

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БИОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

ПРАКТИКУМ

**для практических занятий и выполнения
самостоятельных и контрольных работ**



НОВОСИБИРСК 2022

УДК 658.5 (076.5)

ББК 65.054+65.241, я7

П 372

Кафедра разведения, кормления и частной зоотехнии

Составитель: канд. биол. наук, доцент *И.А. Ленивкина*

Рецензент: проф. кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии, д-р биол. наук *М.Л. Кочнева*

Планирование и организация эксперимента: практикум для практических занятий и выполнения самостоятельных и контрольных работ / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Биолого-технолог. фак-т; сост. И. А. Ленивкина. – 2-е изд. перераб. и доп. – Новосибирск, 2022. – 54 с.

Практикум для практических занятий и выполнения самостоятельных и контрольных работ по дисциплине «Планирование и организация эксперимента», предназначенны для студентов всех форм обучения и повышения квалификации по направлению подготовки: 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции.

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно-методическим советом Биолого-технологического факультета (протокол № 8 от 19.10.2022 г.).

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2022

Содержание

Введение.....	3
Общие положения.....	5
Практическая работа № 1 Параметры оптимизации и требования к ним	8
Практическая работа № 2 Выбор факторов, уровней их варьирования и нулевой точки.....	12
Практическая работа № 3 Априорное ранжирование факторов.....	15
Практическая работа № 4 Матрица планирования эксперимента.....	21
Практическая работа № 5 Определение точности и надежности измерений	25
Практическая работа № 6 Проверка однородности дисперсий и расчет дисперсии воспроизводимости	28
Практическая работа № 7 Расчет коэффициентов регрессии.....	31
Практическая работа № 8 Проверка значимости коэффициентов регрессии.....	34
Практическая работа № 9 Проверка адекватности уравнения.....	38
Методика выполнения контрольной работы	41
Библиографический список	43
Приложения	44

Введение

Целью выполнения практических, самостоятельных и контрольной работ по данной дисциплине – систематизация, расширение и закрепление знаний в области управления качеством продукции и услуг, а также развитие навыков практического применения полученных знаний и самостоятельного планирования и организации эксперимента, то есть определения параметров оптимизации и факторов, на них влияющих, количестве возможных опытов, разработки методики их рандомизации и проведения, выборе способов получения экспериментальных данных и статистической обработке с выводами об адекватности математической модели, а также оформлению научного отчета по результатам исследований.

Общие положения

Традиционные методы исследований связаны с экспериментами, которые требуют больших затрат, сил и средств, т.к. являются «пассивными» - основаны на поочередном варьировании отдельных независимых переменных в условиях, когда остальные стремятся сохранить неизменными.

Эксперименты, как правило, являются многофакторными и связаны с оптимизацией качества сырья и материалов, отысканием оптимальных условий проведения технологических процессов, разработкой наиболее рациональных конструкций оборудования и т.д. Системы, которые служат объектом таких исследований, очень часто являются такими сложными, что не поддаются теоретическому изучению в разумные сроки. Поэтому, несмотря на значительный объем выполненных научно-исследовательских работ, из-за отсутствия реальной возможности достаточно полно изучить значительное число объектов исследования, как следствие, многие решения принимаются на основании информации, имеющей случайный характер, и поэтому далеки от оптимальных.

Исходя из выше изложенного возникает необходимость поиска пути, позволяющего вести исследовательскую работу ускоренными темпами и обеспечивающим принятие решений, близких к оптимальным. Этим путем и явились статистические методы планирования эксперимента, предложенные английским статистиком Рональдом Фишером (конец двадцатых годов). Он впервые показал целесообразность одновременного варьирования всеми факторами в противовес широко распространенному однофакторному эксперименту. В нашей стране планирование эксперимента развивается с 1960 г.

Исследование является экспериментом, если входные переменные изменяются исследователем в точно учитываемых условиях, позволяя управлять ходом опытов и воссоздавать их результаты каждый раз при повторении с точностью до случайных ошибок.

Планирование и анализ эксперимента представляет собой важную ветвь статистических методов, разработанную для решения разнообразных задач, возникающих перед исследователями. В одном случае необходимо обнаружить и проверить причинную связь между входными переменными (факторами) и выходными переменными (откликами), в другом – отыскать оптимальные условия ведения процесса или сравнить изучаемые объекты и т.д.

