 18). В активный лист программы Excel введем наименование «Глубина вспашки» и результаты измерения по восьми точкам.

Во вкладке **Анализ данных** выберем инструмент анализа **Описательная статистика** (рис. 3).

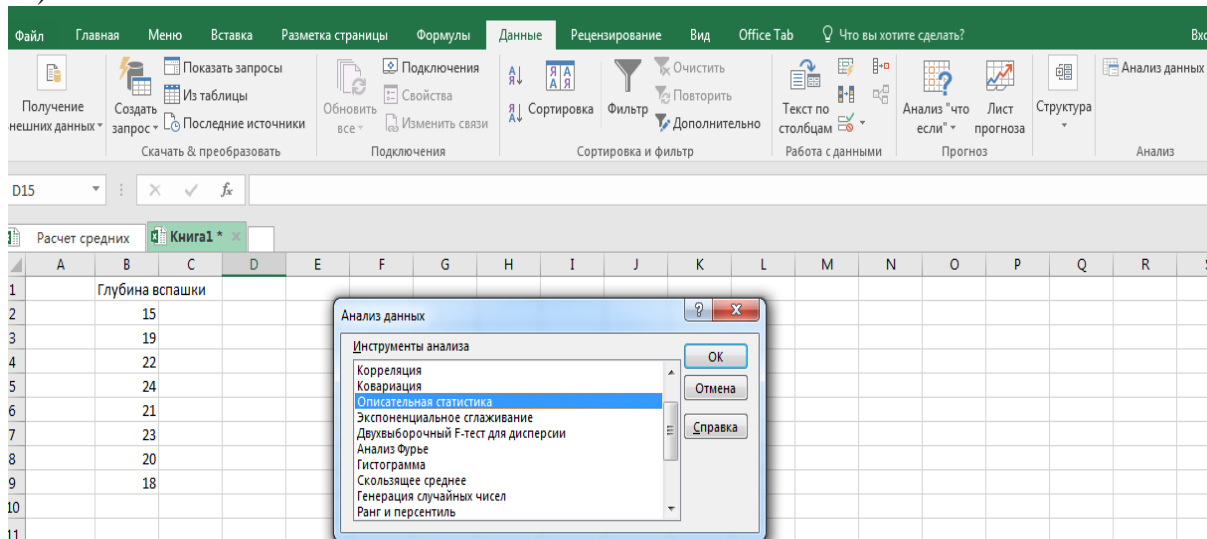


Рис. 3. Исходные данные и выбор инструмента «Описательная статистика»

В окне **Описательная статистика** (рис. 4) в поле **Входной интервал:** введем с помощью мышки диапазон ячеек **B1:B9** и нажмем **Ввод**, выберем **Группирование** по столбцам, поставим галочку в поле **Метки в первой строке** (в этом случае в заголовке результатов будет автоматически прописано «Глубина вспашки»), выберем параметры вывода результатов.

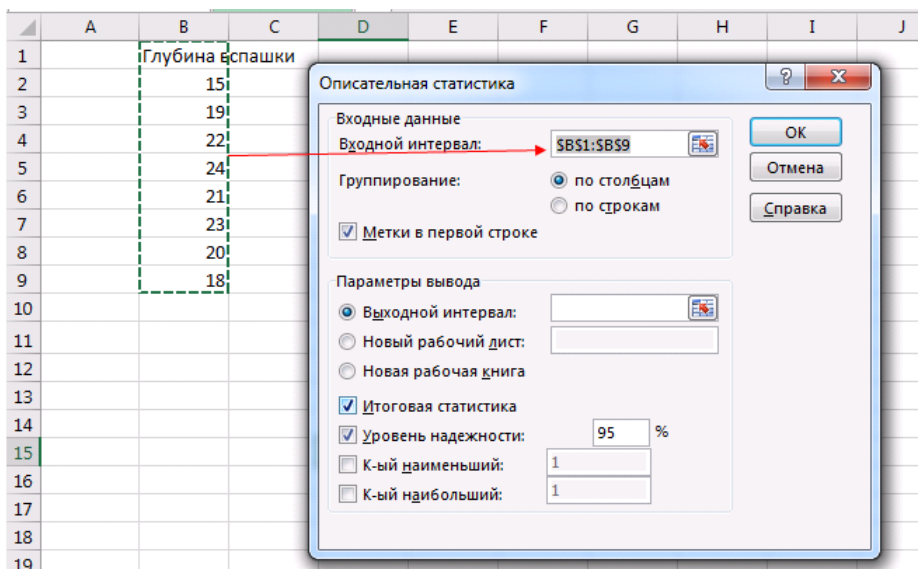


Рис. 4. Выбор параметров в окне **Описательная статистика**

В случае размещения на листе 1 рядом с исходными данными в поле **Выходной интервал** необходимо указать интервал ячеек для размещения итоговых результатов описательной статистики. Далее выбираем **Итоговую статистику**, в поле **Уровень надежности** указываем **95**, в полях **К-ый наименьший** и **К-ый наибольший** ставим 1 или игнорируем, нажимаем на клавишу **ОК** (см. рис. 4).

После нажатия на клавишу **ОК** получаем результаты по основным статистическим показателям выборки (рис. 5).

	A	B	C	D	E	F
1		Глубина вспашки				
2		15		Глубина вспашки		
3		19				
4		22		Среднее	20,25	
5		24		Стандартная ошибка	1,03	
6		21		Медиана	20,50	
7		23		Мода	#Н/Д	
8		20		Стандартное отклонение	2,92	
9		18		Дисперсия выборки	8,50	
10				Экссесс	0,09	
11				Асимметричность	-0,61	
12				Интервал	9,00	
13				Минимум	15,00	
14				Максимум	24,00	
15				Сумма	162,00	
16				Счет	8,00	
17				Уровень надежности(95,0%	2,44	
18						

Рис. 5. Результаты расчета основных статистических показателей выборки

К сожалению, в **Описательной статистике** MS Excel нет таких статистических показателей, как «Коэффициент вариации», «Доверительный интервал для генеральной средней» и «Доверительный интервал для всей совокупности». Указанные статистические показатели можно досчитать с помощью формул в программе Excel или на калькуляторе.

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем сущность выборочного метода?
2. Что такое генеральная совокупность и выборка?
3. Как добиться репрезентативности выборки?
4. Перечислите статистические показатели изменчивости.
5. В каких случаях медиана предпочтительней, чем средняя арифметическая?
6. Для чего рассчитывается ошибка выборочной средней?
7. Как по коэффициенту вариации судить о степени изменчивости?
8. Какая доверительная вероятность считается достаточной для агрономических исследований?
9. Доверительные интервалы. Значение доверительных интервалов.
10. Какие статистические расчеты можно провести в Пакете анализа программы Excel?

1.2. Группировка и графическое представление данных агрономических исследований

Цель: в соответствии с компетенцией ОПК-5,2 освоить методы статистической обработки данных агрономических исследований

Теоретическая часть. Обширный цифровой материал результатов измерений, получаемый в процессе агрономических исследований, нуждается в предварительной подготовке, которая начинается с упорядочения (группировки) данных с тем, чтобы извлечь заключенную в них информацию. Процесс систематизации или упорядочивания данных наблюдений и учетов с целью расчета статистических показателей и построения кривой вариационного ряда называется *группировкой*. Наиболее содержательное и наглядное группирование эмпирических (полученных в опыте) данных достигается построением вариационных рядов, т.е. упорядочиванием классов по частотам встречаемости значений изучаемого признака. Вариационные ряды изображают в системе прямоугольных координат в виде гистограмм при непрерывной изменчивости и полигона – для прерывистой (дискретной) изменчивости.

Различают *эмпирические и теоретические распределения* частот совокупности результатов наблюдений. Эмпирическое распределение – это распределение результатов наблюдений, полученных при изучении выборки. В основе его лежат определенные математические закономерности, которые в генеральной совокупности, т.е. при большом числе наблюдений ($N \rightarrow \infty$) характеризуются некоторыми теоретическими распределениями. Наиболее часто в агрономических исследованиях используются следующие теоретические распределения: нормальное, биномиальное, распределение Пуассона, а также специальные (*t-распределение Стьюдента, F-распределение Фишера, χ^2 -распределение Пирсона* и др.). На основе теоретических распределений построены статистические критерии, которые используются при проверке гипотез.

Результаты измерений большинства признаков агрономических объектов чаще всего располагаются приблизительно в соответствии с симметричной кривой нормального распределения. Но нередко некоторые признаки растений, насекомых и почвы значительно отличаются от нормального распределения – ассиметричные, скошенные, многовершинные кривые и т.д.

Пример 2. В хранилище случайным образом отобрали 50 клубней картофеля ($n = 50$) и произвели их взвешивание.

Масса каждого клубня, г:

70 64 135 76 83 12 75 60 145 85 11 112 68 56 42 109 94 67 98 75 150 86 49 35 120 83
89 125 76 45 9 34 85 75 63 102 99 83 65 150 35 65 35 84 134 142 76 145 59 70

Необходимо провести группировку данных, рассчитать статистические показатели данных выборки, определить параметры генеральной совокупности, построить гистограмму и кривую вариационного ряда.

Порядок группировки:

1. Определим число групп (классов) по формуле: $k = \sqrt{n} \pm 2 \approx 7$ групп, где k – число групп или классов, $n = 50$ – объем выборки

2. Рассчитаем величину классового интервала, для этого из максимального значения признака отнимаем минимальное значение, полученный размах вариации делим на число классов и округляем с той точностью, с которой проведены измерения изучаемого признака, в нашем случае до 1.

$$i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k} = \frac{150 - 9}{7} \approx 20 \text{ г}$$

3. Устанавливаем нижние и верхние границы для каждой группы. Прежде всего определяем границы для первой группы следующим образом: нижняя граница равна минимальному значению признака выборки, в нашем случае $X_{\min} = 9$ г, далее к этому значению прибавляем

величину классового интервала $i = 20$ и получаем значение верхней границы – 29 г. Для того, чтобы отнесение объекта к определенному классу было однозначным, границы классов необходимо наметить так, чтобы одно и тоже значение признака не повторялось в двух классах. Конец каждой группы должен быть меньше начала следующей группы на величину, равную единице измерения. Для этого от значения верхней границы первого класса отнимаем величину равную единице измерения, для нашего примера 1 г. и получаем нижнюю и верхнюю границы первого класса $9 \div 28$ г.

Далее к значениям нижней и верхней границ предыдущего класса прибавляем величину классового интервала i и получаем значения границ каждого последующего класса. Значения границ всех классов заносим в таблицу и производим разность – распределение объектов в зависимости от их значений в соответствующие группы (классы) и подсчитываем частоту f – численность объектов каждой группы. В итоге получаем вариационный ряд – двойной ряд данных, в которых указаны значения варьирующего признака (первая колонка таблицы) и соответствующие им частоты (вторая колонка таблицы). Вариационный ряд удобнее представлять в виде графика (рис. 6)

4. Рассчитаем, прежде всего, среднюю групповую для первого класса по следующей формуле: $M_1 = X_{min} + i/2 = 9+10= 19$. Средняя групповая второго и последующих классов определяется прибавлением к средней групповой предыдущего класса величины классового интервала: $M_2 = M_1 + i = 19 + 20 = 39$, $M_3 = M_2 + i = 39 + 20 = 59$ и т.д.

5. В качестве A можно взять любое число, однако для сгруппированных значений в качестве A лучше всего принять значение среднегрупповой того класса, который имеет максимальную частоту, в нашем примере $A=79$.

6. Для проведения статистических расчетов на основе групповых средних составим расчетную таблицу (табл. 1.):

Таблица 1

Расчетная таблица

Группа (класс)	Частота f	Средне-групповая, M	$x_1^* = M - A$	$f \cdot x_1$	x_1^2	$f \cdot x_1^2$
$9 \div 28$	3	19	-60	-180	3600	10800
$29 \div 48$	6	39	-40	-240	1600	9600
$49 \div 68$	10	59	-20	-200	400	4000
$69 \div 88$	15	79	0	0	0	0
$89 \div 108$	5	99	20	100	400	2000
$109 \div 128$	4	119	40	160	1600	6400
$129 \div 150$	7	139	60	420	3600	25200
Суммы:	$\Sigma f = n = 50$	–	$\Sigma f \cdot x_1 = 60$		$\Sigma f \cdot x_1^2 = 58000$	

$$A = 79$$

*) x_1 -отклонение от среднегрупповой

Расчет статистических показателей сгруппированного ряда проводится по следующим формулам:

$$\text{Выборочная средняя } \bar{x} = A + (\Sigma f \cdot x_1) / n$$

$$\bar{x} = A + (\Sigma f \cdot x_1) : n = 79 + (60 : 50) = 80,2 \text{ г.}$$

$$\text{Сумма квадратов (СК) } \Sigma (X - \bar{x})^2 = \Sigma f \cdot x_1^2 - (\Sigma f \cdot x_1)^2 / n = 58000 - (60)^2 / n = 54400$$

$$\text{Дисперсия } S^2 = \frac{\Sigma (X - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{54400}{49} = 1110,2$$

Стандартное отклонение $S = \sqrt{S^2} = \sqrt{1110,20} = 33,3$ г.

Коэффициент вариации $V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{33,3}{80,2} \cdot 100 = 41,5\%$

Ошибка выборочной средней $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{33,3}{\sqrt{50}} = 4,7$ г.

95%-й доверительный интервал для генеральной средней (μ):

$$\bar{x} \pm t_{0,05} \cdot S_{\bar{x}} = 80,2 \pm 2,01 \cdot 4,7 = 70,8 \div 89,6 \text{ г}$$

95%-й доверительный интервал для всей совокупности (любого значения X):

$$\bar{x} \pm t_{0,05} \cdot S = 80,2 \pm 2,01 \cdot 33,3 = 13,3 \div 147,1 \text{ г}$$

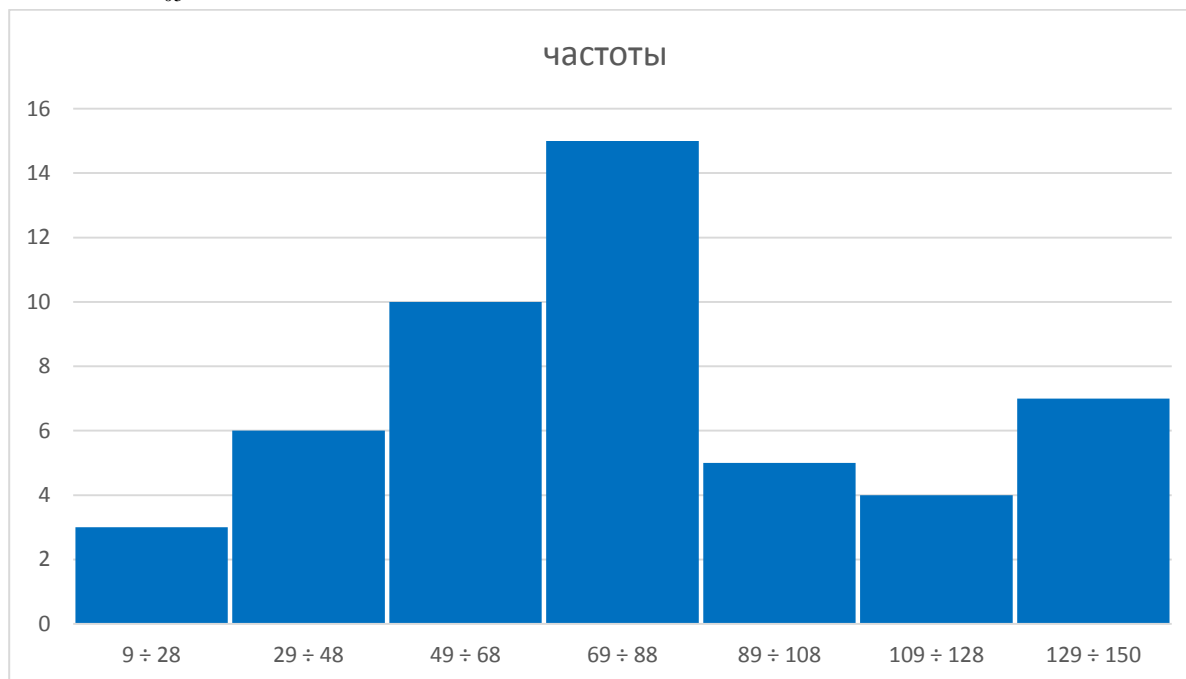


Рис.6. Гистограмма и кривая эмпирического распределения 50 клубней картофеля, г.

Вывод:

Средняя масса клубней картофеля в выборке (\bar{x}) равна 80,2 г., средняя масса клубней картофеля в генеральной совокупности (μ) с вероятностью 95% находится в интервале от 70,8 до 89,6 г, а все значения массы клубней картофеля в хранилище с вероятностью 95% – в интервале от 13,3 до 147,1 г. Судя по коэффициенту вариации $V = 41,5\%$ наблюдается значительная невыравненность клубней картофеля по массе.

Расчеты с использованием Пакета анализа программы Excel

1. В активный лист программы Excel введем в ячейки одного из столбцов наименование Масса клубня, г и значения массы 50 клубней картофеля.

2. В меню **Данные** подменю **Анализ данных** выберем инструмент анализа **Гистограмма** (рис.7.)

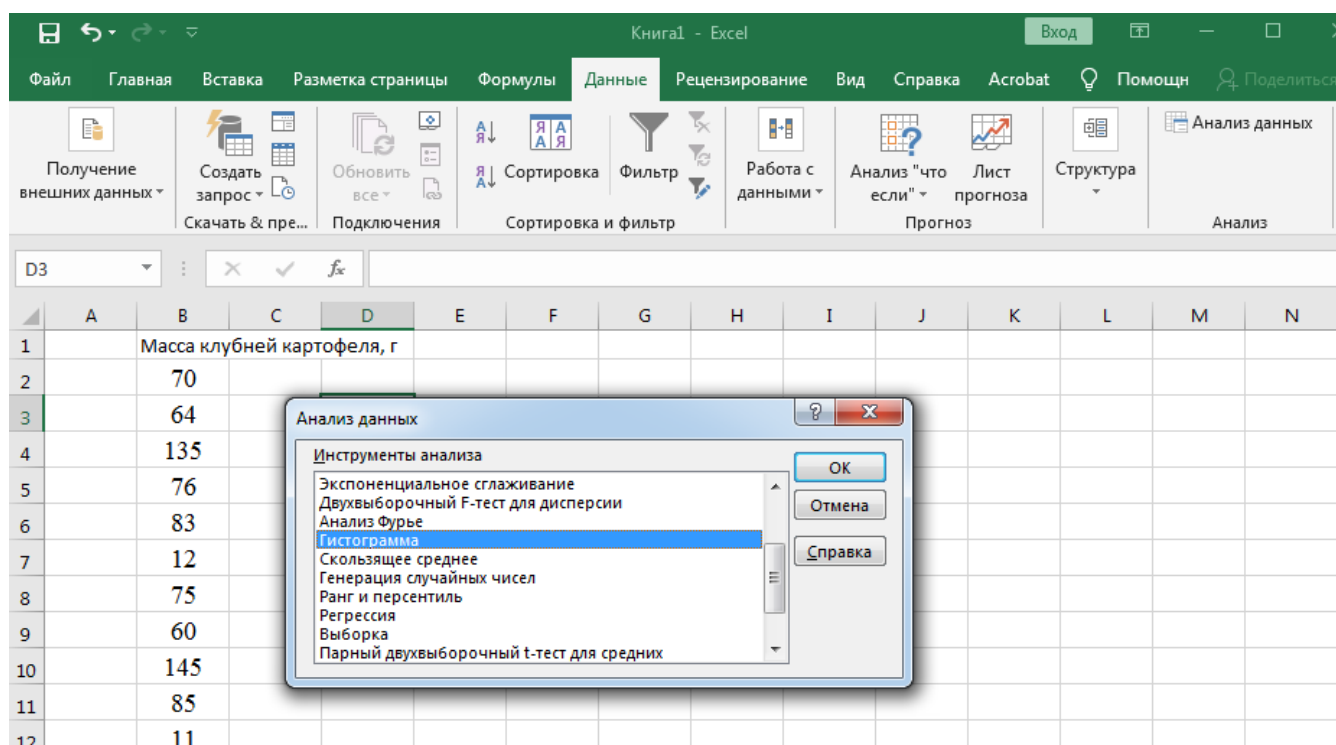


Рис. 7. Рабочая книга с исходными данными и выбор инструмента «Гистограмма»

3. В окне **Гистограмма** в поле **Входной интервал:** введем с помощью мышки диапазон ячеек **B1:B51** и нажмем **Ввод**, в поле **Интервал карманов**, что представляет собой классовый интервал, можно указать известный интервал или как в нашем случае, оставить его пустым. Поставим галочку в поле **Метки** (в этом случае в заголовке результатов будет автоматически прописано «Масса клубня, г»), в поле **Выходной интервал** выберем размещение на рабочем листе с исходными данными.