Под планированием эксперимента понимается процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Все переменные, определяющие изучаемый объект, изменяются одновременно по специальным правилам. Результаты эксперимента представляются в виде математической модели, обладающей определенными статистическими свойствами, например, минимальной дисперсией оценок параметров модели.

Для экспериментаторов, которые не занимаются планированием многофакторного эксперимента, наиболее привычным методом исследования является однофакторный эксперимент. Он заключается в том, что варьируется один фактор на нескольких уровнях, а все другие факторы поддерживаются постоянными. В этом случае можно получить количественную оценку эффекта только одного фактора.

Влияние других факторов оценить нельзя. Выводы о влиянии изучаемого фактора могут существенно различаться в зависимости от уровня фиксирования прочих факторов. Это часто приводит к ошибочным рекомендациям. Лишь в тех случаях, когда отклик является функцией одного фактора, однофакторный эксперимент вполне закономерен.

Однако на практике приходится иметь дело с многофакторными объектами, где однофакторный эксперимент неэффективен.

В многофакторных планах одновременно варьируется несколько факторов, а не каждый в отдельности.

План должен быть составлен так, чтобы при статистической обработке имелась возможность хорошо проанализировать эксперимент: проверить: существуют ли эффекты изучаемых факторов, определить величину этих эффектов (не увидеть несуществующие и не «проглядеть» действительные эффекты), найти наименьший значимый эффект и т.д. Оценки эффектов факторов можно считать достоверными только тогда, когда ни неоднородность экспериментальных единиц, ни другие неучтенные факторы не в состоянии привести к полученному результату.

В планировании эксперимента сам эксперимент рассматривается как объект исследования и оптимизации. Здесь осуществляется оптимальное управление ведением эксперимента, в зависимости от характера изучаемого объекта и целей исследования обоснованно выбираются тип планирования эксперимента, метод обработки данных.

Таким образом, планирование многофакторных экспериментов – новый подход к организации и проведению экстремальных исследований сложных систем. Цель планирования эксперимента – извлечение максимума информации при заданных затратах на эксперимент либо минимизация затрат при получении информации, достаточной для решения задач. Планирование эксперимента позволяет соразмерить число опытов поставленной задаче.

Применение планирования эксперимента делает поведение экспериментатора целенаправленным и организованным, существенно способствует повышению производительности труда и надежности полученных результатов. Важным достоинством является его универсальность, пригодность в огромном большинстве областей исследований.

Однако даже простая процедура планирования весьма коварна, что обусловлено рядом причин, таких как неверное применение методов планирования, выбор не самого оптимального пути исследования, недостаточность практического опыта, недостаточная математическая подготовка экспериментатора и т.д.

Контрольные вопросы (для устного или письменного опроса на практических занятиях):

- 1 Дать понятие эксперимента.
- 2 С какой целью проводятся многофакторные эксперименты?
- 3 Что служит объектами исследования?
- 4 Кто впервые показал целесообразность проведения многофакторных экспериментов?
- 5 В каком случае исследование является экспериментом?
- 6 С какой целью проводят планирование и анализ данных эксперимента?
- 7 Что понимается под планированием эксперимента?
- 8 Что является результатом эксперимента?
- 9 В чем преимущества многофакторного эксперимента перед однофакторным?
- 10 Что необходимо учесть при составлении плана эксперимента?
- 11 Цель планирования эксперимента?

Практическая работа № 1

Параметры оптимизации и требования к ним

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков по выбору параметров оптимизации при изучении объекта исследования.

Общие положения

1 Параметры оптимизации

Выбор параметров оптимизации (критериев оптимизации) является одним из главных этапов работы на стадии предварительного изучения объекта исследования, т.к. правильная постановка задачи зависит от правильности выбора параметра оптимизации, являющегося функцией цели.

Под параметром оптимизации понимают характеристику цели, заданную количественно. Параметр оптимизации является реакцией (откликом) на воздействие факторов, которые определяют поведение выбранной системы.

2 Требования к параметру оптимизации

Параметр оптимизации - это признак, по которому оптимизируется процесс. Он должен быть количественным, задаваться числом. Множество значений, которые может принимать параметр оптимизации, называется областью его определения. Области определения могут быть непрерывными и дискретными, ограниченными и неограниченными. Например, выход реакции - это параметр оптимизации с непрерывной ограниченной областью определения. Он может изменяться в интервале от 0 до 100%. Число бракованных изделий, число зерен на шлифе сплава, число кровяных телец в пробе крови - примеры параметров с дискретной областью определения, ограниченной снизу.