4. В нашем примере гистограмма будет размещаться на первом рабочем листе с исходными данными, в поле **Выходной интервал** укажем любой диапазон ячеек, например, **D3**, далее выбираем **Вывод графика**. После заполнения всех полей нажимаем **ОК** (рис. 8).

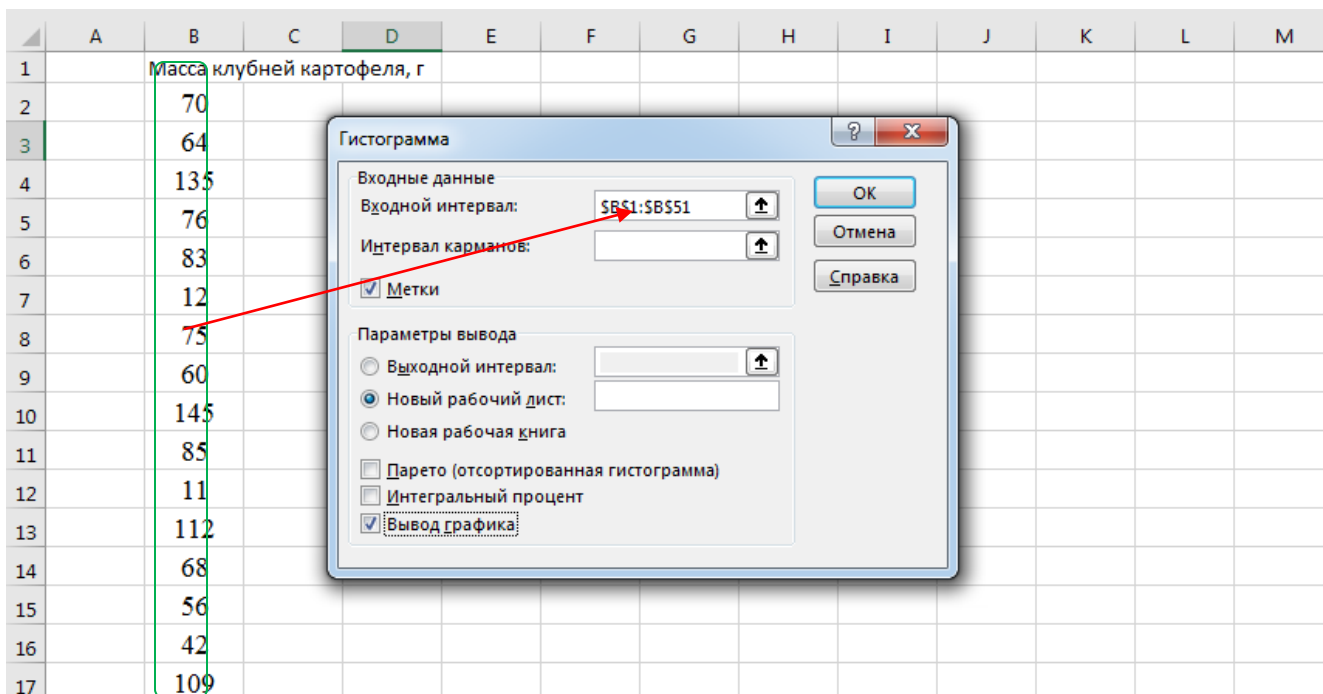


Рис. 8. Выбор входных данных и установление параметров вывода

5. После нажатия на клавишу **ОК** получаем рядом с исходными данными, таблицу вариационного ряда и гистограмму распределения 50 клубней картофеля по массе (рис. 9.)

Здесь под термином «Карман» подразумевается общепринятый в статистике термин «Группы» или «Классы». В таблице помимо абсолютной численности частот можно представить относительные частоты, причем накопленные или так называемые интегральные.

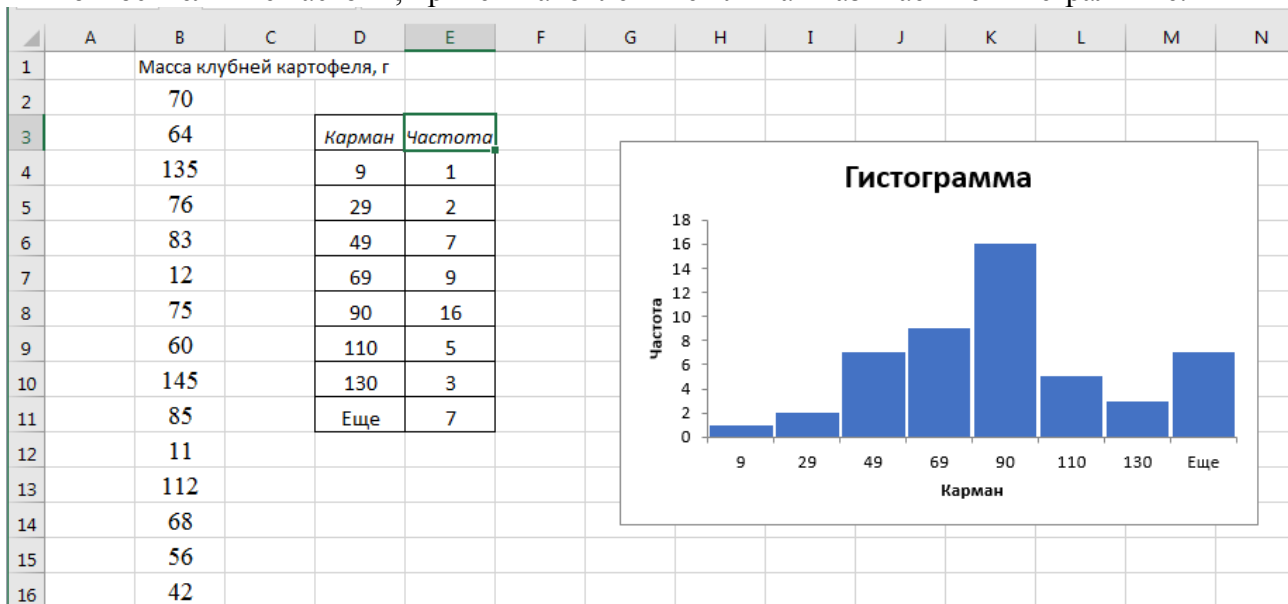


Рис.9. Таблица вариационного ряда и гистограмма распределения 50 клубней картофеля

Вопросы для самоконтроля:

1. Виды изменчивости.
2. Приведите примеры с количественными и качественными признаками у растений.
3. Какие выборки считаются большими?
4. Каков порядок группировки данных выборки.
5. Как рассчитать объем выборки при заданной точности (ошибке)?
6. Каковы закономерности кривой нормального распределения.
7. Причины появления ассиметричных кривых в агрономических исследованиях.

1.3. Контрольное задание 1

Общая постановка задачи:

1. Научиться группировать и графически изображать данные больших выборок.
2. Рассчитать статистические показатели (характеристики) данных большой выборки. Построить гистограмму и кривую вариационного ряда.
3. На основании анализа и структуры графического изображения определить соответствует ли эмпирический ряд распределения кривой нормального распределения.

Список индивидуальных заданий:

Здесь и далее порядковый номер (шифр) вашего задания соответствует порядковому номеру в журнале и ведомости. В соответствии с вашим номером задания выпишите данные по длине колоса, проведите группировку и статистическую обработку, представьте гистограмму распределения значений длины колоса и сделайте вывод.

Расчеты проведите с помощью калькулятора и программы Excel

Шифр задания к работе 2

№ задания	Номера колонок	№ задания	Номера колонок	№ задания	Номера колонок
1	1 2 3 4 5	11	5 7 8 9 10	21	1 2 3 4 5 6
2	2 3 4 5 6 8	12	1 4 5 6 7 9	22	1 2 3 4 7
3	3 4 5 6 7	13	2 5 6 7 8	23	1 2 3 6 8
4	4 5 6 8 9	14	3 6 7 8 9	24	1 2 3 4 9
5	5 6 7 8 9	15	4 7 8 9 10	25	1 2 3 4 10
6	1 3 6 7 8 9	16	1 5 6 7 8	26	2 3 4 5 7 9
7	1 3 4 5 6	17	2 6 7 8 9	27	3 5 7 8 9
8	2 4 5 6 7	18	3 7 8 9 10	28	5 6 8 9 10
9	2 3 5 6 7 8	19	1 2 6 7 8 9	29	1 3 4 5 7 9
10	4 6 7 8 9	20	2 7 8 9 10	30	4 5 7 8 9

Задание 1. Длина колоса яровой пшеницы, см.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6,0	7,1	7,7	8,3	6,9	7,9	6,1	8,4	6,6	6,2
7,3	6,7	7,4	8,4	7,5	7,4	9,8	8,1	6,9	8,4
6,9	7,2	6,9	8,0	7,4	7,8	8,2	9,0	6,7	8,4
6,5	7,2	8,4	7,5	8,0	7,1	8,1	7,9	7,8	7,6
8,3	7,8	8,5	8,1	8,4	7,5	6,9	7,4	6,9	7,0
7,7	7,8	7,0	7,6	6,9	8,6	9,1	6,0	8,0	10,2
8,8	6,9	7,1	7,5	6,9	7,4	9,0	7,8	7,5	7,4
6,3	10,0	6,9	7,8	7,0	7,7	9,6	9,0	6,4	9,0
6,3	7,8	7,0	9,2	6,8	8,0	8,2	9,3	–	7,5
8,1	8,5	8,3	7,6	9,4	–	8,9	9,0	–	7,5

Для выполнения задания проработайте по учебнику Б.А. Доспехов Методика полевого опыта. М.Альянс, 2011, Глава 15 (стр. 154 -185) или по учебнику Б.Д. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев. Основы научных исследований в агрономии .М. КолосС , 2009. Глава 8 (стр.147-161)

Порядок группировки:

1. Определите число классов (групп) $k =$
2. Рассчитайте классовой интервал $i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k} = \frac{R}{k} =$
3. Установите для каждой группы (класса) нижние и верхние границы
4. Проведите статистическую обработку на основе групповых средних (таблица):

Расчетная таблица ($A=$)

Группа (класс)	Частота f	Среднегрупповая, M	$x_l^* = M - A$	$f \cdot x_l$	x_l^2	$f \cdot x_l^2$
Суммы:	$\Sigma f = n =$	—	$\Sigma f \cdot x_l =$		$\Sigma f \cdot x_l^2 =$	

^{*)} x_l -отклонение от среднегрупповой

$$\bar{x} = A + (\Sigma f \cdot x_l) : n =$$

$$\Sigma (X - \bar{x})^2 = \Sigma f \cdot x_l^2 - (\Sigma f \cdot x_l)^2 : n =$$

$$S^2 = \frac{\Sigma (X - \bar{x})^2}{n - 1} =$$

$$S = \sqrt{S^2} =$$

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 =$$

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} =$$

$$\bar{x} \pm t_{05} \cdot S_x =$$

$$\bar{x} \pm t_{05} \cdot S =$$



Рис. Гистограмма и кривая эмпирического распределения (значений изучаемого признака)

Анализ данных гистограммы:

Оценка результатов компетенции «Владеет методами группировки данных большой выборки и анализа данных наблюдений в агрономии»:

Уровень владения компетенцией	Владение теорией	Владение практикой	Балл
Владеет на отлично	+	+	2
Владеет на хорошо	+	+	1,5
Владеет на удовлетворительно	+-	+-	1
Не владеет	-	-	0

Дата _____ Подпись преподавателя _____

Тема 2. Сравнительная оценка двух вариантов при количественной изменчивости признаков

Цель: в соответствии с ОПК-5,2 освоить методы проверки гипотез результатов агрономических исследований и уметь выбрать лучшие варианты опыта

Теоретическая часть:

Вопрос о статистической проверке гипотез – один из основных при применении математической статистики в агрономических исследованиях. Статистические методы проверки гипотез являются надежной основой для принятия решения при некоторой неопределенности, обусловленной случайной вариацией изучаемых явлений и процессов. Они применяются всегда, когда необходимо решить вопрос о существенности разности между средними, о принадлежности варианта к данной совокупности, о существенности корреляционной зависимости между изучаемыми признаками и т.д.

Оценка разности средних изучаемых вариантов осуществляется в следующей последовательности.

1. Выдвигаются *нулевая гипотеза* $H_0: \bar{x}_2 - \bar{x}_1 = 0$ – предположение об отсутствии реальных различий между средними значениями вариантов – и *альтернативная гипотеза* H_A – предположение о наличии различий между вариантами.

2. Выбирается доверительная вероятность или уровень значимости для проверки нулевой гипотезы (0,05, т.е. 5 % или 0,01, т.е. 1 %).

3. Выбирается критерий существенности (параметрический или непараметрический) для проверки гипотезы.

4. Рассчитываются статистические показатели для каждого варианта.

5. В специальных таблицах находят теоретическое значение критерия для заданного уровня значимости.

6. Существенность различий оценивается, как правило, сравнением фактических значений выбранных критериев с критическим значением.

7. Оценка разности средних (проверка H_0) может быть произведена тремя способами:

1) по доверительным интервалам для генеральных средних:

$\bar{x}_1 \pm tS_{\bar{x}_1}$ – доверительный интервал для генеральной средней первого варианта,

$\bar{x}_2 \pm tS_{\bar{x}_2}$ – доверительный интервал для генеральной средней второго варианта.

Если доверительные интервалы для генеральных средних перекрываются, то нулевая гипотеза принимается, если доверительные интервалы не перекрываются, нулевая гипотеза отвергается и принимается альтернативная гипотеза.

2) по расчетному или фактическому значению критерия существенности, t_ϕ

– для независимых выборок: $t_\phi = \frac{|\pm d|}{S_d} = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{\sqrt{S_{\bar{x}_1}^2 + S_{\bar{x}_2}^2}}$,

где: d – разность средних, S_d – ошибка разности средних;

– для зависимых выборок: $t_\phi = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}}$,

где: \bar{d} – средняя разность, $S_{\bar{d}}$ – ошибка средней разности.

В таблице Стьюдента находят теоретическое значение критерия $t_{теор}$ (t_{05} или t_{01}):

– для независимых выборок при числе степеней свободы $df = n_1 + n_2 - 2$, где: n_1 – объем первой выборки, n_2 – объем второй выборки;

– для зависимых выборок при числе степеней свободы $df = n - 1$, где n – число пар наблюдений.

Далее сравнивается фактическое значение критерия существенности с табличным. Если $t_{\phi} < t_{теор}$, нулевая гипотеза принимается, различия между средними по вариантам находятся в пределах случайных колебаний для принятого уровня значимости и $H_0: d = 0$, если $t_{\phi} \geq t_{теор}$, нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между средними опровергается и принимается альтернативная гипотеза H_A – о наличии существенных различий между вариантами.

3) по наименьшей существенной разности (HCP_{05} , HCP_{01}) – величине, указывающей границу предельных случайных отклонений при сравнении двух средних величин.

$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d$, $HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d$ где: S_d – ошибка разности средних, t_{05} или t_{01} для независимых выборок находят в таблице Стьюдента при числе степеней свободы $df = n_1 + n_2 - 2$, для зависимых выборок $df = n - 1$. Если $|\pm d| \geq HCP$, то нулевая гипотеза отвергается, если $|\pm d| < HCP$, нулевая гипотеза принимается на заданном уровне значимости.

8. После принятия или отбрасывания нулевой гипотезы необходимо сделать агрономический вывод относительно изучаемых вариантов.

Пример 3. При испытании двух сортов озимой пшеницы: Престиж (вариант 1) и Немчиновская-57 (вариант 2) получено следующее содержание белка в зерне, %

Престиж	17,4	18,6	20,3	18,4	19,6	19,5	19,5	19,0	18,8	19,4
Немчиновская-57	18,0	16,4	16,5	17,0	17,5	16,8	18,5	17,2	15,9	16,8

Необходимо определить, существенны ли различия между сортами озимой пшеницы по содержанию белка?

Рабочая таблица с формулами для расчетов

Статистические характеристики	Престиж – вариант 1	Немчиновка-57- вариант 2
Численность выборки, n	$n_1 = 10$	$n_2 = 10$
Средняя выборочная, $\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$	$\bar{x}_1 = 19,05$	$\bar{x}_2 = 17,06$
Дисперсия, $S^2 = \frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n - 1}$	$S_1^2 = 0,64$	$S_2^2 = 0,60$
Стандартное отклонение, $S = \sqrt{S^2}$	$S_1 = 0,80$	$S_2 = 0,77$
Ошибка выборочной средней, $s_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$	$S_{\bar{x}_1} = 0,25$	$S_{\bar{x}_2} = 0,24$

Оценка существенности разности между средними по вариантам

а) интервальным методом

$$\bar{x}_1 \pm t_{0,05} \cdot s_{\bar{x}_1} = 18,48 \div 19,61$$

$$\bar{x}_2 \pm t_{0,05} \cdot s_{\bar{x}_2} = 16,51 \div 17,60$$

$$t_{05} = 2,26$$

при степени свободы $df = n - 1 = 9$

б) по критерию существенности (t_{ϕ})

$$t_{\phi} = \frac{d}{S_d} = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{\sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2}} = \frac{19,05 - 17,06}{\sqrt{0,25^2 + 0,24^2}} = \frac{1,99}{0,346} = 5,75$$

где: d – разность или отклонение между средними значениями выборок

S_d – ошибка разности средних

$$t_{05} = 2,10 \quad t_{01} = 2,88 \quad \text{при } df = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

в) по критической, или наименьшей существенной разности (HCP)

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = 2,10 \cdot 0,346 = 0,73 \quad HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d = 2,88 \cdot 0,346 = 1,00$$

Вывод: так как доверительные интервалы для генеральных средних не перекрываются, $t_{\phi} > t_{01}$, $d > HCP_{01}$ с вероятностью 99% нулевая гипотеза о незначимости различий между средними отвергается. С вероятностью 99% можно предполагать, что между сортами озимой пшеницы Престиж и Немчиновская 57 наблюдаются существенные различия по содержанию белка в зерне.

Расчет данных примера 3 в программе Excel

Оценку существенности разности средних примера 3 можно выполнить двумя инструментами пакета **Анализ данных: двухвыборочным t-тестом с одинаковыми дисперсиями** или с помощью *описательной статистики*.

1. Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями

Пример 3. Содержание белка (%) в зерне при испытании двух сортов озимой пшеницы

Престиж	17,4	18,6	20,3	18,4	19,6	19,5	19,5	19,0	18,8	19,4
Немчиновская-57	18,0	16,4	16,5	17,0	17,5	16,8	18,5	17,2	15,9	16,8

1. В активный лист программы Excel в столбцах **A** и **B** введем текст «Содержание белка, %», названия сортов и данные по содержанию белка (рис. 10).