Количественная оценка параметра оптимизации на практике не всегда возможна. В таких случаях пользуются приемом, называемым ранжированием. При этом параметрам оптимизации присваиваются

оценки - ранги по заранее выбранной шкале: двухбалльной, пятибалльной и т.д. Ранговый параметр имеет дискретную ограниченную область определения. В простейшем случае область содержит два значения (да, нет; хорошо, плохо). Это может соответствовать, например, годной продукции и браку.

Итак, первое требование: параметр оптимизации должен быть количественным.

Второе требование: параметр оптимизации должен выражаться одним числом. Например, регистрация показания прибора. Часто приходится проводить некоторые вычисления, например, пользоваться значением отклонений (или квадратов отклонений) от заданного числа.

Третье требование, связанное с количественной природой параметра оптимизации - однозначность в статистическом смысле. Заданному набору значений факторов должно соответствовать одно значение параметра оптимизации, при этом обратное неверно: одному и тому же значению параметра могут соответствовать разные наборы значений факторов.

Четвертым - является требование к его возможности действительно эффективно оценивать функционирование системы. Представление об объекте не остается постоянным в ходе исследования. Оно меняется по мере накопления информации и в зависимости от достигнутых результатов. Это приводит к последовательному подходу при выборе параметра оптимизации. Так, например, на первых стадиях исследования технологических процессов в качестве параметра оптимизации часто используется выход продукта. Однако в дальнейшем, когда возможность повышения выхода исчерпан, начинают интересоваться такими параметрами, как себестоимость, чистота продукта и т.д. Иногда попытка добиться оптимума с учетом некоторого локального или промежуточного параметра оптимизации может оказаться неэффективной или даже привести к браку.

Пятое требование к параметру оптимизации - требование универсальности или полноты. Под универсальностью параметра оптимизации понимают его способность всесторонне охарактеризовать объект. В частности, технологические параметры недостаточно универсальны: они не учитывают экономику. Универсальностью обладают, например, обобщенные параметры оптимизации, которые строятся как функции от нескольких частных параметров.

Шестое требование: желательно, чтобы параметр оптимизации имел физический смысл, был простым и легко вычисляем.

Требование физического смысла связано с последующей интерпретацией результатов эксперимента. Не представляет труда объяснить, что значит максимум извлечения, максимум содержания ценного компонента.

Контрольные вопросы:

- 1 Что понимается под параметром оптимизации?
- 2 Что называется областью определения параметра оптимизации?
- 3 Какими могут быть области определения параметра оптимизации?
- 4 В каких случаях возможна количественная оценка параметра оптимизации и в чем она заключается?
- 5 Какие требования учитываются при выборе параметров оптимизации?
- 6 Что понимается под однозначностью параметра оптимизации в статистическом смысле?
- 7 Объясните требование к параметру оптимизации об эффективности оценивания функционирования системы.
- 8 Что подразумевается под универсальностью и полнотой параметра оптимизации?
- 9 Что означает физический смысл параметра оптимизации?

План работы

- 1 Получить от преподавателя и зарегистрировать в журнале номер группового (не более 4 чел.) задания (см. приложения).
- 2 Внимательно изучить задание, дать понятие параметру оптимизации.
- 3 Определить пределы возможного варьирования и границы областей определения параметра оптимизации.
- 4 Установить единицу, способ и точность измерения параметра оптимизации.
- 5 Обсудить в группе правильность выбора параметра оптимизации по исследуемому процессу в задании.

Задания для самостоятельного выполнения

- 1 Исследовать параметр оптимизации с помощью литературных источников, уточнить пределы возможного варьирования, единицу, способ и точность измерения.
- 2 Описать параметр оптимизации с учетом вышеперечисленных требований.

Практическая работа № 2

Выбор факторов, уровней их варьирования и нулевой точки

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков по выбору факторов, их уровней варьирования.

Общие положения

Фактором называется управляемая независимая переменная, соответствующая одному из возможных способов воздействия на объект исследования. Фактор считается заданным, если указаны его название и область определения. В выбранной области определения он может иметь несколько значений, которые соответствуют числу его различных состояний. Выбранные для эксперимента количественные и качественные состояния фактора носят название *уровней фактора*.