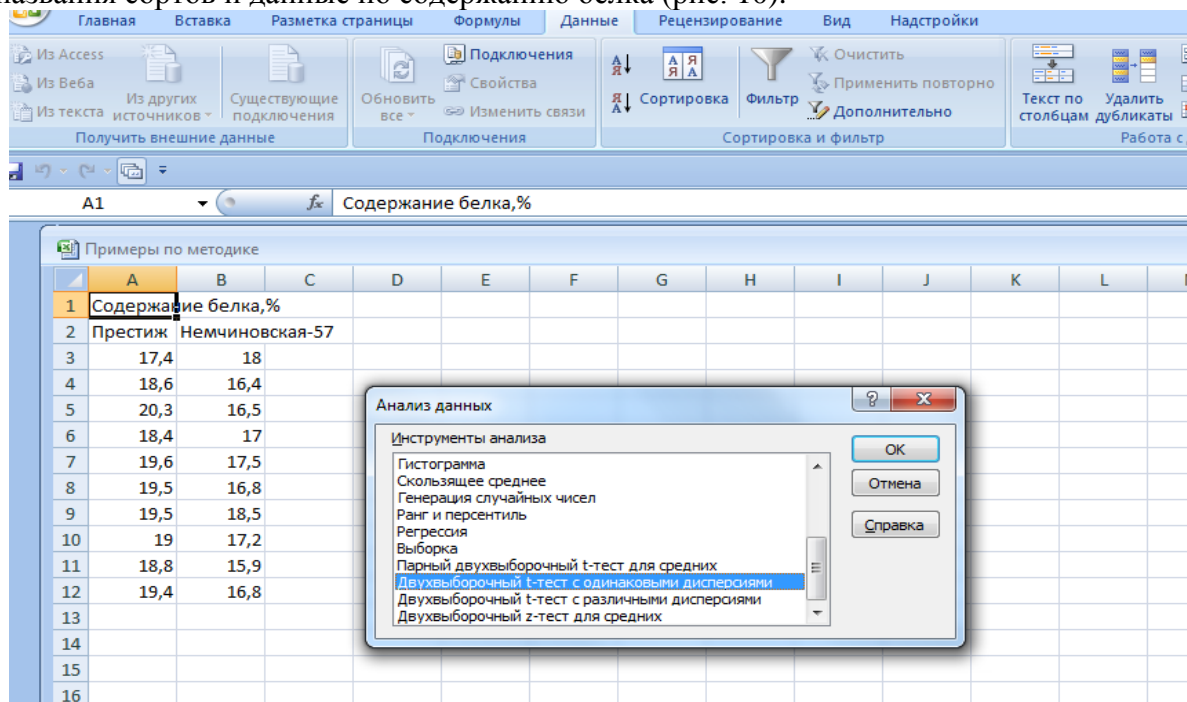


Рис. 10. Таблица с исходными данными и выбор инструмента анализа

2. В меню **Данные**, подменю **Анализ данных** выберем инструмент анализа **Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями** (рис. 10).

3. В окне **Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями** в поле **Интервал переменной 1:** введем с помощью левой кнопки мыши диапазон ячеек **A2:A12**. В поле **Интервал переменной 2:** введем с помощью левой кнопки мыши диапазон ячеек **B2:B12**. В поле **Гипотетическая разность** укажем 0, поставим галочку в поле **Метки**. В поле **Альфа** укажем 0,05, вы-

берем место размещения в выходном интервале. После заполнения всех полей нажимаем **ОК** (рис. 11).

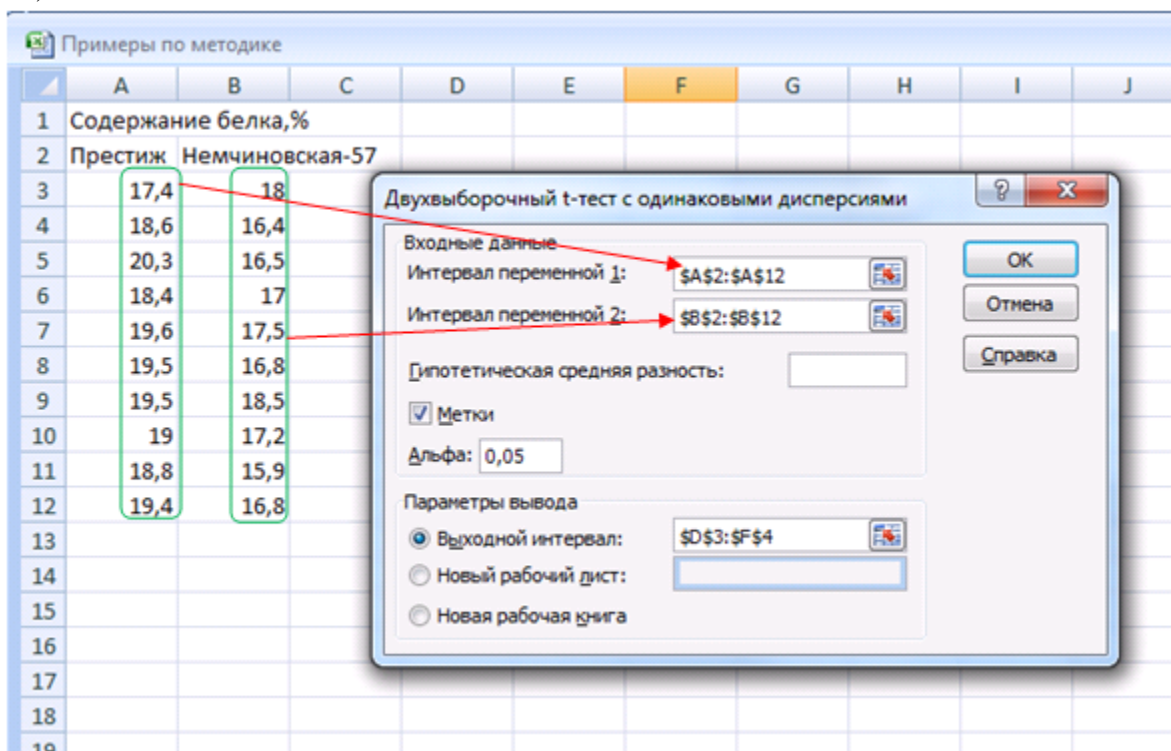


Рис. 11. Диалоговое окно Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями

4. После нажатия на кнопку **ОК** получаем итоговую таблицу (рис. 12), в которой самыми важными показателями являются фактическое $t_{\text{факт}}$ (t -статистика) и табличное t_{05} (критическое) значения критерия Стьюдента. Так как фактическое значение критерия Стьюдента (t -статистика = 5,64) в нашем примере больше табличного (t -критическое двухстороннее = 2,10 при числе степеней свободы $df = 10 + 10 - 2 = 18$), гипотеза H_0 отвергается. С вероятностью 0,95 можно предполагать, что сорт озимой пшеницы «Престиж» содержит существенно больше белка, чем сорт «Немчиновская-57».

	A	B	C	D	E	F	G
1	Содержание белка, %						
2	Престиж	Немчиновская-57					
3	17,4	18					
4	18,6	16,4					
5	20,3	16,5					
6	18,4	17					
7	19,6	17,5					
8	19,5	16,8					
9	19,5	18,5					
10	19	17,2					
11	18,8	15,9					
12	19,4	16,8					
13	Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями						
14					Престиж	Немчиновская-57	
15	Среднее				19,05	17,06	
16	Дисперсия				0,645	0,600444444	
17	Наблюдения				10	10	
18	Объединенная дисперсия				0,62272222		
19	Гипотетическая разность средних				0		
20	df				18		
21	t-статистика				5,6388546		
22	P(T<=t) одностороннее				1,1904E-05		
23	t критическое одностороннее				1,73406359		
24	P(T<=t) двухстороннее				2,3809E-05		
25	t критическое двухстороннее				2,10092204		

Рис. 12. Итоговая таблица двухвыборочного t-теста

2. Описательная статистика

Используем тот же пример о содержании белка, что и выше. Пусть данные, как и в предыдущем разделе, введены в столбцы **A** и **B** (см. рис. 10).

1. В меню **Данные** подменю **Анализ данных** выберем инструмент анализа **Описательная статистика** (см. рис. 3) .

2. Заполним параметры окна **Описательная статистика** (рис. 13).

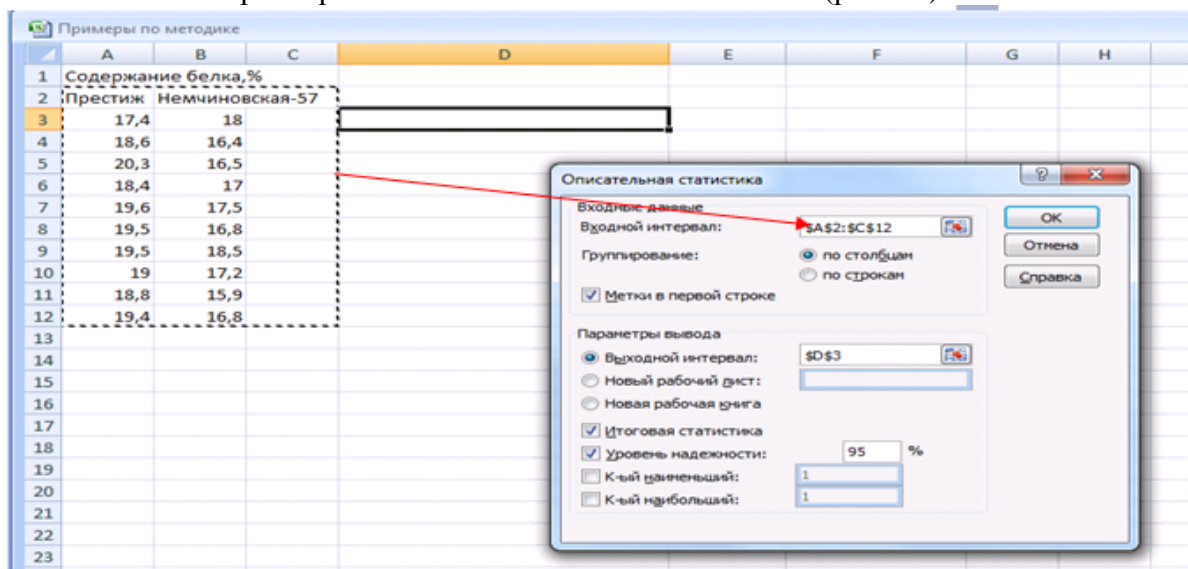


Рис. 13. Выбор параметров описательной статистики

После нажатия на кнопку **ОК** получаем результаты расчета основных статистических показателей по каждому сорту (рис. 14).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Содержание белка,%								
2	Престиж	Немчиновская-57							
3	17,4	18		<i>Престиж</i>		<i>Немчиновская-57</i>			
4	18,6	16,4							
5	20,3	16,5		Среднее	19,05	Среднее	17,06		
6	18,4	17		Стандартная ошибка	0,25	Стандартная ошибка	0,25		
7	19,6	17,5		Медиана	19,20	Медиана	16,90		
8	19,5	16,8		Мода	19,50	Мода	16,80		
9	19,5	18,5		Стандартное отклонение	0,80	Стандартное отклонение	0,77		
10	19	17,2		Дисперсия выборки	0,64	Дисперсия выборки	0,60		
11	18,8	15,9		Экссесс	1,05	Экссесс	0,04		
12	19,4	16,8		Асимметричность	-0,68	Асимметричность	0,55		
13				Интервал	2,90	Интервал	2,60		
14				Минимум	17,40	Минимум	15,90		
15				Максимум	20,30	Максимум	18,50		
16				Сумма	190,50	Сумма	170,60		
17				Счет	10,00	Счет	10,00		
18				Уровень надежности(95,0%)	0,57	Уровень надежности	0,55		
19									

Рис. 14. Итоги применения инструмента описательной статистики

Для оценки существенности разности средних двух сортов озимой пшеницы по содержанию белка наибольший интерес представляют следующие данные (они выделены красным шрифтом на рис. 14): среднее содержание белка у сорта «Престиж» $\bar{x}_1 = 19,05\%$, у сорта «Немчиновская-57» $\bar{x}_2 = 17,06\%$; ошибки выборочной средней (стандартные ошибки), соответствен-

но $s_{\bar{x}_1} = 0,25 \%$ и $s_{\bar{x}_2} = 0,25 \%$, а также предельные ошибки выборочной средней (в пакете **Анализ данных** используется название «Уровень надежности»), соответственно 0,57 и 0,55. Оценку существенности разности средних проведем по доверительным интервалам для генеральных средних:

$$\bar{x}_1 \pm t_{05} \cdot s_{\bar{x}_1} = 19,05 \pm 0,57 = (18,48 \div 19,62) \%$$

$$\bar{x}_2 \pm t_{05} \cdot s_{\bar{x}_2} = 17,06 \pm 0,55 = (16,51 \div 17,61) \%$$

Вывод: так как доверительные интервалы для генеральных средних не перекрываются, с вероятностью 0,95 можно предполагать, что сорт озимой пшеницы «Престиж» содержит существенно больше белка, чем сорт «Немчиновская-57».

Вопросы для самоконтроля:

1. Различия между зависимыми и независимыми выборками на примерах.
2. Как проверить существенность разности средних по доверительным интервалам?
3. Как проверить существенность разности средних по *t-Стьюдента*?
4. Как провести оценку существенности разности средних зависимых выборок.
5. Что такое нулевая гипотеза и методы ее проверки?
6. Параметрические и непараметрические критерии для проверки нулевой гипотезы.
7. Какой инструмент в Пакете анализа программы Excel применяется для сравнения 2-х независимых вариантов.

2.1. Контрольное задание 2

Общая постановка задачи:

1. Познакомьтесь с экспериментом, как следующим после наблюдения видом научного исследования (Задание из 2-х вариантов).
2. Освойте сущность и практическое применение статистических и рабочих гипотез.
3. Подготовьте данные к статистическому тесту и проведите расчеты необходимых критериев для оценки существенности различий.
4. Сделайте правильное статистическое и агрономическое заключение по эффективности изученных агроприемов.

Расчеты проведите с помощью калькулятора и в программе Excel

Шифр для индивидуальных заданий

№ задания	Колонки	№ задания	Колонки	№ задания	Колонки	№ задания	Колонки
1	1 6	8	2 8	15	4 7	22	5 9
2	1 7	9	2 9	16	4 8	23	5 10
3	1 8	10	2 10	17	4 9	24	3 10
4	1 9	11	3 6	18	4 10	25	4 6
5	1 10	12	3 7	19	5 6	26	2 10
6	2 6	13	3 8	20	5 7	27	3 10
7	2 7	14	3 9	21	5 8	28	5 10

Для выполнения задания. проработайте по учебнику Б.А. Доспехов Методика полевого опыта. М.Альянс, 2011, Глава 17 (стр. 188 -196) или по учебнику Б.Д. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев. Основы научных исследований в агрономии .М. КолосС, 2009, Глава 11 (стр. 167-174)

Задание 2. При оценке качества посева ячменя по глубине заделки семян после вспашки на 20 см. (вариант 1) и фрезерования на 8-10 см. (вариант 2) получены следующие результаты Глубина заделки семян (см):

Вариант 1					Вариант 2				
Номера колонок					Номера колонок				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4,0	5,7	4,3	4,4	2,9	5,4	5,6	4,0	4,9	4,9
5,3	4,5	7,4	2,3	5,6	4,9	4,8	6,0	5,8	5,6
5,6	3,7	4,3	5,6	7,4	5,3	6,0	5,4	6,3	4,2
4,4	4,3	3,7	5,8	5,6	5,4	5,4	3,9	5,0	4,3
2,5	3,5	4,8	5,9	4,8	4,8	4,9	5,8	4,9	6,3
5,3	5,6	2,1	6,8	4,8	5,6	4,7	4,8	3,9	5,5
7,7	6,9	5,6	4,8	5,0	5,3	5,7	5,7	6,3	5,7
3,4	5,6	2,3	6,7	2,1	5,4	5,4	4,8	6,5	4,1
4,5	2,8	4,4	1,5	3,7	4,8	5,6	6,5	4,3	5,8
8,2	4,4	5,7	6,3	–	5,6	6,0	6,0	–	5,0

Необходимо ответить на вопрос: существенны ли различия по средней глубине заделки семян и качеству посева после вспашки на 20 см и фрезерования на 8-10 см.

Статистическая обработка:

Рабочая таблица с формулами для расчетов

Статистические характеристики	Вариант 1	Вариант 2
$\bar{x} = \frac{\sum X}{n} =$		
$C = \frac{(\sum X)^2}{n} =$		
$\Sigma(X - \bar{x})^2 = \Sigma X^2 - C =$		
$S^2 = \frac{\Sigma(X - \bar{x})^2}{n - 1} =$		
$S = \sqrt{S^2} =$		
$s_x = \frac{S}{\sqrt{n}} =$		
$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 =$		

Оценка существенности разности между средними по вариантам

а) интервальным методом

$$\bar{x}_1 \pm t_{05} \cdot s_{\bar{x}_1} =$$

$$\bar{x}_2 \pm t_{05} \cdot s_{\bar{x}_2} =$$

$$t_{05} =$$

при $df = n - 1$

б) по критерию существенности

$$t_{\delta} = \frac{d}{S_d} = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{\sqrt{s_{\bar{x}_1}^2 + s_{\bar{x}_2}^2}} =$$

$$t_{05} = \quad t_{01} = \quad \text{при } df = n_1 + n_2 - 2 =$$

в) по критической, или наименьшей существенной разности (HCP)

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = \quad HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

Вывод:

Оценка результатов освоения компетенции «Умение выбрать лучшие агротехнические приемы на основе проверки гипотез для данных с количественной изменчивостью»

Уровень освоения компетенции	Владение теорией	Владение практикой	Балл
Умеет на отлично	+	+	2
Умеет на хорошо	-	+	1,5
Умеет на удовлетворительно	+–	+–	1
Не умеет	–	–	0

Дата _____ Подпись преподавателя _____

Тема 3. Дисперсионный анализ данных агрономических исследований

Теоретическая часть. *Дисперсионный анализ* (английская аббревиатура ANOVA – анализ вариантов) является одним из распространенных методов статистической обработки результатов агрономических исследований. Рекомендуется использовать для сравнения 3-х и более вариантов опыта.

Сущностью дисперсионного анализа является одновременное разложение суммы квадратов и числа степеней свободы на составляющие компоненты, которые соответствуют структуре эксперимента, и оценка действия и взаимодействия изучаемых вариантов по *F*-критерию. В зависимости от условий проведения опытов применяют различные модели (схемы) дисперсионного анализа, в которых записывают, на какие конкретно суммы квадратов и степени свободы расчленяют общее варьирование.

Вегетационные опыты чаще всего представляют собой статистические комплексы, в которых независимость сопоставимых вариантов достигается регулярным перемещением сосудов на столах или вагонетках.

Независимости можно добиться и в полевых условиях, если варианты по делянкам полевого опыта размещать методом полной рандомизации. Следовательно, в вегетационных опытах и в полевых опытах с полной рандомизацией вариантов нет территориально организованных повторений. В таких случаях дисперсионный анализ данных таких экспериментов необходимо вести как для несопряженных (независимых) выборок.

Общее варьирование изучаемого признака в этом случае будет состоять из варьирования между выборками (вариантами) и варьирования внутри выборок. *Вариация между выборками (вариантами) представляет ту часть общей изменчивости, которая обусловлена действием изучаемых факторов, а вариация внутри выборок характеризует действие случайных факторов, т.е. ошибку эксперимента.*

Схема (модель) дисперсионного анализа однофакторного вегетационного опыта и полевого опыта, в котором варианты размещены методом полной рандомизации, будет выглядеть следующим образом:

Суммы квадратов $CKO = CKV + CKE$

Степени свободы $N - 1 = (v - 1) + (N - v)$

Дисперсия, средний квадрат вариантов $S_v^2 = \frac{CKV}{v - 1}$; остатка $S_e^2 = \frac{CKE}{N - v}$

где: CKO – общая сумма квадратов, характеризует общее варьирование по опыту,
 CKV – сумма квадратов вариантов, характеризует вариацию между вариантами,
 CKE – сумма квадратов остаточная, характеризует случайную вариацию,
 v – число вариантов, N – общее число наблюдений (сосудов, делянок)

Вариацию, обусловленную влиянием систематического (закономерного) варьирования плодородия почвы рассчитывают только лишь, если варианты в полевом опыте сгруппированы по блокам или повторениям. Изменчивость результативного признака, обусловленная пестротой почвенного плодородия внутри повторений, относится к случайным ошибкам.

В полевом опыте, проведенном методом организованных (рандомизированных) повторений, общая изменчивость результативного признака (CKO) с помощью дисперсионного анализа разлагается на три части: варьирование повторений (СКП), варьирование изучаемых вариантов (СКВ) и случайное или остаточное (СКЕ).

Схема, модель дисперсионного анализа однофакторного полевого опыта, в котором варианты размещены методом организованных повторений:

Суммы квадратов $CKO = СКП + CKV + CKE$

Степени свободы $N - 1 = (n - 1) + (v - 1) + (n - 1)(v - 1)$

Дисперсия, средний квадрат вариантов $S_v^2 = \frac{CKV}{v - 1}$; остатка $S_e^2 = \frac{CKE}{(n - 1)(v - 1)}$

где: n – число повторений (часть площади опытного участка, включающая делянки с полным набором вариантов), $N - 1$ – общее число степеней свободы, $n - 1$ – число степеней свободы повторений, $v - 1$ – число степеней свободы вариантов, $(n - 1)(v - 1)$ – остаточное число степеней свободы

Оценка значимости действия изучаемых факторов проводится по критерию Фишера – F , который представляет собой отношение дисперсии (среднего квадрата) вариантов к дисперсии остатка

$F_{фак} = \frac{S_v^2}{S_e^2}$. $F_{фак}$ сравнивают с табличным значение критерия Фишера – $F_{табл}$ при

заданном уровне значимости (F_{05} или F_{01})

Если $F_{факт} < F_{табл}$, то нулевая гипотеза (предположение: все средние значения по вариантам являются оценками одной генеральной средней и между нет существенных различий) принимается и на этом расчеты заканчиваются. Если $F_{факт} \geq F_{табл}$, то нулевая гипотеза отвергается и необходимо дополнительно оценить существенность частных различий по величине HCP_{05} или HCP_{01} и определить, между какими средними имеются значимые различия.

Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта, заложенного методом организованных повторений (блоков)

Пример 4. В полевом опыте, в котором варианты размещены методом организованных повторений, изучаются 5 сортов озимой пшеницы ($v = 5$) в 4-ых кратной повторности ($n = 4$). Урожайность разных сортов озимой пшеницы, ц/га, представлена в табл. 2.

Таблица 2

Урожайность разных сортов озимой пшеницы, ц/га

Варианты опыта	Повторения			
	I	II	III	IV
1. Безостая 1	35,4	37,1	36,6	35,8
2. Золушка	39,6	40,4	38,3	39,5
3. Дельта	35,6	34,8	35,8	36,5
4. Сфера	41,6	39,9	39,3	45,6
5. Престиж	46,2	45,4	43,8	49,9

Необходимо провести дисперсионный анализ данных полевого опыта, рассчитать критерий Фишера, проверить нулевую гипотезу, оценить есть ли существенные различий между средними значениями по вариантам опыта.

Решение.

Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта, заложенного методом организованных (рандомизированных) повторений проведем в четыре этапа.

1. Составляем расчетную таблицу, располагая в ней наименование изучаемых вариантов и их урожайные данные и определяем следующие характеристики: суммы по повторениям $\Sigma\Pi$, вариантам ΣV , общую сумму ΣX , а также средние по вариантам \bar{x}_v

Варианты опыта	Повторения				Суммы V	Средние \bar{x}_v
	1	2	3	4		
1. Безостая 1	35,4	37,1	36,6	35,8	144,9	36,2
2. Золушка	39,6	40,4	38,3	39,5	157,8	39,4
3. Дельта	35,6	34,8	35,8	36,5	142,7	35,7
4. Сфера	41,6	39,9	39,3	45,6	166,4	41,6
5. Престиж	46,2	45,4	43,8	49,9	185,3	46,3
Суммы Π	198,4	197,6	193,8	207,3	$\Sigma X = 797,1$	$\bar{x}_0 = 39,8$

Для расчета сумм квадратов определим:

общее число наблюдений $N = v \cdot n = 5 \cdot 4 = 20$

поправку $C = (\Sigma X)^2 / N = (797,1)^2 / 20 = 31768,4$

2. Вычисляем суммы квадратов по формулам:

$$SKO = \Sigma X^2 - C = (35,4^2 + 37,1^2 + 36,6^2 + \dots + 49,9^2) - 31768,4 = 352,6;$$

$$SKV = \Sigma V^2 / n - C = (144,9^2 + 157,8^2 + \dots + 185,3^2) / 4 - 31768,4 = 302,9;$$

$$SK\Pi = \Sigma \Pi^2 / v - C = (198,4^2 + \dots + 207,3^2) / 5 - 31768,4 = 19,6;$$

$$SKE = SKO - SKV - SK\Pi = 352,6 - 302,9 - 19,61 = 30,1$$

3. Составляем таблицу дисперсионного анализа:

Источник вариации	Суммы квадратов	Доля вариации, %	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий F	
					факт	05
Общая	352,6	100,0	$N-1=19$	–	–	–
Повторений	19,6	5,6	$n-1=3$	–	–	–
Вариантов	302,9	85,9	$v-1=4$	$S_v^2 = 75,72$	30,17	3,26
Остаточная	30,1	8,5	$(n-1)(v-1)=12$	$S_e^2 = 2,51$	–	–

Для определения доли влияния повторений, вариантов и остатка на результаты опыта необходимо разделить значения их сумм квадратов на общую сумму квадратов и умножить на 100. Из данных таблицы видно, что в общем варьировании урожайности в полевом опыте на долю сортов приходится свыше 85%, на закономерное варьирование плодородия почвы (сумма квадратов по повторениям) 5,6 и на долю случайных ошибок (остаточная сумма) – 8,5 %.

Разделив средний квадрат (дисперсию) вариантов на сумму квадратов для остатка получаем фактическое значение критерия Фишера $F_{\phi} = 30,17$. В таблице приложения П2 с учетом числа степеней свободы для вариантов $df_v = v - 1 = 4$ и числа степеней свободы для остатка $df_e = (n - 1)(v - 1) = 12$ находим теоретическое значение критерия Фишера $F_{05} = 3,26$ $F_{01} = 5,41$ и сравниваем их с F_{ϕ} . Так как $F_{\phi} > F_{01}$, нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между средними значениями по вариантам опыта на 1%-ном уровне значимости отвергается. По критерию Фишера мы в целом устанавливаем, что в опыте между средними имеются значимые различия, однако мы не можем определить к каким вариантам это относится. Для этого необходимо провести попарное сравнение вариантов между собой и провести оценку существенности разности средних ($\pm d$) по величине наименьшей существенной разности HCP . HCP – это величина предельных случайных отклонений (предельная ошибка) при сравнении двух средних величин. Если разность между средними ($\pm d$) $\geq HCP$, то она существенна, если ($\pm d$) $< HCP$, то разность несущественна при заданном уровне значимости.

4. Для оценки существенности частных различий рассчитаем:

$$\text{ошибку разности средних } S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} = 1,12 \text{ ц/га,}$$

наименьшую существенную разность для 5% и 1% уровня значимости в абсолютных и относительных значениях $HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = 2,18 \cdot 1,12 = 2,4$ ц/га,

$$HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d = 3,06 \cdot 1,12 = 3,4 \text{ ц/га,}$$

$$HCP_{05} \% = \frac{(t_{05} \cdot S_d)}{\bar{x}_0} \cdot 100 = 6,1\% \quad HCP_{01} \% = 8,5\%$$

Теоретическое значение $t_{05} = 2,18$ и $t_{01} = 3,06$ выбираем из таблицы приложения П1 для остаточного числа степеней свободы $df_e = 12$

При сортоиспытании все опытные сорта на основе сравнения их разности $d = \bar{x}_{on} - \bar{x}_{cm}$ с HCP_{05} распределяют на три группы:

I группа $d \geq HCP_{05}$ – опытный сорт (вариант) существенно превышает стандартный;

II группа $| \pm d | < HCP_{05}$ – различия между опытным и стандартным сортами (вариантами) несущественны;

III группа $| -d | \geq HCP_{05}$ – опытный сорт (вариант) существенно уступает стандартному.

Существенность (значимость) различий можно обозначить звездочками следующим образом: если $| \pm d | \geq HCP_{05}$, d^* существенные различия на 5% уровне значимости $| \pm d | \geq HCP_{01}$, d^{**} существенные различия на 1% уровне значимости.

5. Составляем итоговую таблицу, в которую переносим из исходной таблицы средние значения по сортам (вариантам) опыта, находим отклонения от стандарта в абсолютных значениях и в процентах, звездочками обозначаем существенные различия и распределяем опытные сорта по группам:

Итоговая таблица

Варианты опыта	Среднее, \bar{x}_v	Отклонения от стандарта		Группа
		$d = \bar{x}_{on} - \bar{x}_{cm}$	$d, \%$	
1. Безостая 1	36,2	–	–	–
2. Золушка	39,4	3,2*	8,9*	I
3. Дельта	35,7	–0,5	1,2	II
4. Сфера	41,6	5,4**	14,9**	I
5. Престиж	46,3	10,1**	27,9**	I

$$HCP_{05} = 2,4 \text{ ц/га} \quad HCP_{01} = 3,4 \text{ ц/га}$$

$$HCP_{05}\% = 6,1\% \quad HCP_{01}\% = 8,5\%$$

Звездочками обозначены существенные различия:

* – на 5% уровне значимости

** – на 1% уровне значимости

6. Вывод. Прибавки в урожайности сорта Золушка по сравнению со стандартным сортом Безостая 1 существенны на 5%-ном уровне значимости, у сортов Сфера и Престиж на 1%-ном уровне, снижение урожайности сорта Дельта по сравнению с Безостой 1 незначительно.

Дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта с организованными (рандомизированными) повторениями в программе Excel

Пример 4. В полевом опыте, заложенном методом организованных повторений, проведено испытание 5-ти сортов озимой пшеницы ($v = 5$) в 4-х кратной повторности ($n = 4$).

Урожайность разных сортов озимой пшеницы, ц/га, представлена в табл. 2.

Таблица 2

Урожайность разных сортов озимой пшеницы, ц/га

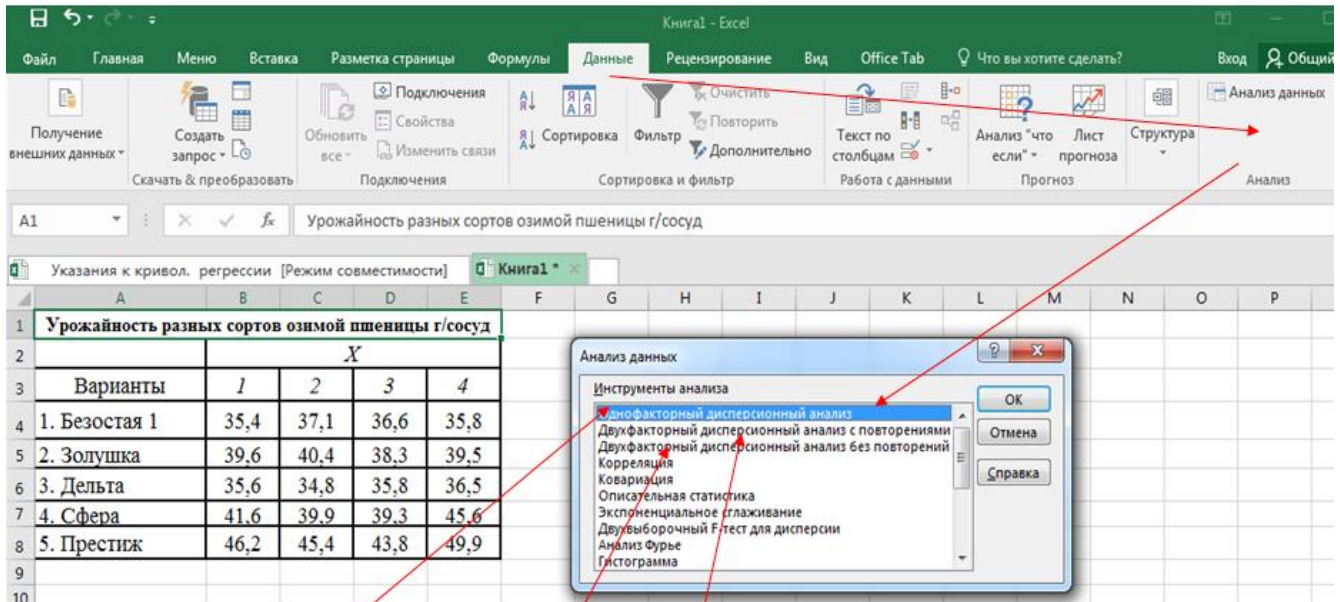
Варианты опыта (сорта)	Повторения			
	I	II	III	IV
1. Безостая 1	35,4	37,1	36,6	35,8
2. Золушка	39,6	40,4	38,3	39,5
3. Дельта	35,6	34,8	35,8	36,5
4. Сфера	41,6	39,9	39,3	45,6
5. Престиж	46,2	45,4	43,8	49,9

1. Для проведения дисперсионного анализа в пакете **Анализ данных** имеется три инструмента: **Однофакторный дисперсионный анализ**, **Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями**, **Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений** (рис.15).

Для обработки данных однофакторного вегетационного опыта или полевого опыта с полной рандомизацией вариантов выбирается инструмент **Однофакторный дисперсионный анализ**.

Для обработки данных однофакторного полевого опыта, с размещением вариантов методом организованных (рандомизированных) повторений выбирается инструмент **Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений**.

Для обработки данных двухфакторного вегетационного или полевого опыта с полной рандомизацией вариантов выбирается инструмент **Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями**.



Для однофакторных вегетационных и полевых опытов с полной рандомизацией

Для однофакторных полевых опытов с организованными повторениями

Для двухфакторных опытов с полной рандомизацией

Рис. 15. Инструменты для проведения дисперсионного анализа в пакете *Анализ данных*

2. В активный лист программы Excel введем исходные данные однофакторного полевого опыта, расположив таблицу, как представлено на рис. 16.

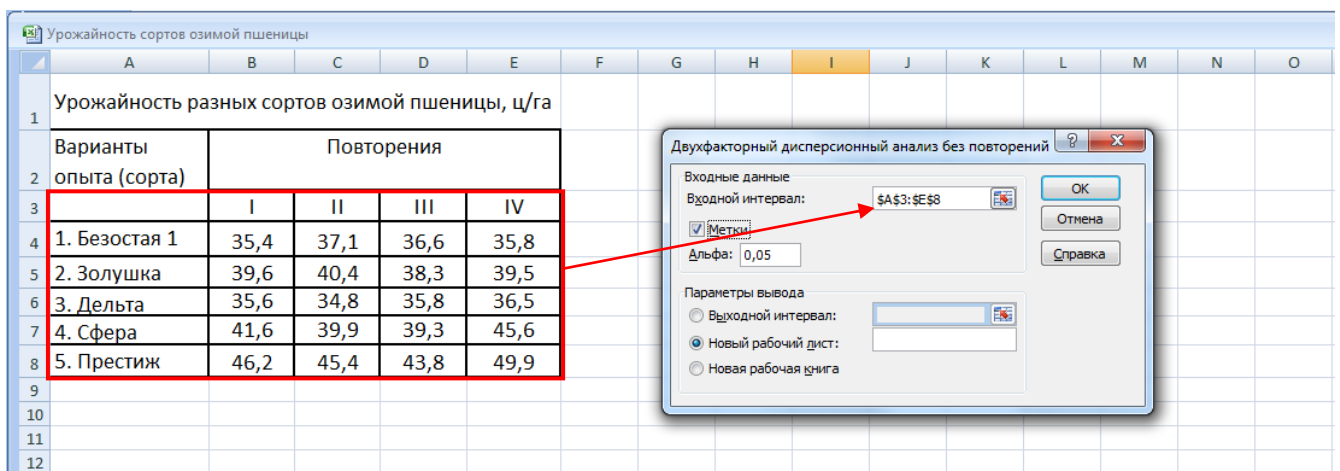


Рис. 16. Диалоговое окно *Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений*

2. Дисперсионный анализ однофакторного полевого опыта с рандомизированными повторениями в программе Excel можно выполнить, как бы это ни было парадоксальным, с помощью инструмента, который называется «Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений». Поэтому из пакета **Анализ данных** выберем инструмент **Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений** (рис. 16).

3. В появившемся окне укажем входной интервал **A3:E8**. Входной интервал должен включать только диапазон, состоящий из перечня вариантов, перечня повторений и цифровых данных по этим вариантам. Укажем **Метки в первом столбце**. Это необходимо для того, чтобы в выходных таблицах автоматически указывались наименования вариантов. Выберем уровень значимости **Альфа 0,05**. Выбираем выходной интервал для размещения результатов дисперсионного анализа: на данном листе или новом листе и нажимаем **ОК**.

4. В итоге получаем таблицу дисперсионного анализа «Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений», которая, по сути, является таблицей дисперсионного анализа данных нашего однофакторного полевого опыта, заложенного методом рандомизированных повторений в четырехкратной повторности (рис. 17).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений							
2								
3	ИТОГИ	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия			
4	1. Безостая 1	4,00	144,90	36,23	0,59			
5	2. Золушка	4,00	157,80	39,45	0,75			
6	3. Дельта	4,00	142,70	35,68	0,49			
7	4. Сфера	4,00	166,40	41,60	8,06			
8	5. Престиж	4,00	185,30	46,33	6,68			
9								
10	I	5,00	198,40	39,68	20,29			
11	II	5,00	197,60	39,52	15,91			
12	III	5,00	193,80	38,76	9,83			
13	IV	5,00	207,30	41,46	37,21			
14								
15								
16	Дисперсионный анализ							
17	Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое	
18	Строки	302,88	4,00	75,72	30,18	0,00	3,26	
19	Столбцы	19,59	3,00	6,53	2,60	0,10	3,49	
20	Погрешность	30,10	12,00	2,51				
21								
22	Итого	352,57	19,00					
23								

Рис. 17. Таблица дисперсионного анализа

5. В верхней итоговой части таблицы приведены суммы и средние значения по вариантам и повторениям (римские цифры), счет — это повторность каждого варианта ($n = 4$). В нижней части представлена таблица дисперсионного анализа, в которой термины и формулы подразумевают: Строки — «Варианты», Столбцы — «Повторения», Погрешность — «Остаток», **SS** — сумма квадратов отклонений (СК), **df** — степени свободы, **MS** — средний квадрат отклонений, или дисперсия S^2 .

6. Имеем $F_{\text{факт}} = 30,18$, $F_{05} = 3,26$. Так как $F_{\text{факт}} > F_{05}$, и $p < 0,05$, нулевая гипотеза отвергается – в опыте в целом есть существенные различия, поэтому необходимо рассчитать HCP .

7. В пакете **Анализ данных** программы Excel, а также в большинстве других статистических пакетов не предусмотрена оценка существенности средних по HCP — четвертый этап дисперсионного анализа, поэтому ошибку разности (S_d) и (HCP_{05}) можно рассчитать для нашего примера следующим образом:

$$S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} = \sqrt{\frac{2ms_e}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,51}{4}} = 1,12$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d = 2,18 \cdot 1,12 = 2,4 \text{ ц/га};$$

$$HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d = 3,06 \cdot 1,12 = 3,4 \text{ ц/га}$$

8. Составляем итоговую таблицу, в которую заносим средние значения по вариантам, рассчитываем отклонения между средними по вариантам и по величине HCP определяем существенные различия между вариантами.