В планировании эксперимента значения факторов, соответствующие определенным уровням их варьирования, выражаются в кодированных величинах. Под интервалом варьирования подразумевается разность между двумя именованными его значениями, принятая за единицу при его кодировании.

При выборе факторов рекомендуется учитывать ряд требований. В качестве факторов рекомендуется выбирать такие независимые переменные, которые соответствуют одному из разумных в рассматриваемом случае воздействия на объект исследований, могут быть измерены имеющимися средствами с достаточно высокой гарантированной точностью, являются управляемыми и однозначными, совместимы один с другим, не связаны между собой линейными корреляционными связями, Желательно, чтобы факторы оценивались количественно, хотя возможно применение факторов, характеризующихся только качественно.

После выбора факторов устанавливают нулевую точку и выбирают интервалы варьирования для установления верхних и нижних уровней факторов, которые в кодированном обозначении соответствуют +1 и -1.

Интервал варьирования фактора выбирают с учетом того, что значения факторов, соответствующие уровням +1 и -1, должны быть достаточно отличимые от значения, соответствующего нулевому уровню. Поэтому во всех случаях величина интервала варьирования должна быть больше удвоенной квадратичной ошибки фиксирования данного фактора.

Здесь необходимо учитывать, что чрезмерное увеличение интервалов варьирования может привести к снижению эффективности поиска оптимума, а малый интервал варьирования уменьшает область эксперимента, что замедляет поиск оптимума.

Выбор факторов завершается составлением списка всех факторов, которые заслуживают внимания. При этом указываются наименования и обозначения факторов, их интервалы и уровни варьирования, координаты нулевой точки. Перечисленные данные фиксируются в таблицах. В качестве примера приведена таблица 1.

Таблица 1

Наименование и обозначение факторов	Уровни варьирования					Интервалы варьирования (ε)
	-2	-1	0	+1	+2	
t – температура, °C (X_1)	140	150	160	170	180	10
p – давление, кгс/см ² (X_2)	0	2,5	5	7,5	10	2,5
c – концентрация, г/л (X_3)	0	10	20	30	40	10
τ – время, мин (X_4)	30	60	90	120	150	30
g – масса, кг (X_5)	100	150	200	250	300	50

Контрольные вопросы:

- 1 Что называется фактором?
- 2 В каком случае фактор считается заданным?
- 3 Что носит название уровней факторов?
- 4 В чем выражается значение факторов при планировании эксперимента?

- 5 Что понимается под интервалом варьирования фактора?
- 6 Какие требования учитываются при выборе факторов?
- 7 Как выбираются и кодируются интервалы варьирования факторов?
- 8 Что учитывается при выборе интервалов варьирования?
- 9 К чему приводит увеличение или уменьшение интервалов варьирования?
- 10 Чем завершается выбор факторов?

План работы

- 1 Получить от преподавателя и зарегистрировать в журнале номер группового (не более 4 чел.) задания (см. приложения).
- 2 Дать обозначения факторам, определить единицу измерения.
- 3 Выбрать нулевой уровень факторов и интервалы варьирования на 4 уровнях каждый;
- 4 Заполнить таблицу факторов.

Задания для самостоятельного выполнения

- 1 Исследовать факторы с помощью литературных источников, дать их описание, характер влияния на исследуемый объект, методы и способы регулирования, измерения и т.д., учитывая все требования к факторам;
- 2 Изучить процесс влияния факторов на параметр оптимизации, указанный в задании.

Практическая работа № 3

Априорное ранжирование факторов

***Цель работы:* закрепление знаний, умений и навыков априорного ранжирования факторов (психологический эксперимент).**

Общие положения

Существуют методы, которые применяют при обработке литературных данных на первой стадии экспериментальной работы в тех случаях, когда из большего числа факторов нужно выделить наиболее важные для дальнейшего изучения и отсеять остальные.

На стадии предварительного изучения объекта исследования при формализации априорных сведений иногда полезно проведение психологического эксперимента, заключающегося в объективной обработке данных, полученных в результате опроса специалистов или из исследований, опубликованных в литературе. Такой эксперимент позволяет более правильно спроектировать объект исследования, принять или отвергнуть некоторые предварительные гипотезы, дать сравнительную оценку влияния различных факторов на параметры оптимизации и тем самым правильно отобрать факторы для последующего активного эксперимента, обоснованно исключив некоторые из них из дальнейшего рассмотрения.

При решении подобных задач можно использовать метод априорного ранжирования факторов.