Итоговая таблица

Варианты опыта	Среднее, \bar{x}_v	Отклонения от стандарта		Группа
		$d = \bar{x}_{on} - \bar{x}_{cm}$	$d, \%$	
1. Безостая 1	36,2	–	–	–
2. Золушка	39,4	3,2*	8,9*	I
3. Дельта	35,7	–0,5	1,2	II
4. Сфера	41,6	5,4**	14,9**	I
5. Престиж	46,3	10,1**	27,9**	I

$$HCP_{05} = 2,4 \text{ ц/га} \quad HCP_{01} = 3,4 \text{ ц/га}$$

9. Вывод. Прибавки в урожайности сорта Золушка по сравнению со стандартным сортом Безостая 1 существенны на 5%-ном уровне значимости, у сортов Сфера и Престиж на 1%-ном уровне, снижение урожайности сорта Дельта по сравнению с Безостой 1 незначительно.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем сущность дисперсионного анализа?
2. Как рассчитывается F - критерий Фишера?
3. Как проверяется нулевая гипотеза по критерию F ?
4. Схема, модель дисперсионного анализа данных вегетационного опыта?
5. Схема, модель дисперсионного анализа данных однофакторного полевого опыта?
6. Схема, модель дисперсионного анализа данных многофакторного опыта?
7. Особенности дисперсионного анализа данных полевого опыта с повышенной повторностью стандарта.
8. Особенности дисперсионного анализа результатов полевого опыта с выпавшими делянками.
9. Группировка сортов (вариантов) по HCP_{05}
10. Инструменты Пакета анализа для проведения дисперсионного анализа

3.1. Контрольное задание 3
Дисперсионный анализ данных полевого опыта, заложенного
методом организованных (рандомизированных) повторений

Цель: в соответствии с компетенцией ОПК-5.2 освоить методы выбора лучших вариантов в агрономических исследованиях на основе дисперсионного анализа

Общая постановка задачи:

1. Изучить дисперсионный анализ данных однофакторного полевого опыта проведенного методом организованных (рандомизированных) повторений.
2. Провести расчеты по дисперсионному анализу на калькуляторе и в программе Excel.
3. По результатам дисперсионного анализа сформулировать статистический и агрономический вывод.

Для выполнения задания проработайте по учебнику Б.А. Доспехов Методика полевого опыта. М.Альянс, 2011, Глава 18 (стр. 207-217), Глава 20 (стр. 231-239) проработайте по учебнику Б.Д. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев. Основы научных исследований в агрономии .М. КолосС, 2009. Глава 12 (стр.193-201)

Шифр для индивидуальных заданий:

№	Повторения	№	Повторения	№	Повторения	№	Повторения
1	1 2 3 4	9	2 3 5 7	17	1 3 5 7	25	1 3 4 7
2	2 3 4 5	10	1 2 4 7	18	2 5 6 7	26	1 2 6 7
3	3 4 5 6	11	2 4 5 6	19	1 2 5 6	27	2 3 6 7
4	1 2 3 5	12	1 4 5 6	20	1 3 4 5	28	2 3 4 7
5	4 5 6 7	13	3 5 6 7	21	1 4 5 7	29	3 4 5 7
6	1 2 3 6	14	1 3 6 7	22	1 4 6 7	30	2 4 5 7
7	2 3 5 6	15	1 3 5 6	23	1 5 6 7		
8	1 2 3 7	16	2 4 6 7	24	1 4 5 7		

Таблица 3

Влияние разных доз минеральных удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы, т/га

Варианты опыта	Повторения						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1. N60P70K70 (контроль)	39,8	41,3	40,1	39,6	38,7	38,4	41,4
2. N80P80K80	42,3	41,8	43,1	40,8	39,9	39,4	43,0
3. N100P90K90	45,6	46,8	48,3	44,4	43,9	46,8	45,7
4. N120P100K100	52,5	53,2	52,7	51,8	54,8	50,8	48,5
5. N140P110K110	48,9	52,4	51,5	50,8	56,5	50,8	50,6

Исходная таблица

Варианты опыта	Повторения				Суммы V	Средние \bar{x}
	I	II	III	IV		
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
Суммы II						

$$\Sigma X = \Sigma V = \Sigma II =$$

Общее число наблюдений $N = v \cdot n =$

Поправка $C = (\Sigma X)^2 / N =$

Суммы квадратов отклонений:

$$CKO = \Sigma X^2 - C =$$

$$CKV = \Sigma V^2 / n - C =$$

$$CKII = \Sigma II^2 / v - C =$$

$$SKE = CKO - CKV - CKII =$$

Таблица дисперсионного анализа

Источник вариации	Суммы квадратов	Доля вариации	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий F	
					факт.	05
Общая				–	–	–
Повторений				–	–	–
Вариантов						
Остаточная					–	–

$$S_x = \sqrt{\frac{S_e^2}{n}} =$$

$$S_d = \sqrt{\frac{2S_e^2}{n}} =$$

$$HCP_{05} = t_{05} \cdot S_d =$$

$$HCP_{01} = t_{01} \cdot S_d =$$

Таблица сравнения средних _____

Варианты опыта	Средние, \bar{x}_v	Отклонения $d = \bar{x}_{it} - \bar{x}_{st}$	Группа
1 (st)			
2			
3			
4			
5			

$HCP_{05} =$

$HCP_{01} =$

Вывод:

Оценка результатов освоения компетенции «Освоил методику проведения дисперсионного анализа результатов однофакторного опыта с рандомизированными (организованными) повторениями»

Уровень освоения компетенции	Владение теорией	Владение практикой	Балл
Освоил (а) на отлично	+	+	2
Освоил (а) на хорошо	-	+	1,5
Освоил (а) на удовлетворительно	+-	+-	1
Не освоил (а)	-	-	0

Дата _____

Подпись преподавателя _____

Тема 4. Корреляционно-регрессионный анализ в агрономических исследованиях

Теоретическая часть.

Корреляционно-регрессионный анализ – статистический метод анализа, позволяющий:

- дать качественную оценку наличия силы или тесноты, направления и формы зависимости изучаемых признаков (корреляционный анализ);
- провести количественную оценку изучаемой зависимости: нахождение уравнения регрессии, оценка существенности регрессии и построение теоретической линии регрессии (регрессионный анализ).

Все изучаемые признаки делятся на две группы:

- *независимые или факторные признаки* (аргумент), обозначаются буквой X ,
- *зависимые или результативные* (функция), которые изменяются под влиянием независимых признаков. Зависимые признаки обозначаются буквой Y .

В агрономических исследованиях редко приходится иметь дело с точными и определенными *функциональными связями*, когда каждому значению независимого признака (X) соответ-

ствуется строго определенное значение результивного признака (зависимого) (Y). Чаще между изучаемыми явлениями, объектами, условиями среды, ростом, продуктивностью растений и другими показателями существуют *корреляционные или вероятностные взаимосвязи*, когда определенному значению независимой переменной X соответствует не одно, а множество возможных значений признака Y .

Корреляции подразделяют по направлению, форме и числу связей. По направлению корреляция может быть прямой и обратной. При *прямой корреляции* с увеличением значения признака X увеличивается значение признака Y . *Например, чем выше продуктивная кустистость, тем выше урожайность, чем больше питательных элементов в почве, тем выше урожайность, чем больше длина листа, тем больше его площадь: чем лучше освещенность растений, тем интенсивнее фотосинтез и т.п.*

При *обратной корреляции* с увеличением значения признака X значение признака Y уменьшается. *Например, при увеличении засоренности полей или пораженности культурных растений уменьшается урожай, при постоянном увеличении массы корнеплодов свеклы уменьшается их сахаристость и т.п.*

По форме корреляция бывает прямолинейной и криволинейной. При *прямолинейной (линейной)* связи между признаками X и Y зависимость носит линейный характер и выражается уравнением прямой линии $Y = a + bX$. При линейной зависимости одинаковые приращения аргумента X приводят к одинаковым приращениям функции Y .

Когда при одинаковых приращениях аргумента X функция имеет неодинаковые изменения Y , зависимость называется *нелинейной* или *криволинейной*.

В зависимости от числа изучаемых признаков корреляция, может быть *простой*, когда имеется связь между двумя признаками и *множественной*, когда изучается зависимость между тремя и более признаками.

Количественно связь между признаками описывается уравнением регрессии: при простой регрессии связь кратко обозначается $Y = f(X)$, а при множественной $Y = (X, Z, T \dots)$.

Уравнение регрессии в агрономии используют:

- для прогнозирования величины урожайности в зависимости от метеоусловий, вредителей, болезней, сорняков и рекомендуемых агроприемов;
- для прогнозирования распространения вредителей и болезней от внешних условий;
- для прогнозирования качества продуктов переработки и их хранения по качеству сырья и т.д.

Прямолинейная корреляция и регрессия

Оценка прямолинейной корреляционной зависимости проводится по *коэффициенту корреляции*

По величине коэффициента корреляции можно судить о направлении и силе или тесноте связи. Коэффициент корреляции величина безразмерная, он изменяется в интервале от -1 до $+1$. Знак коэффициента корреляции указывает на направление связи, если «минус», то связь обратная, если «плюс», то положительная.

Тесноту или силу связи между изучаемыми признаками можно определить по величине коэффициента корреляции. Чем ближе коэффициент корреляции r к $+1$ или -1 , тем более тесная или сильная зависимость между изучаемыми признаками. Если же r принимает значение около 0 , то это дает основание говорить об отсутствии связи между Y и X .

Значимость коэффициента корреляции (нулевая гипотеза об отсутствии связи между факторным и результивным признаками ($H_0 : r = 0$)) проверяется на основе t-критерия Стьюдента или вероятности значимости (p). Для проверки H_0 следует рассчитать t-статистику (t_ϕ) и сравнить ее с табличным значением (t_m) по заданному уровню значимости (α) и числу степеней свободы ($d.f.$) или рассчитать (p). Если $t_\phi > t_m$, $p < 0,05$, то гипотеза H_0 отвергается с вероятностью

стью 95%. Это свидетельствует о значимости линейного коэффициента корреляции и статистической существенности зависимости между факторным и результативным признаками.

Квадрат коэффициента корреляции называют *коэффициентом детерминации* (r^2). Коэффициент детерминации показывает долю общей дисперсии результативного признака (Y), которая объясняется вариацией факторного признака (X).

В процессе проведения регрессионного анализа рассчитывают коэффициент регрессии (b_{yx}). *Коэффициент регрессии* b_{yx} показывает, в каком направлении и насколько изменится результативный признак Y при изменении независимого (факторного) признака X на единицу измерения и выражается в единицах Y . Коэффициент регрессии имеет знак коэффициента корреляции и может принимать любые значения, он привязан к единицам измерения обоих признаков, знак коэффициента регрессии указывает на направление связи.

4. Парная корреляция, линейная регрессионная модель

Пример 5. В таблице приведена зависимость урожайности озимой пшеницы (Y , ц/га) от пораженности бурой ржавчиной (X , %)

X , %	20,2	27,4	21,6	46,0	41,4	43,3	37,8	42,5	59,1	54,7
Y , ц/га	51,1	50,3	51,1	48,4	49,0	49,1	48,5	49,0	41,8	45,0

Необходимо: провести корреляционно-регрессионный анализ парной зависимости между изучаемыми признаками, определить форму, направление и силу связей между признаками, рассчитать параметры регрессионной модели и оценить их значимость.

Решение.

1. Для каждого значения признаков из наборов X и Y рассчитаем квадраты и произведения: X^2 , Y^2 , XY , а также суммы по наборам и занесем данные в таблицу:

Признаки		Квадраты		Произведения
X	Y	X^2	Y^2	XY
20,2	51,1	408,04	2611,21	1032,22
27,4	50,3	750,76	2530,09	1378,22
21,6	51,1	466,56	2611,21	1103,76
46,0	48,4	2116,00	2342,56	2226,4
41,4	49,0	1713,96	2401,00	2028,6
43,3	49,1	1874,89	2410,81	2126,03
37,8	48,5	1428,84	2352,25	1833,3
42,5	49,0	1806,25	2401,00	2082,5
59,1	41,8	3492,81	1747,24	2470,38
54,7	45,0	2992,09	2025,00	2461,5
$\Sigma X = 394,0$	$\Sigma Y = 483,3$	$\Sigma X^2 = 17050,20$	$\Sigma Y^2 = 23432,37$	$\Sigma XY = 18742,91$

2. Определим следующие величины:

число пар сравнений – $n = 10$;

средние по ряду X и по ряду Y – $\bar{x} = \Sigma X / n = 39,4$, $\bar{y} = \Sigma Y / n = 48,3$;

отклонения –

$$\Sigma(X - \bar{x})^2 = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} = 1526,60, \quad \Sigma(Y - \bar{y})^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n} = 74,48;$$

$$\Sigma(X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y}) = \Sigma XY - \frac{\Sigma X \cdot \Sigma Y}{n} = -299,11;$$

коэффициенты –

$$r = \frac{\Sigma(X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(X - \bar{x})^2 \cdot \Sigma(Y - \bar{y})^2}} = 0,89, \quad S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} = 0,16, \quad d_{yx} = r^2 = 0,792 \text{ или } 79,2\%,$$

$$b_{yx} = \frac{\sum(X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sum(X - \bar{x})^2} = -0,20 \text{ ц/га}, S_{b_{yx}} = S_r \cdot \sqrt{\frac{\sum(Y - \bar{y})^2}{\sum(X - \bar{x})^2}} = 0,04,$$

$$t_r = t_b = \frac{r}{s_r} = 5,6, t_{05} = 2,31 \text{ при } df = n - 2 = 8.$$

3. Рассчитанные значения средних по ряду X , Y и b_{yx} подставляем в уравнение

$$Y = \bar{y} + b_{yx} \cdot (X - \bar{x}) = 48,3 - 0,20(X - 39,4)$$

После упрощения получаем модель линейной регрессии $Y = a + bX = 56,2 - 0,2X$.

4. Параметры a и b расчетного уравнения регрессии можно рассчитать *методом наименьших квадратов* путем решения двух уравнений. Для этого уравнение прямой линии $a + bX = Y$ сначала умножаем на n , а потом на $\sum X$, и получаем систему из двух уравнений:

$$\begin{aligned} an + b\sum X &= \sum Y = a10 + b394,0 = 483,3 \\ a\sum X + b\sum X^2 &= \sum XY = a394 + b17050,2 = 18742,91. \end{aligned}$$

Упрощаем эти уравнения, разделив первое уравнение на n , а второе — на $\sum X$:

$$a + 39,4b = 48,33$$

$$a + 43,27b = 47,57$$

$$-3,87b = 0,76$$

Вычитаем из первого уравнения второе, получаем третье и рассчитываем коэффициент b : $0,76 / -3,87 = -0,20$

Свободный член уравнения a находим путем решения второго полученного уравнения, подставляя в него уже известное значение b : $a + 39,4(-0,20) = 48,33$, $a = 56,2$ ¹

5. Определяем значения Y для экстремальных значений X (X_{\min} и X_{\max}) и строим теоретическую линию регрессии Y по X .

Корреляционно-регрессионный анализ в программе Excel

Пример 5. В таблице приведена зависимость урожайности озимой пшеницы (Y , ц/га) от пораженности бурой ржавчиной (X , %)

X , %	20,2	27,4	21,6	46,0	41,4	43,3	37,8	42,5	59,1	54,7
Y , ц/га	51,1	50,3	51,1	48,4	49,0	49,1	48,5	49,0	41,8	45,0

1. В активный лист программы Excel введем исходные данные вышеприведенного примера, расположив таблицу по столбцам (рис. 18).

2. Для расчета коэффициентов корреляции, регрессии, определения уравнения регрессии и построения теоретической линии, нажав на вкладку **Анализ данных**, выберем инструмент анализа **Регрессия** (рис. 18).

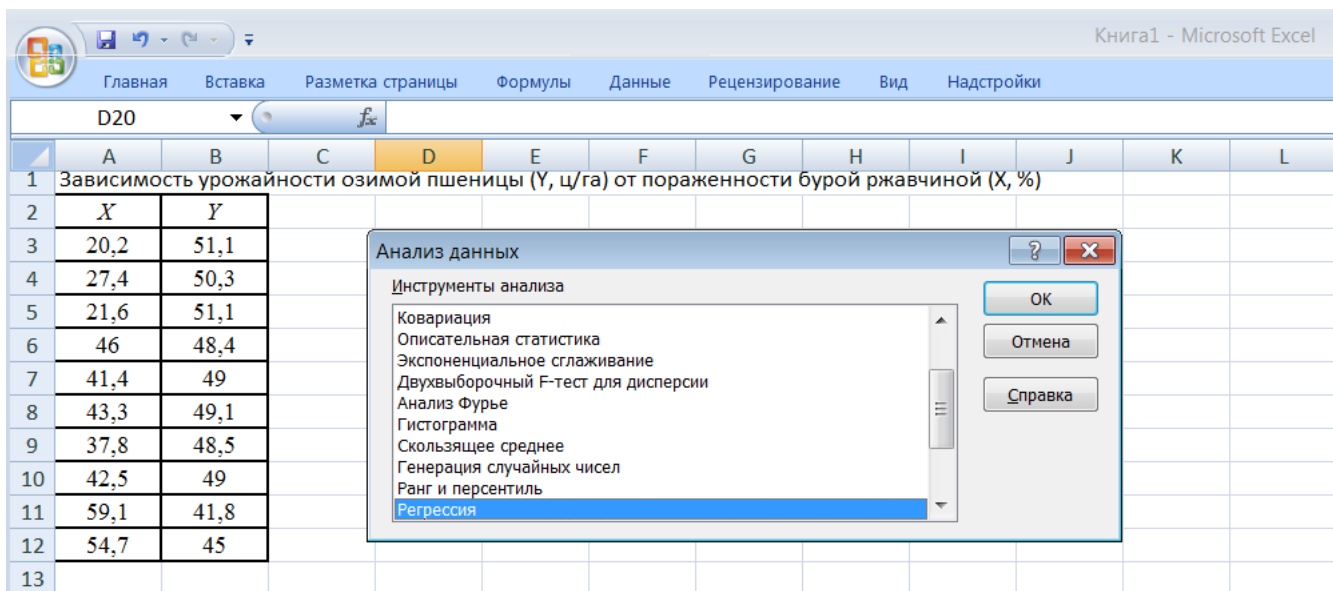


Рис. 18. Исходные данные и подменю Анализ данных — выбор регрессии

3. В появившемся окне настроек регрессии (рис. 19) в поле **Входной интервал Y:** введём диапазон ячеек, где расположены переменные данные зависимого признака (урожайность) **A2:A12**, в поле **Входной интервал X:** – диапазон ячеек **B2:B12** – данные по пораженности, галочкой отмечаем **Метки**. В поле **Уровень надежности** указываем доверительную вероятность 95 %, отмечаем выходной интервал для размещения результатов расчета, в нашем случае – новый рабочий лист, выбираем **График подбора** и нажимаем на клавишу **ОК**.

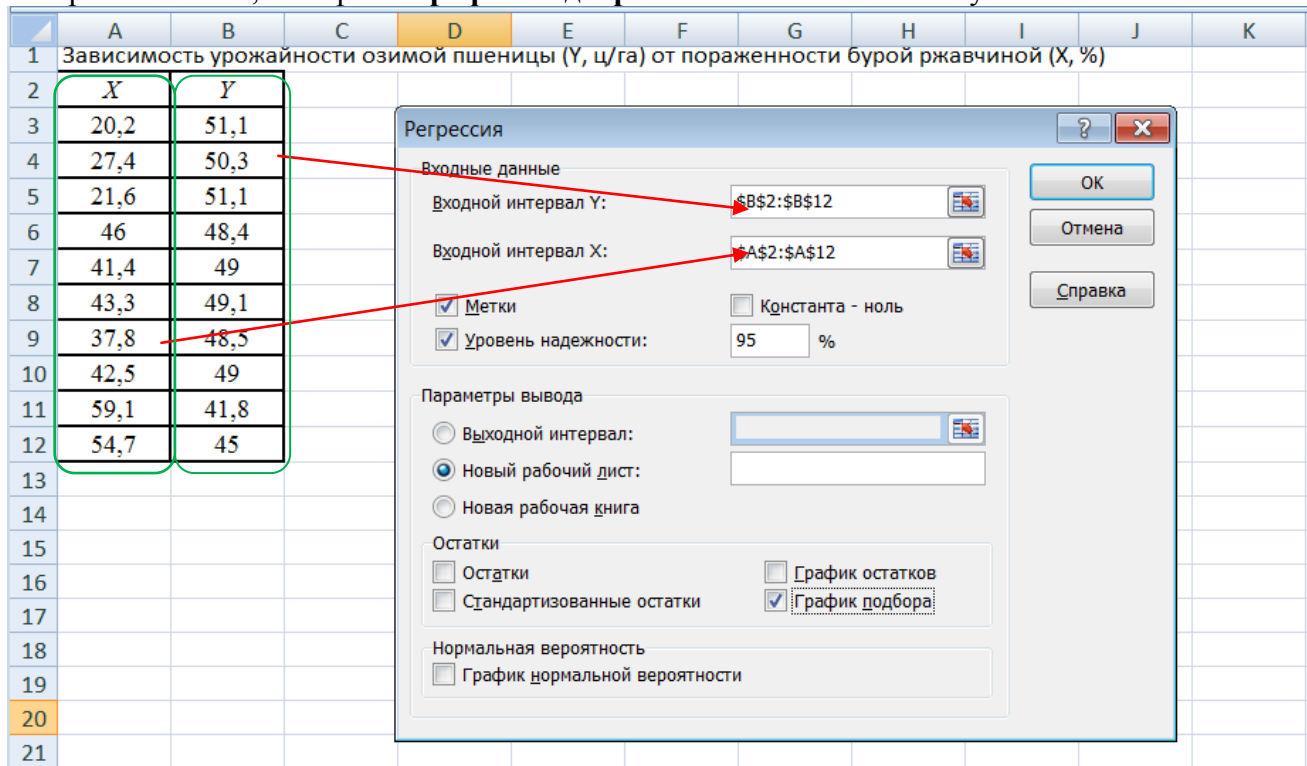


Рис. 19. Диалоговое окно Регрессия

4. После нажатия на клавишу **ОК** получаем на рабочем листе **Регрессионную статистику**, **Дисперсионный анализ регрессии** и **График подбора** – график зависимости Y от X (рис. 20).

1	Вывод итогов							
2								
3	Регрессионная статистика							
4	Множественный R	0,89						
5	R-квадрат	0,79						
6	Нормированный R-кв	0,76						
7	Стандартная ошибка	1,41						
8	Наблюдения	10,00						
9								
10	Дисперсионный анализ							
11		df	SS	MS	F	Значимость F		
12	Регрессия	1,00	58,61	58,61	29,53	0,00		
13	Остаток	8,00	15,88	1,98				
14	Итого	9,00	74,48					
15								
16	Коэффициентная статистика - Значение t, нижние 95% доверительные границы, 95% доверительные границы, 95,0%							
17	Y-пересечение	56,05	1,49	37,65	0,00	52,62	59,48	
18	X	-0,20	0,04	-5,43	0,00	-0,28	-0,11	
19								
20	Вывод остатка							
21								
22	Наблюдение	Предсказано	Остатки					
23	1,00	52,09	-0,99					
24	2,00	50,68	-0,38					
25	3,00	51,82	-0,72					
26	4,00	47,04	1,36					
27	5,00	47,94	1,06					
28	6,00	47,57	1,53					

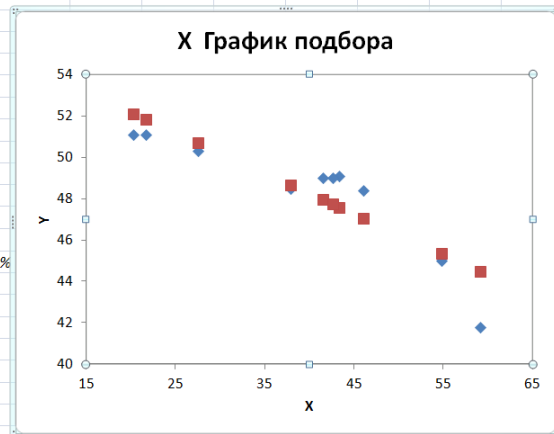


Рис. 20. Итоги регрессионного анализа

5. Коэффициент множественной корреляции, а для нашего примера с двумя признаками – коэффициент парной корреляции ($R=r=0,89$) свидетельствует о тесной зависимости между изучаемыми признаками, коэффициент детерминации ($d_{yx} = r^2 = 0,79$) показывает, что изменение урожайности озимой пшеницы на 79 % зависит от пораженности бурой ржавчиной.

6. Дисперсионный анализ регрессии дает возможность провести оценку качества модели уравнения регрессии. Данные таблицы дисперсионного анализа показывают, что из общей суммы квадратов отклонений (SS), равной 74,48, на регрессию (влияние пораженности бурой ржавчиной на урожайность озимой пшеницы) приходится 58,61 (78,7%) и 15,88 на остаточную или случайную вариацию. F -критерий полученного уравнения регрессии значим на 1%-ном уровне ($F_{факт} > F_{01}$, $F_{факт} = 29,53$, $F_{01} = 10,6$). Вероятность принятия нулевой гипотезы $p = 0,00062$ значительно меньше 0,01, что говорит о существенной значимости предлагаемой модели регрессии.

7. В нижней части таблицы указаны параметры для нахождения уравнения линейной регрессии: коэффициент регрессии $b_{yx} = -0,20$; $a = 56,05$. Уравнение будет иметь следующий вид: $Y = 56,05 - 0,20X$.

Для построения теоретической линии и нахождения уравнения регрессии подведем курсор мышки к данным графика (фактическим точкам), при нажатии на правую клавишу появляется контекстное меню, выберем **Добавить линию тренда** (рис. 21)

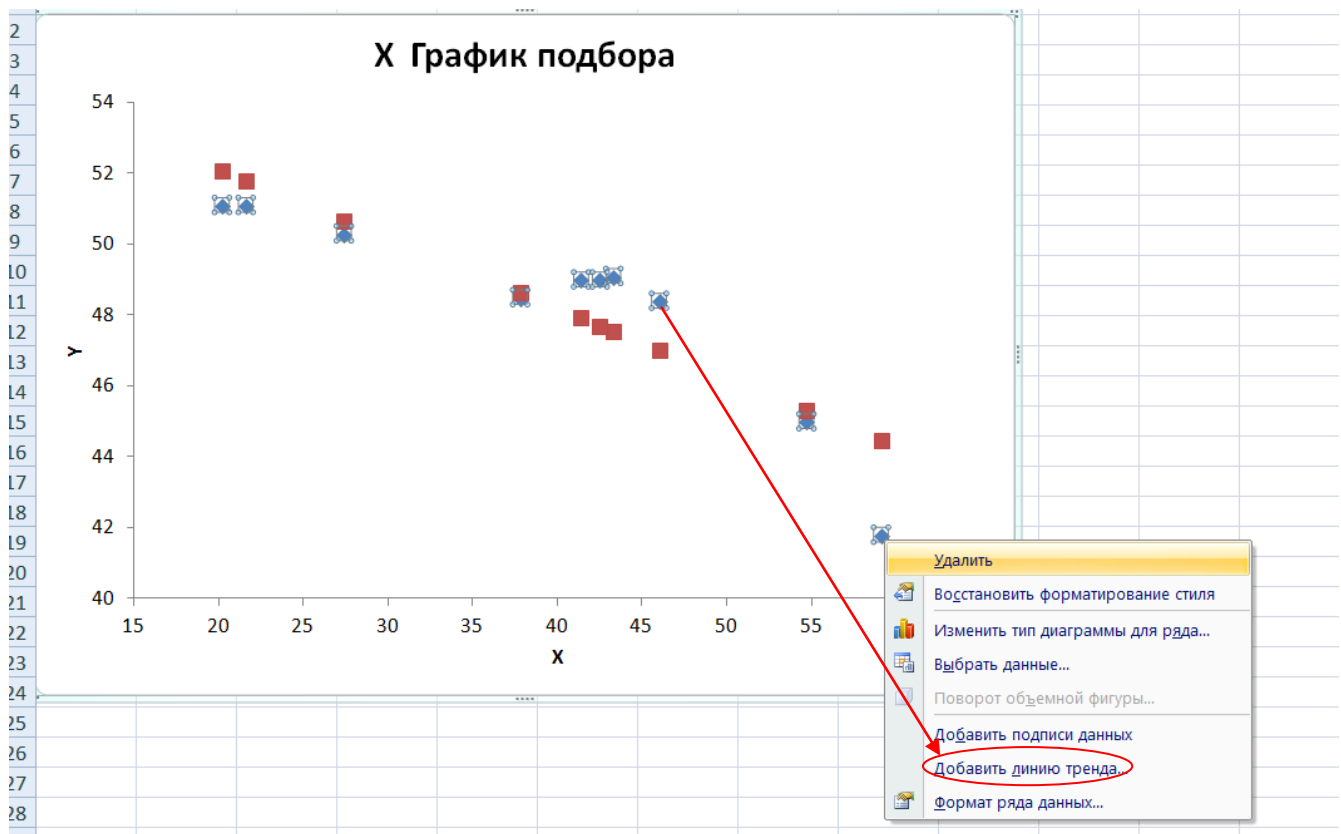


Рис. 21. Контекстное меню для работы с данными

После выбора добавления линии тренда появляется всплывающее окно с параметрами линии тренда (рис. 22). Так как мы предполагаем, что наша зависимость носит прямолинейный характер, для аппроксимации и сглаживания эмпирической линии выберем **Линейная**. Выберем **автоматическое сглаживание**, галочкой укажем **показать уравнение на диаграмме** и **поместить R^2** .

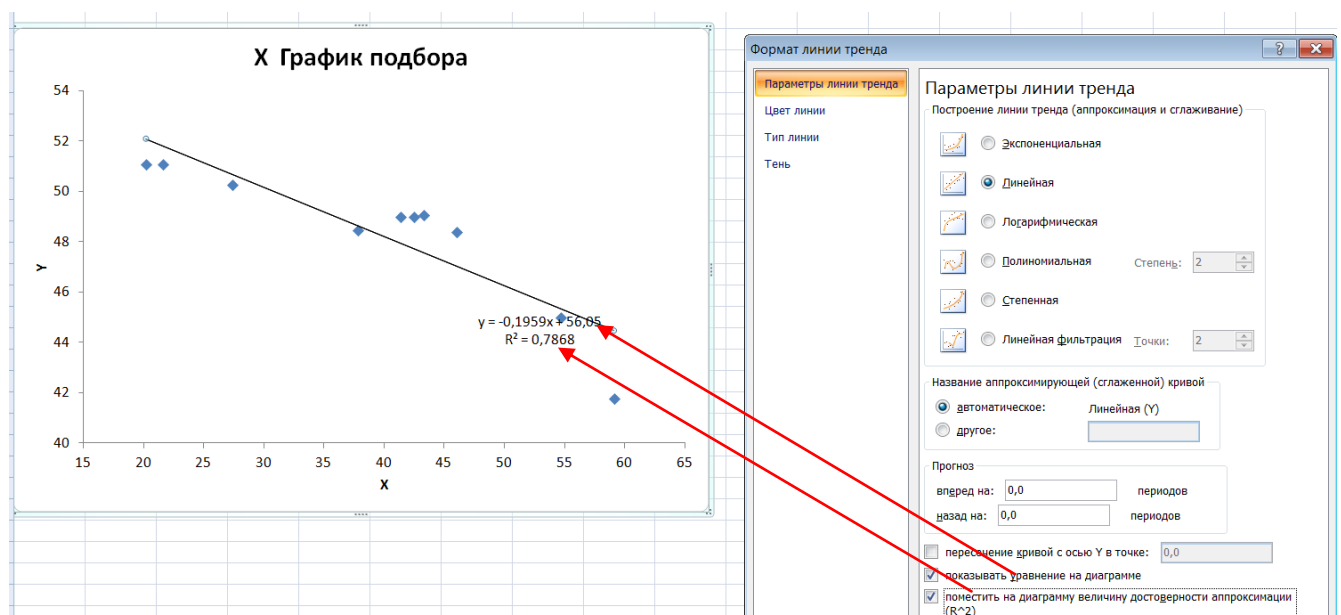


Рис. 22. Формат линии тренда

После форматирования всех элементов и параметров диаграммы получаем следующий график зависимости между пораженностью бурой ржавчиной и урожайностью озимой пшеницы (рис. 23).

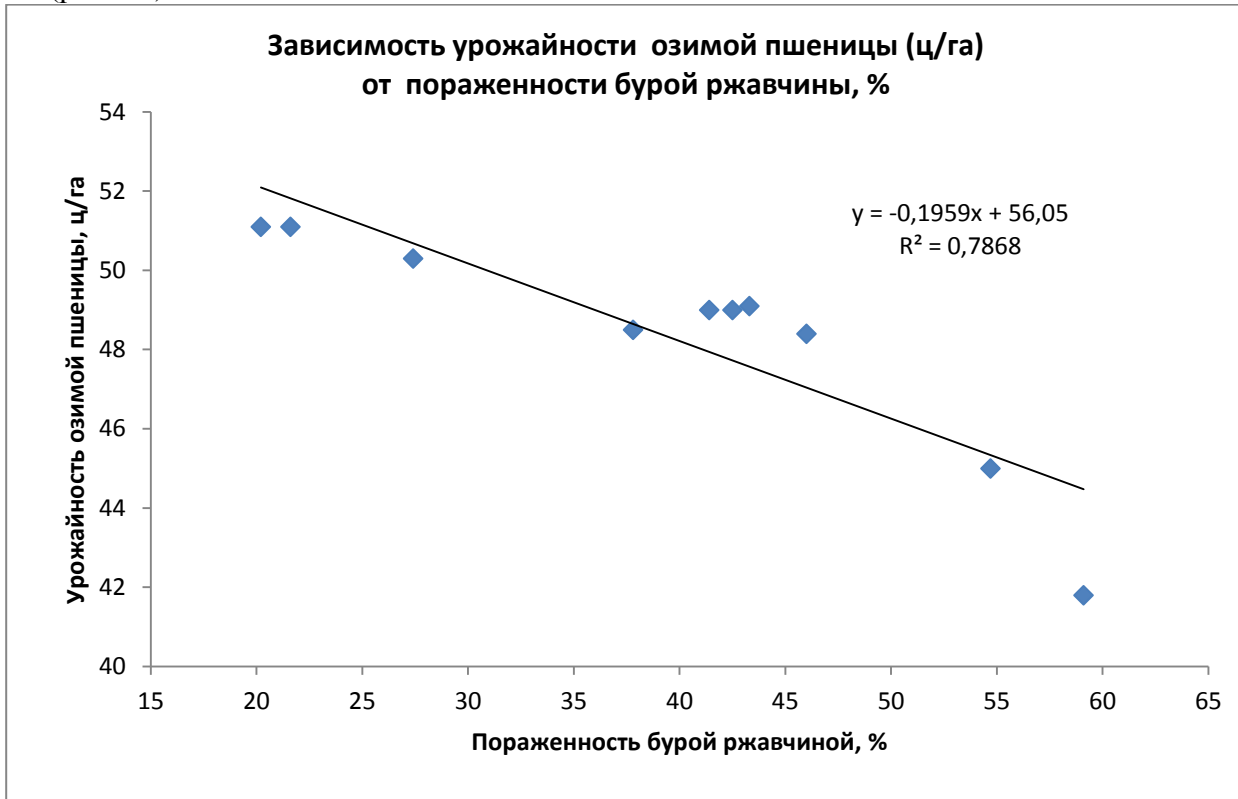


Рис. 23 График зависимости урожайности озимой пшеницы от пораженности бурой ржавчины

На графике голубыми кубиками отмечено фактические значения урожайности и показана теоретическая линия регрессии с уравнением: $Y = 56,05 - 0,1959X$. Коэффициент регрессии составляет $-0,20$. Данный коэффициент свидетельствует о том, что при увеличении пораженности бурой ржавчиной на 1%, урожайность озимой пшеницы уменьшается на 0,20 ц/га.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое корреляция?
2. Какие задачи решает корреляционный анализ?
3. Виды корреляции?
4. Чем и как измеряется сила и направление связи?
5. Что характеризует коэффициент детерминации?
6. Какие задачи решает регрессионный анализ?
7. Что показывает коэффициент регрессии?
8. Как использовать результаты регрессионного анализа в производственных условиях?
9. Приведите приемы множественной корреляционной зависимости?
10. Как провести корреляционно-регрессионный анализ в программе Excel?

Контрольное задание 4
Прямолинейная корреляция и регрессия

Общая постановка задачи:

1. Усвоить сущность и значение корреляционного и регрессионного анализов, условия и место их применения в опытном деле.
2. Освоить технику корреляционного и регрессионного анализов.
3. Расчеты провести на калькуляторе и в программе Excel
4. Сделать статистический и агрономический вывод по характеру связей изучаемых признаков.

Для выполнения задания. проработайте по учебнику Б.А. Доспехов Методика полевого опыта. М.Альянс, 2011, Глава 23 (стр. 268 -280) или по учебнику Б.Д. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев. Основы научных исследований в агрономии .М. КолосС, 2009. Глава 11 (стр.174-181

Список индивидуальных данных

Номер (шифр) задания соответствует порядковому номеру студента в журнале или ведомости:

А. Линейная корреляция и регрессия

Пример 1. Масса зерна ячменя (X, мг) и содержание жира в зерне (Y,%)

1 задание		2 задание		3 задание		4 задание		5 задание	
Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
1,2	11,0	2,1	13,5	1,1	10,5	1,1	12,0	1,0	10,7
5,1	19,9	1,0	10,8	5,0	19,8	5,1	21,9	3,1	16,8
2,3	15,9	2,3	15,6	2,4	15,0	1,2	11,0	1,5	14,0
3,1	16,3	3,6	17,5	3,3	19,6	2,2	16,9	2,0	17,1
0,9	10,2	4,1	18,4	2,8	16,7	4,3	19,4	5,2	25,3
4,1	21,4	2,7	16,0	3,0	18,3	2,2	17,3	4,1	20,4
2,1	15,8	4,7	21,0	2,2	16,8	3,1	18,8	2,1	15,4
4,2	21,6	5,2	24,9	1,7	13,5	2,2	15,9	4,1	23,1
1,1	12,3	1,0	10,5	2,5	15,7	2,1	16,0	3,1	18,9
3,4	17,3	2,8	17,2	3,3	19	2,9	18,9	2,7	17,6

Пример 2. Количество осадков за май – июль (X, мм) и прибавка урожая картофеля от NPK (Y, ц/га)

6 задание		7 задание		8 задание		9 задание		10 задание	
Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
150	235	46	113	45	121	203	245	30	60
136	204	125	212	84	142	65	153	33	74
42	120	77	14	83	138	74	138	47	94
216	238	201	247	143	221	34	84	42	99
37	96	112	176	136	198	90	150	88	150
95	145	112	188	100	168	80	137	60	143
82	140	37	88	95	140	33	74	144	220
48	119	42	96	103	178	46	112	45	108
42	115	39	83	31	78	103	165	27	64
96	156	54	113	36	85	135	198	42	100

Пример 3. Число развитых колосков в колосе (X) и число зерен в колосе (Y)

11 задание		12 задание		13 задание		14 задание		15 задание	
Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
38	18	28	19	30	13	32	17	18	10
29	12	39	15	22	11	22	9	28	13
32	13	25	13	28	9	34	15	32	15
42	17	29	13	38	15	27	12	41	17
30	16	27	14	32	13	41	17	32	14
33	15	26	12	35	15	31	14	28	13
36	16	34	15	26	13	28	13	31	14
41	16	40	16	31	14	31	14	29	13
30	13	34	14	22	10	36	16	31	15
28	13	29	16	31	14	31	14	18	9

Пример 4. Некапиллярная пористость (Y, %) и плотность (X, г/см³)

16 задание		17 задание		18 задание		19 задание		20 задание	
Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
14,6	1,20	4,3	1,44	11,8	1,28	11,7	1,32	15,4	1,23
12,1	1,28	13,2	1,30	15,2	1,21	3,7	1,40	3,8	1,43
11,6	1,31	6,4	1,40	8,3	1,38	8,3	1,38	3,5	1,42
15,2	1,23	17,8	1,28	18,4	1,16	15,8	1,21	17,2	1,17
14,6	1,24	14,1	1,25	7,0	1,36	2,6	1,48	11,2	1,31
4,7	1,43	10,2	1,32	8,9	1,42	7,0	1,42	15,7	1,22
7,1	1,42	17,2	1,19	16,0	1,11	13,3	1,23	8,3	1,33
11,7	1,29	18,4	1,13	2,5	1,48	15,3	1,15	8,3	1,34
9,0	1,38	4,5	1,40	11,5	1,28	5,7	1,38	4,4	1,45
7,4	1,45	17,3	1,17	6,4	1,37	8,8	1,39	6,3	1,39

Пример 5. Зависимость урожайности озимой пшеницы (Y, ц/га) от пораженности бурой ржавчины (X, %)

21 задание		22 задание		23 задание		24 задание		25 задание	
Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
51,3	19,9	49,3	36,1	50,3	22,3	49,7	21,7	55,1	9,9
50,2	27,3	52,5	22,4	50,4	28,0	50,2	24,4	53,0	25,4
51,1	20,9	55,3	8,5	43,4	54,1	52,5	15,3	50,2	21,1
48,4	46,0	43,8	54,1	46,5	45,3	48,1	36,2	51,1	35,6
49,2	41,4	48,1	43,2	55,3	10,2	41,0	59,7	50,7	42,7
49,1	43,3	39,6	64,1	50,3	20,0	53,0	25,8	51,5	34,0
48,5	37,8	41,3	57,0	40,2	60,4	51,5	34,2	45,8	54,2
49,1	42,4	55,3	12,4	55,3	10,1	45,2	54,6	50,5	43,6
41,9	59,0	48,0	43,1	43,8	54,8	42,0	54,0	58,8	12,4
44,8	53,8	40,6	56,3	48,5	36,2	41,6	59,6	40,2	60,1

Вычислите коэффициенты линейной корреляции и регрессии, рассчитайте уравнение регрессии и представьте данные на графике

Решение:

Признаки		Квадраты		Произведения
Y	X	Y ²	X ²	Y·X
Суммы, Σ				

Число пар сравнений $n =$

Средние по ряду Y и по ряду X

$$\bar{y} = \sum Y : n =$$

$$\bar{x} = \sum X : n =$$

$$\sum (Y - \bar{y})^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} =$$

$$\sum (X - \bar{x})^2 = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} =$$

$$\sum (X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y}) = \sum XY - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{n} =$$

$$r = \frac{\sum (X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{x})^2 \cdot \sum (Y - \bar{y})^2}} =$$

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} =$$

$$d_{yx} = r^2 =$$

$$b_{yx} = \frac{\sum (X - \bar{x}) \cdot (Y - \bar{y})}{\sum (X - \bar{x})^2} =$$

$$S_{b_{yx}} = S_r \cdot \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{y})^2}{\sum (X - \bar{x})^2}} =$$

$$t_r = t_b = \frac{r}{S_r} =$$

$$t_{05} = \quad \text{при } cc = n - 2 =$$

Подставляем рассчитанные значения средних по ряду X , Y и b_{yx} , в уравнение $Y = \bar{y} + b_{yx} \cdot (X - \bar{x}) =$

после упрощения получаем уравнение прямой $Y = a \pm bX =$

Определяем значения Y для экстремальных значений X (X_{min} и X_{max}) и строим теоретическую линию регрессии Y по X .



Вывод:

Оценка результатов компетенции «Знает и владеет методами качественной и количественной оценки зависимости между изучаемыми признаками»

Уровень освоения компетенции	Владение теорией	Владение практикой	Балл
Владеет на отлично	+	+	2
Владеет на хорошо	-	+	1,5
Владеет на удовлетворительно	+-	+-	1
Не владеет	-	-	0

Дата _____ Подпись преподавателя _____

Тема 5. Планирование полевого опыта

Теоретическая часть

Планирование эксперимента (опыта) является самым важным и ответственным периодом научно-исследовательской работы, который напрямую влияет на достоверность результатов проведенных исследований и эффективность рекомендаций производству. Следует помнить, ошибки и неточности, допущенные при планировании невозможно устранить, и они неизбежно приводят к искажению информации и часто сводят к нулю работу целых научных подразделений или ложным заключениям и выводам.

Основные этапы планирования эксперимента: выбор темы исследования; определение объекта, цели и задачи исследований, анализ современного состояния вопроса по литературным источникам, выдвижение рабочей гипотезы или ряда конкурирующих гипотез; разработка схемы и методики полевого опыта, выбор земельного участка, составление схематического плана расположения опыта на территории с указанием цифровых значений каждого элемента методики полевого опыта, выбор соответствующего метода статистической обработки.

Для определения цели и задач исследований, разработки рабочей гипотезы необходимо изучить научную информацию. Источниками научной информации служат отчеты научных учреждений, патентная литература, информационные издания, статьи в научных журналах, книги научной и производственной тематики, материалы конференций, симпозиумов и выставок. В результате проработки научной информации у исследователя возникают собственные мнения и соображения, выявляются наиболее актуальные вопросы, формируются представления о научной проблеме, делаются выводы об актуальности и новизне исследований и их практической значимости.

После ознакомления с научной информацией выбирается тема опыта. Формулировка темы опыта должна быть из ключевых слов, отражающих суть изучаемого вопроса. Обычно это одно предложение, в котором указаны изучаемые факторы, объекты исследования и природно-почвенная зона (регион или административный район), в которой проводится эксперимент. Объектами исследований обычно в агрономии являются культурные растения, почва, а также вредители и сорные растения. Из названия темы должно быть понятно, какая проблема поставлена в научном исследовании и каковы ее актуальность, новизна и практическая значимость.

После выбора темы следует определить цель и задачи эксперимента. Цель исследования должна ограничиться рамками того вопроса, на который желательно получить ответ. *Цель исследования* – четко в одно предложение записать, что вы желаете добиться, изучить посредством данного опыта. *Задачи исследования* – указать, каким путем будет достигаться поставленная цель, что необходимо проделать для этого. Обычно в опыте может быть только одна цель, а задач — несколько, перечень задач обычно содержит 3–4 пункта, из которых последний, как правило, касается определения урожайности и установления экономической эффективности разрабатываемых в опыте агроприемов.

Следующим этапом является выдвижение *рабочей гипотезы*, т. е. научного предположения о действии включенных в опыт вариантов. Рабочая гипотеза выдвигается на основании анализа научной информации по выбранной теме, сопоставления друг с другом различных фактов, идей и теории. Рабочая гипотеза должна быть краткой, обладать логичностью и быть применимой к достаточно широкому кругу явлений. В рабочей гипотезе обычно отражается, во-первых, что произойдет, если будет произведено данное действие, а во-вторых, почему это произойдет именно так, а не иначе.

Составление схемы опыта является наиболее ответственной задачей при планировании опыта. *Схема опыта* — это перечень контрольных (стандартных) и опытных вариантов, объединенных общей идеей. *Под вариантами опыта в агрономических исследованиях понимают изу-*

чаемое растение, сорт, агротехнический прием, технология возделывания культур или их сочетание. Вариант, с которым сравнивают все остальные, называют *контрольным* или *стандартным вариантом*, остальные варианты называются *опытными вариантами*.

Варианты в опытах могут различаться *качественно* или *количественно*. В схемах опытов с качественной градацией в качестве вариантов выступают сорта, удобрения, приемы и технологии возделывании сельскохозяйственных культур. В схемах опыта с количественной градацией изучаются уровни качественных вариантов: дозы удобрений и пестицидов, нормы и сроки посева, глубина заделки семян и т. д. Кроме того, схемы опытов бывают *однофакторными* и *многофакторными*. Схема опыта с качественной градацией изучаемых вариантов должна быть спланирована таким образом, чтобы был соблюден *принцип единственного различия* и *правильно выбран стандартный или контрольный вариант*. При планировании схемы опыта для вариантов с количественной градацией помимо соблюдения принципа единственного различия и выбора стандартного варианта необходимо правильно выбрать *число градаций, шаг варьирования и центр эксперимента*.

Шагом варьирования эксперимента является разница между градациями количественных вариантов схемы опыта. Как правило, шаг варьирования должен быть таким, чтобы разница между соседними градациями превышала ошибку опыта. Устанавливают число градаций и шаг варьирования таким образом, чтобы в будущем эксперименте с увеличением доз или норм величина результативного признака сначала возрастала, далее достигала максимума при оптимальных дозах (центр эксперимента), а дальнейшее увеличение приводило бы к уменьшению величины признака. В этом случае мы получаем кривую отклика воздействия исследуемых вариантов на изучаемые признаки.

При планировании полевого опыта важным этапом является разработка оптимального сочетания основных элементов методики полевого опыта: повторность, площадь, форма и ориентация делянок, метод размещения вариантов, делянок и повторений.

Повторность опыта рассчитывают по формуле

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

где n — повторность опыта (число одноименных делянок каждого варианта); V — коэффициент вариации плодородия почвы опытного участка, %; $S_{\bar{x}}\%$ — относительная ошибка опыта (задается экспериментатором).

Из формулы ясно, что необходимая повторность зависит от вариации почвенного плодородия участка и величины запланированной ошибки: чем сильнее варьирует плодородие земельного участка, тем больше должна быть повторность; чем больше величина запланированной ошибки опыта, тем меньше может быть повторность.

Значение V , как правило, определяют по результатам дробного учета урожая перед закладкой опыта, а величину $S_{\bar{x}}\%$ экспериментатор планирует сам исходя из соображений, что ошибка опыта должна быть такой, чтобы доказать существенность производственно значимых различий между средними по вариантам.

Для опытов, заложенных методом латинского квадрата, повторность опыта равна числу вариантов, а для латинского прямоугольника — кратна числу вариантов.

Направление изменения почвенного плодородия участка позволяет правильно сориентировать делянку и выбрать метод размещения вариантов.

Длина и ширина делянки должны быть такими, чтобы обеспечить возможность выполнения всех агротехнических работ в опыте серийно выпускаемой обычной или малогабаритной сельскохозяйственной техникой. Боковые защитки на делянках выделяют для того, чтобы устранить действие соседних вариантов друг на друга. Защитные полосы между повторениями в

случае необходимости должны обеспечить разворот агрегатов, выполняющих посевные или уборочные работы.

После составления схемы опыта и расчета необходимой повторности рисуют *схематический план опыта* с указанием на нем размеров всего земельного участка, повторений, делянок и защитных полос. Выносят две смежные делянки за пределы общего плана и указывают размеры посевной и учетной делянок. На схематическом плане показывают цифровыми кодами размещение вариантов по делянкам опыта.

Покажем этапы планирования на примере однофакторного опыта с качественной градацией вариантов.

Пример 5. Тема опыта: «Влияние разных систем обработки дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы на ее плодородие и урожайность картофеля в условиях Московской области».

Целью опыта является определение наиболее эффективных систем обработки почвы, способствующих повышению плодородия дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и получению высоких урожаев картофеля.

Для решения указанной цели необходимо решить *следующие задачи*:

1. Изучить действие разных систем обработки на основные показатели плодородия дерново-подзолистой почвы.
2. Изучить влияние разных систем обработки почвы на урожайность картофеля.
3. Изучить влияние разных систем обработки почвы на засоренность посадок картофеля.
4. Дать экологическую и экономическую эффективность систем обработки почвы.

На основании изучения научной информации можно выдвинуть *следующую рабочую гипотезу*: сочетание отвальной обработки на 20–22 см с фрезерной обработкой на 8–10 см обеспечит повышение урожайности картофеля на 10–15 % и более высокую экономическую и экологическую эффективность.

Для выполнения цели опыта и проверки рабочей гипотезы выберем пять систем обработки почвы с разной глубиной обработки и разным характером воздействия на почву. В качестве контрольного (стандартного) варианта принимаем общепринятую для хозяйств Московской области многооперационную отвальную обработку почвы на 20–22 см:

- 1) отвальная обработка на 20–22 см (контроль);
- 2) отвальная обработка на 28–30 см;
- 3) плоскорезная обработка на 28–30 см;
- 4) фрезерная обработка на 8–10 см;
- 5) сочетание отвальной обработки на 20–22 см с фрезерной на 8–10 см.

Для проведения полевого опыта выделен земельный участок 50 × 100 м с небольшим уклоном с севера на юг. Перед закладкой опыта на данном участке был проведен рекогносцировочный посев ячменя с последующим дробным учетом 20 делянок.

В табл. 4 показаны результаты дробного учета ячменя по 20 делянкам, ц/га

Таблица 4

Дробный учет урожая ячменя по делянкам

№ делянки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Урожайность, ц/га	31	32	30	27	26	30	30	27	26	26
№ делянки	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Урожайность, ц/га	29	28	27	26	25	26	25	25	23	22

Степень варьирования плодородия почвы опытного участка оценивается по величине коэффициента вариации V . Для определения коэффициента вариации проведем следующие расчеты:

средняя урожайность по всему участку $\bar{x}_0 = \sum X / N = 541/20 = 27,1$ ц/га;

поправка $C = (\sum X)^2 / N = 541^2 / 20 = 14\,634,1$;

общая сумма квадратов отклонений СКО = $\sum X^2 - C = (31^2 + 32^2 + \dots + 22^2) - C = 131$;

стандартное отклонение $S = \sqrt{\frac{CK_0}{N-1}} = 2,62$;

коэффициент вариации $V = \frac{S}{\bar{x}_0} \cdot 100 = 9,7\%$.

На основании анализа уже проведенных исследований с обработками почвы выявили, что относительная ошибка опыта должна обеспечить доказательство существенности разности между вариантами в пределах 15%. Поясним, как использовать эти данные для расчета повторности опыта. По результатам опыта надо доказать существенность разности между средними в 15%, т. е. все разности больше 15% должны быть существенны. Следовательно, предельная ошибка разности средних (HCP_{05}) равна 15%, а относительная ошибка ($S_{\bar{x}}\%$) из канонического соотношения должна быть в три раза меньше HCP_{05} . Делим HCP_{05} на три и определяем относительную ошибку опыта: $S_{\bar{x}}\% = 5$.

Рассчитываем повторность опыта:

$$n = \left(\frac{V}{S_{\bar{x}}\%} \right)^2 = \left(\frac{9,7}{5} \right)^2 \approx 4.$$

После определения числа вариантов и повторности нарисуем схематический план полевого опыта с указанием размеров всего земельного участка, повторений и защитных полос (рис.24).

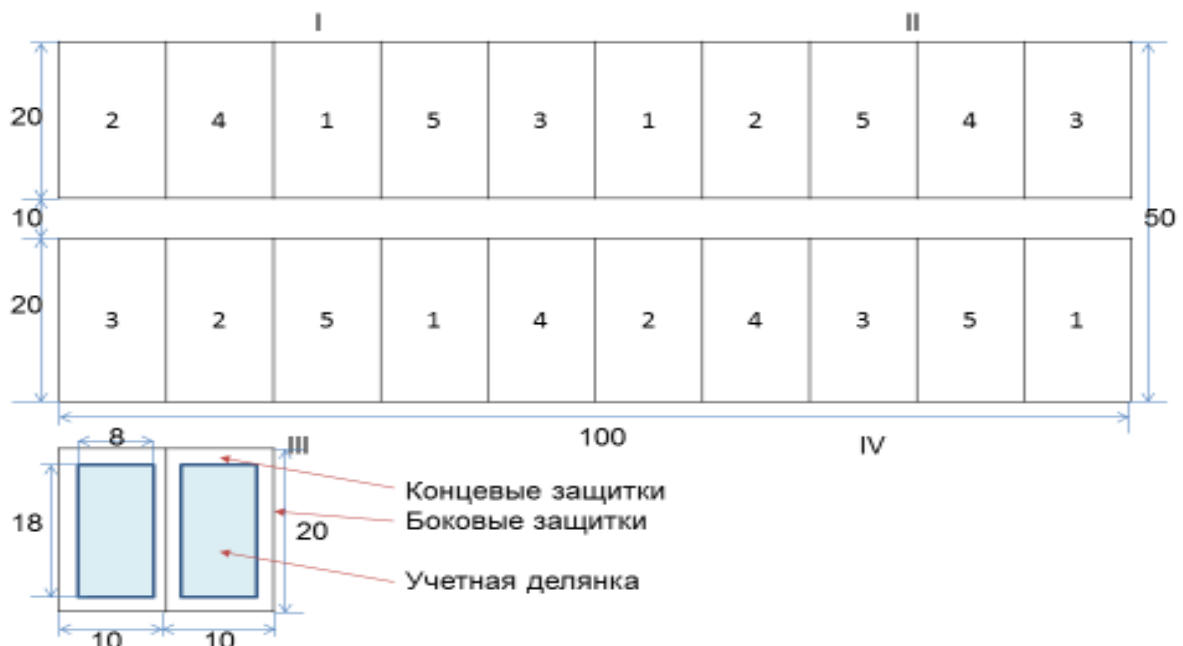


Рис. 24. Схематический план однофакторного полевого опыта

Так как земельный участок имеет небольшой уклон с севера на юг, то делянки длинной стороной будем ориентировать в этом направлении. На данном земельном участке делянки удобнее расположить в два яруса. Для разворота сельскохозяйственной техники между делянками выделим защитную полосу в 10 м. Размеры всего опытного участка указаны на схематиче-

ском плане. Для исключения влияния растений соседних вариантов выделим для каждой делянки боковые защитки и предохранения от случайных повреждений при выполнении агротехнических работ концевые защитки размером 1 м. Покажем на схематическом плане две смежные делянки с размерами опытной делянки (20 × 10) и учетной делянки (18 × 8). Учетная делянка – это часть площади опытной делянки без защиток, предназначенная для учета урожая.

Данные дробного участка указывают на закономерное (систематическое) варьирование плодородия почвы, поэтому для размещения вариантов выберем метод организованных (рандомизированных) повторений. Суть этого метода заключается в том, что опытный участок делим на повторения (блоки), в нашем случае $n = 4$, и внутри каждого повторения варианты размещаем по делянкам опыта случайным образом. Повторения на схематическом плане обозначены римскими цифрами, а арабскими цифрами показано размещение вариантов внутри каждого повторения.

Разработка программы наблюдений и анализов в эксперименте

При планировании и проведении полевых опытов нужно понимать, что продуктивность сельскохозяйственных культур определяется не только генетическим потенциалом сорта (гибрида), но и совокупностью всех процессов в системе «почва – растение – приземный воздух». В связи с этим в полевом опыте следует изучать сообщество сельскохозяйственных культур вместе с сопутствующими им сорными растениями, вредителями, приземным слоем воздуха, почвой и проживающими в ней различными организмами.

Любой опыт обязательно должен сопровождаться различными *наблюдениями за растениями, почвой, окружающей средой*. Конкретная программа наблюдений и учетов обычно планируется таким образом, чтобы, выполнив ее, можно было бы правильно ответить на вопросы, поставленные экспериментом перед «природой».

При разработке программы полевых и лабораторных наблюдений в полевом эксперименте исследователь должен обратить внимание на решение следующих вопросов:

- *какие конкретные наблюдения и учеты следует включать в программу исследований и какими статистическими методами их обрабатывать;*
- *каковы должны быть периодичность и частота проведения наблюдений и учетов;*
- *каким методом отбирать пробы почвы и растений и каков должен быть объем этим проб;*
- *как обеспечить представительность отбираемых проб.*

Наблюдения и учеты должны быть целенаправленными, они должны соответствовать задачам и схеме опыта. В опыте необходим такой набор наблюдений и учетов, который позволит объяснить изучаемые явления и процессы в опыте.

Сроки и периодичность проведения наблюдений и учетов определяются целью исследований и техническими возможностями. Для характеристики агрофизических и агрохимических свойств почвы наблюдения лучше проводить в период вегетации культурных растений, приурочивая их к фазам развития растений, в то время как при исследовании динамики процессов целесообразно установить календарные сроки.

При планировании наблюдений и учетов в полевом эксперименте необходимо обратить внимание на методику отбора почвенных и растительных образцов и на то, как отбирать образцы, если в учетах участвуют учетные единицы первого порядка (делянки), учетные единицы второго порядка (площадки, точки внутри делянки), учетные единицы третьего порядка (параллельные анализы в лаборатории). В полевом опыте необходимо отбирать пробы для анализа с делянок каждого повторения, а внутри делянок выделять несколько площадок для отбора проб. При установлении числа учетных площадок или проб следует учитывать как размеры делянок, так и степень изменчивости изучаемого признака. Ориентировочно при площади делянки 100 –

200 м² с разных мест делянки отбирают 8 –12 проб, если меньше 100 м², число проб можно сократить до 6 – 8, если площадь делянки свыше 200 м², число проб увеличивают до 15 –20.

Для обеспечения представительности отбираемой выборки отбор проб на делянке проводится случайным методом.

С учетом указанных требований для нашего запланированного опыта, в котором изучаются разные системы обработки почвы, предлагается следующая программа наблюдений и учетов.

Программа наблюдений и учетов.

1. Агрометеорологические наблюдения.
2. Фенологические наблюдения.
3. Агрофизические показатели плодородия почвы:
 - плотность сложения почвы (г/см³) – объемно-весовым методом по слоям 0–10 см, 10–20 см 3 раза за вегетацию;
 - агрегатный состав почвы – сухим просеиванием почвы через набор сит (метод Н. И. Саввинова) по слоям 0–10 см, 10–20 см 3 раза за вегетацию;
 - водопрочность макроагрегатов почвы (%) – методом качания сит в воде на приборе УОВ-1 (гидроклассификатор) по слоям 0–10 см, 10–20 см 3 раза за вегетацию;
 - влажность почвы (%) – методом термической сушки при 105 °С.
4. Агрохимические показатели плодородия почвы:
 - рН_{КСl} – потенциметрически по слоям 0–10 см, 10–20 см 2 раза за вегетацию;
 - гидролитическая кислотность – по Каппену, рН-метрическим методом;
 - подвижные формы фосфора и калия – по методу Кирсанова по слоям 0–10 см и 10–20 см 2 раза за вегетацию;
 - содержание гумуса – по методу Тюринга по слоям 0–10 см, 10–20 см один раз.
5. Учет засоренности посевов дважды за вегетационный период.
6. Учет урожая сплошным методом.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие вы знаете этапы планирования экспериментов?
2. Каковы критерии выбора тем научных исследований.
3. Значение рабочей гипотезы для планирования эксперимента.
4. Как спланировать схему однофакторного эксперимента с качественной градацией изучаемых вариантов?
5. Как спланировать схему однофакторного эксперимента с количественной градацией изучаемых вариантов?
6. Как изучить характер варьирования плодородия почвы опытного участка перед закладкой полевого опыта?
7. Расчет повторности полевого опыта.
8. Планирование размеров и площади делянок.
9. Как выделяются боковые и концевые защитки в полевом опыте.
10. Методы размещения вариантов в полевом опыте.
11. Планирование полевых работ в опыте.
12. Разработка программы наблюдений и учетов в полевом опыте.
13. Документация и отчетность в полевом опыте.

5.1. Контрольное задание 5

Планирование полевого опыта

Цель: в соответствии с компетенциями ОПК-4.2 и ОПК-5.1 спланировать полевой опыт, составить программу полевых, лабораторных наблюдений и анализов.

Общая постановка задачи

1. Сформулировать тему научного исследования.
2. Разработать рабочую гипотезу.
3. Определить цель и задачи полевого опыта.
4. Представить схему опыта из 5 – 12 вариантов.
5. Разработать исходя из задачи и условий индивидуального задания оптимальное сочетание основных элементов методики полевого опыта: повторность, площадь, форма и ориентация делянок, метод размещения вариантов, делянок и повторений.
6. Нарисовать схематический план опыта с привязкой на местности, указать размеры всего земельного участка, повторений и защитных полос. Разместить варианты (цифровые коды) на делянках. Вынести 2 смежные делянки за пределы общего плана и указать размеры посевной и учетной делянок.
7. Дать развернутую модель дисперсионного анализа с распределением общего числа степеней свободы.
8. Перечислить хронологию специальных и полевых работ по закладке и проведению опыта с указанием инструментов, машин и орудий.

Для выполнения задания проработайте по учебнику Б.А. Доспехов Методика полевого опыта. М.Альянс, 2011, Главы 3-5 (стр. 49-88) или по учебнику Б.Д. Кирюшин, Р.Р. Усманов, И.П. Васильев. Основы научных исследований в агрономии .М. КолосС, 2009. Глава 1, (стр. 42-98)

Список индивидуальных заданий*

1. Под опыт выделен земельный участок 100 x 150 м с небольшим уклоном с запада на восток. Коэффициент вариации плодородия почвы на основании данных дробного учета составил $V=11,2\%$. Существенные различия между вариантами в планируемом опыте должны быть больше $HCP_{05} = 17-19\%$.
2. Под опыт выделен участок площадью 0,5 га, с коэффициентом варьирования плодородия почвы $V=8,8\%$. Ошибка опыта не должна превысить 4 %.

*) Примечание: студенты самостоятельно выбирают 1-ый или 2-ой участок

5.1. Планирование основных элементов методики полевого опыта.

1. Выбор темы.

При выборе темы опыта студенты могут опираться на тематический план научных исследований кафедры, научной лаборатории. Можно спланировать эксперимент по теме будущей дипломной работы или воспользоваться заказом производственного сельскохозяйственного подразделения. В случае затруднений с выбором темы опыта можно воспользоваться следующей примерной тематикой научных работ для агрономических специальностей.

Примерная тематика научных исследований по агрономии:

I. По земледелию и растениеводству.

1. Продуктивность разных сортов картофеля в зависимости от площади питания и массы посадочного клубня.
2. Продуктивность кукурузы в условиях Нечерноземной зоны.
3. Влияние технологии возделывания на засоренность и урожайность подсолнечника.
4. Изучение технологии возделывания озимой пшеницы, яровой пшеницы, ячменя, картофеля, гороха, кукурузы и т.д.
5. Физиологические особенности продукционного процесса многолетних злаковых трав.
6. Влияние прямого посева на засоренность посевов и урожайность полевых культур.
7. Действие удобрений и известкования на урожайность картофеля.
8. Качество газонов в зависимости от состава высеванных трав и доз азотных удобрений.
9. Оптимизация светового режима при выращивании зеленных культур в условиях гидропоники и аэропоники.
10. Использование новых продуктов (дигестат, биочар, водоросли и т. д.) в качестве альтернативных удобрений в органическом земледелии.
11. Действие ресурсосберегающих и почвозащитных систем обработки почвы на ее плодородие и урожайность полевых культур.
12. Агроэкологическая оценка действия и последствий гербицидов в севообороте.
13. Влияние хелатных форм удобрений на биоразнообразие травостоев и агрономические свойства почвы.
14. Агротехническая оценка разбросного посева многолетних трав с использованием беспилотников (дронов).
15. Агрономическая оценка продуктов ЕвроХим, Щелково.
16. Подбор травосмесей для кормовых целей и газона.
17. Оценка новых растений и культур для ландшафтного дизайна.

II. По селекции и семеноводству.

18. Продуктивность новых сортов озимой пшеницы (ржи, яровой пшеницы, льна и т. д.).
19. Действие химических мутагенов на количественные признаки культур.
20. Оценка урожая и элементов его структуры в селекционных питомниках.
21. Оценка устойчивости сортов к болезням.
22. Влияние гамма-облучения на получение новых форм.
23. Сравнительная оценка технологий получения безвирусных растений в семеноводстве картофеля.

III. По защите растений.

24. Оценка устойчивости патогенных грибов к препаратам фирмы «Август».
25. Разработка биометодов защиты растений от болезней и вредителей.
26. Исследование норм расхода гербицида с использованием антидота на скорость гербицидного эффекта и видовой состав сорных растений.
27. Влияние различных доз ядохимикатов на продуктивность культур и развитии вредной энтомофауны.
28. Изучение различных протравителей на зерновых культурах.
29. Выяснение агрономической эффективности нанопрепаратов (наногербицидов) в посевах зерновых.
30. Фитосанитарная экспертиза семян и посевов культур.

Алгоритм планирования опыта:

Тема опыта _____

Рабочая гипотеза _____

Цель и задачи опыта _____

Схема опыта (перечень вариантов)

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- .

Повторность опыта (с обоснованием), метод размещения вариантов, делянок и повторений:

Схематический план полевого опыта

Площадь опытного участка _____ Площадь опытной и учетной делянки _____
Форма делянки _____

Модель дисперсионного анализа данных опыта

Основные работы по закладке и проведению опыта

Программа (перечень) наблюдений и анализов в полевом опыте

Оценка результатов освоения компетенций «Освоил (а) общие принципы и этапы планирования экспериментов, обладает навыками планирования основных элементов полевого опыта и составления программы наблюдений и анализов»

Уровень освоения компетенций	Владение теорией	Владение практикой	Балл
Умеет на отлично	+	+	4
Умеет на хорошо	-	+	2
Умеет на удовлетворительно	+-	+-	1
Не умеет	-	-	0

Дата _____ Подпись преподавателя _____

6. ПРИЛОЖЕНИЯ. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 1

Теоретические значения критерия Стьюдента

Степени свободы, <i>df</i>	Уровень значимости	
	<i>05</i>	<i>01</i>
<i>1</i>	12,71	63,66
<i>2</i>	4,30	9,93
<i>3</i>	3,18	5,84
<i>4</i>	2,78	4,60
<i>5</i>	2,57	4,03
<i>6</i>	2,45	3,71
<i>7</i>	2,37	3,50
<i>8</i>	2,31	3,36
<i>9</i>	2,26	3,25
<i>10</i>	2,23	3,17
<i>11</i>	2,20	3,11
<i>12</i>	2,18	3,06
<i>13</i>	2,16	3,01
<i>14</i>	2,15	2,98
<i>15</i>	2,13	2,95
<i>16</i>	2,12	2,92
<i>17</i>	2,11	2,90
<i>18</i>	2,10	2,88
<i>19</i>	2,09	2,86
<i>20</i>	2,09	2,85
<i>21</i>	2,08	2,83
<i>22</i>	2,07	2,82
<i>23</i>	2,07	2,81
<i>24</i>	2,06	2,80
<i>25</i>	2,06	2,79
<i>30</i>	2,04	2,75
<i>50</i>	2,01	2,68
<i>100</i>	1,98	2,63
∞	1,96	2,58

Таблица 2

Теоретические значения критерия Фишера (F)
 (df_1 – число степеней свободы для дисперсии числителя (варианта),
 df_2 – знаменателя (остатка))

F_{05} – вероятность ошибки $\alpha = 0,05$ (05%)													
df_2	df_1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	50
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
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
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
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
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
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
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
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,60	2,55	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
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
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
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
F_{01} – вероятность ошибки $\alpha = 0,01$ (01%)													
df_2	df_1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	50
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
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
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
8	11,3	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,52	5,36	5,06
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
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
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
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,39	4,30	4,02	3,70	3,56
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
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

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1. Краткая история сельскохозяйственного опытного дела. Современное состояние опытного дела в России.
2. Наблюдения и эксперимент. Лизиметрический метод исследований.
3. Вегетационный метод исследований в агрономии. Методика проведения вегетационных опытов.
4. Полевой опыт и его особенности.
5. Ошибки в полевом опыте, источники возникновения и пути их уменьшения.
6. Основные элементы методики полевого опыта. Влияние элементов методики полевого опыта на ошибку эксперимента.
7. Влияние повторности и площади делянок на ошибку полевого опыта. Коэффициент вариации урожайности ячменя по данным дробного учета составил 7.2%. Ошибка опыта должна обеспечить существенность различий между вариантами опыта в 11 – 12 %. Рассчитать повторность будущего опыта.
8. Размещение повторений и делянок в полевом опыте.
9. Использование результатов дробных учетов урожая для разработки методики полевого опыта.
10. Требования к полевому опыту.
11. Классификация полевых опытов.
12. Роль многолетних (длительных) многофакторных полевых опытов в агрономии.
13. Методы размещения вариантов. Разместить 6 вариантов в 4-х кратной повторности методом рандомизированных повторений.
14. Стандартные и систематические методы размещения вариантов в полевом опыте.
15. Классификация рандомизированных методов размещения вариантов. Разместить 3 вариантов в 4-х кратной повторности методом полной рандомизации.
16. Сущность метода расщепленных делянок. Пример схемы и схематический план двухфакторного полевого опыта 4×3 , заложенного методом расщепленных делянок в 3-х кратной повторности.
17. Основные этапы планирования полевого опыта.
18. Основные правила планирования схем опытов. Планирование схемы однофакторного и многофакторного опытов. Приведите пример схемы однофакторного опыта с количественной градацией изучаемых факторов.
19. Планирование схемы многофакторного опыта.
20. Планирование основных элементов методики полевого опыта.
Коэффициент вариации урожайности ячменя по данным дробного учета составил 8%. Различия между вариантами в планируемом опыте должны быть не менее 9%. Рассчитать повторность опыта.
21. Принципы планирования наблюдений и учетов в полевом опыте. Определить объем выборки с ошибкой в 1 см на 1% уровне значимости, если на основании предварительного осмотра длины стебля льна $X_{\max} = 90 \text{ см}$, $X_{\min} = 60 \text{ см}$.
22. Выбор и подготовка земельного участка под полевой опыт.
23. Требования к земельному участку. Закономерности территориального варьирования плодородия почвы.
24. Разбивка опытного участка.
25. Техника закладки и проведения полевого опыта.
26. Полевые работы на опытном участке. Требования к полевым работам.

27. Определить необходимое количество аммиачной селитры (в килограммах на делянку), если расчетная доза N по действующему веществу – 120 кг/га, содержание питательного вещества в удобрении – 34%, а площадь опытной делянки составляет 50 м².
28. Выключки и браковка делянок.
29. Уборка и учет урожая в полевом опыте.
30. Уборка и учет урожая зерновых культур. Масса зерна с учетной части делянки (50 м²) составила 35 кг, влажность – 11%, а засоренность – 6%. Пересчитать урожайность с делянки на стандартную влажность и 100% чистоту.
31. Уборка и учет урожая трав в полевом опыте
32. Учет урожая пропашных культур. Внесение поправок на изреженность пропашных культур. В полевом опыте с сахарной свеклой при расчетной густоте посева 75 тысяч растений, выпало 15% растений, причем изреженность равномерная. Урожай с делянки составил 41.5 кг. Ввести поправку на изреженность
33. Документация и отчетность по полевому опыту.
34. Особенности проведения опытов в условиях орошения.
35. Особенности методики полевых опытов по защите почв от водной эрозии.
36. Особенности полевых опытов на сенокосах и пастбищах.
37. Особенности проведения опытов в условиях производства.
38. Задачи математической статистики в агрономических исследованиях.
39. Эмпирические и теоретические распределения. Закономерности кривой нормального распределения. Причины появления асимметричных кривых в агрономических исследованиях.
40. Генеральная совокупность и выборка. Определить объем выборки с ошибкой $S_{\bar{x}} = 2$ см, если на основании предварительного осмотра высоты растений ячменя $X_{max} = 120$ см, $X_{min} = 60$ см.
41. Виды изменчивости.
42. Статистические характеристики (показатели) количественной изменчивости.
43. Статистические (характеристики) показатели качественной изменчивости. Определить 95%-ти доверительный интервал для генеральной доли, если $p = 0,3$, $N = 100$, $t_{05} = 1,96$.
44. На основании предварительного учета пораженность ячменя корневыми гнилями составила $p = 50\%$. Определить объем выборки с ошибкой Sp в 5% на 5% уровне.
45. Группировка данных при количественной изменчивости. Определить 99%- доверительный интервал для генеральной средней, если $\bar{x} = 25$, $S^2 = 9$, $n = 36$.
46. Методы проверки гипотез. Критерии существенности.
47. Нулевая гипотеза и статистические методы ее проверки. Определить существенность разности между средними, если $\bar{x}_1 \pm S_{\bar{x}_1} = 20 \pm 1$, $\bar{x}_2 \pm S_{\bar{x}_2} = 25 \pm 1,5$; $t_{05} = 2,0$.
48. Оценка существенности разности независимых и сопряженных (зависимых) выборок. Определить существенность разности между средними (d), если $d \pm Sd = 2.4 \pm 0.86$ при $n_1=6$ и $n_2 = 10$.
49. Оценка существенности разности в сопряженных и независимых выборках. Существенны ли различия между средними: $\bar{x}_1 = 47$, $\bar{x}_2 = 45$, $\bar{x}_3 = 50$ ц/га, если $S_{\bar{x}} = 1$ ц/га, $t_{05} = 2,1$.
50. Оценка существенности разности средних независимых выборок. Определить существенность разности средних на 5% уровне значимости, если $\bar{x}_1 = 28$, $S_1 = 2$, $n_1 = 12$; $\bar{x}_2 = 32$, $S_2 = 1.5$, $n_2 = 8$;
51. Оценка существенности средней разности для зависимых выборок.
52. Статистическая обработка данных агрономических исследований.

53. Дисперсионный анализ полевого опыта, заложенного методом полной рандомизации. По данным дисперсионного анализа полевого опыта, заложенного методом полной рандомизации ($v = 5, n=4$) суммы квадратов составили: $CKO = 300, CKV = 260$. Проверьте нулевую гипотезу по критерию F .
54. Дисперсионный анализ результатов вегетационных и полевых опытов.
55. Дисперсионный анализ данных вегетационного опыта. В вегетационном опыте изучали пять вариантов ($v=5$) в четырехкратной повторности ($n=4$). На основании дисперсионного анализа определили: $S_v^2 = 100, S_z^2 = 25$. Проверьте нулевую гипотезу по критерию Фишера и рассчитайте $HCP_{0.5}$.
56. Дисперсионный анализ опытов, заложенных методом организованных (рандомизированных) повторений. На основе дисперсионного анализа данных полевого ($v = 6, n=4$) суммы квадратов составили: $CKO = 320, CKV = 280, CKП = 20$. Рассчитайте $HCP_{0.5}$
57. Дисперсионный анализ данных многофакторного полевого опыта, заложенного методом рандомизированных повторений.
58. Дисперсионный анализ данных по определению агрофизических (агрохимических) свойств почвы в полевом опыте.
59. Применение корреляционного и регрессионного анализов в агрономических исследованиях.
60. Корреляционный и регрессионный анализы. Существенен ли коэффициент корреляции, если $r = 0,86; S_r = 0,3; n = 12$.

8. Библиографический список

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд-во «АЛЪЯНС», 2011. – 351 с.
2. Кирюшин Б.Д., Усманов Р.Р., Васильев И.П. Основы научных исследований в агрономии. М.: КолосС, 2009. – 397 с.
3. Усманов, Р. Р. Методика опытного дела (с расчетами в программе Excel): практикум / Р. Р. Усманов, Н. Ф. Хохлов; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2020. – 155 с.
4. Усманов Р.Р. Методика экспериментальных исследований в агрономии: учебное пособие для вузов / Р. Р. Усманов.– Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 197 с. – (Высшее образование).
5. Иванова Т.Е., Бортник Т.Ю., Лекомцева Е.В. Методика опытного дела. Учебное пособие. Изд-во Удмуртский государственный аграрный университет, 2020. – 175 с.
6. Зудилин С.Н., Шевченко С.Н., Кутилкин В.Г. Методика опытного дела. Учебное пособие. Самара: РИЦ СГСХА, 2016.– 148 с.
7. Глуховцев В.В., Кириченко В.Г., Зудилин С.П. Практикум по основам научных исследований в агрономии: учеб.пособие для вузов. М.: Колос, 2006. – 263 с.
8. Костылева, Л.М. Лабораторный практикум по основам научных исследований в агрономии. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 106 с.

Методическое издание

Р.Р. Усманов

Методические указания по выполнению
контрольных заданий по дисциплине
«Методика опытного дела»

Методические указания

Подписано для размещения в Электронно-библиотечной системе РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева 2023