Особенность метода априорного ранжирования факторов заключается в том, что факторы, которые согласно априорной информации могут иметь существенное влияние, ранжируются в порядке убывания вносимого ими вклада. Вклад каждого фактора оценивается по величине ранга места, которое отведено исследователем (специалистом при опросе, автором статьи и т.п.) данному фактору при ранжировании всех факторов с учетом их предполагаемого (количественно неизвестного) влияния на параметры оптимизации. При сборе мнений путем опроса специ-

алистов каждому из них предлагается заполнить анкету, в которой перечислены факторы, их размерность и предполагаемые интервалы варьирования. Заполняя анкету, специалист определяет место факторов в ранжированном ряду. Одновременно он может включить дополнительные факторы или высказать мнение об изменении интервалов варьирования.

Результаты опроса специалистов (или ранжирования по литературным данным) обрабатываются следующим образом.

Сначала определяют сумму рангов по факторам $\left(\sum_1^m a_{ij}\right)$, а затем разность (Δi) между суммой каждого фактора и средней суммой рангов $m\left(\frac{k+1}{2}\right)$ и сумму квадратов отклонений (s) :

$$\Delta i = \sum_1^m a_{ij} - \frac{1}{k} \sum_1^m a_{ij} = \sum_1^m a_{ij} - T ;$$

$$s = \sum_1^m (\Delta i)^2 ,$$

где a_{ij} - ранг каждого i -го фактора у j -го исследователя;

m - число исследователей;

k - число факторов;

T - средняя сумма рангов.

Полученные данные позволяют построить среднюю априорную диаграмму рангов, но предварительно необходимо оценить степень согласованности мнений всех исследователей с помощью коэффициента конкордации w :

$$w = \frac{12s}{m^2(k^3 - k) - m \sum_1^m T_j} ,$$

$$\text{где } T_j = \sum (t_j^3 - t_j) ;$$

t_j - число одинаковых рангов в j -м ранжировании. Использовать коэффициент конкордации можно после оценки его значимости, которая возможна с помощью специальных таблиц или известных статистических распределений, например, величина $m(k-1)w$ имеет χ^2 -распределение с числом степеней свободы $f = k - 1$. Значение χ^2 -критерия определяют по формуле:

$$\chi^2 = \frac{12s}{mk(k+1) - \frac{1}{k-1} \sum_1^m T_j}.$$

Гипотеза о наличии согласия исследователей может быть принята, если при заданном числе степеней свободы табличное значение χ^2 меньше расчетного для 5 %-го уровня значимости.

Оценив согласованность мнений всех исследователей, строят среднюю диаграмму рангов, откладывая по одной оси факторы, а по другой соответствующие суммы рангов. Максимальная сумма рангов ставится в точке пересечения осей (рис. 1). Чем меньше сумма рангов данного фактора, тем выше его место на диаграмме. С помощью последней оценивается значимость факторов. В случае неравномерного экспоненциального убывания распределения часть факторов можно исключить из дальнейшего рассмотрения, отнеся их влияние к шумовому полю. Если же распределение равномерное, то в эксперимент рекомендуется включать все факторы.

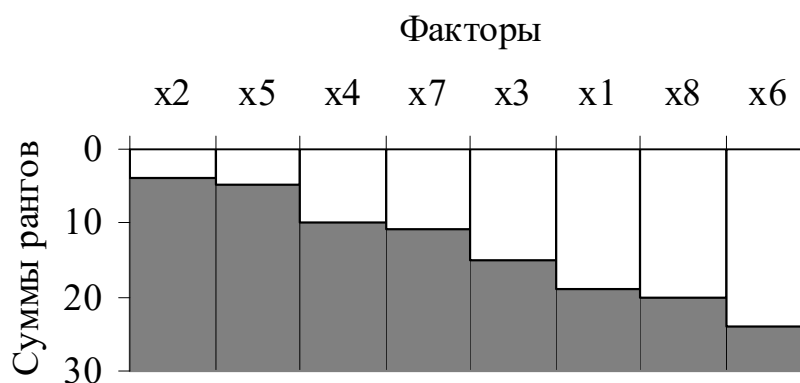


Рис.1 Пример средней априорной диаграммы рангов

В ситуациях с очень большим числом факторов, кроме общей согласованности мнений исследователей, рассматривают с помощью χ^2 - распределения и согласованность по каждому фактору в отдельности.

Построение средней априорной диаграммы рангов по известным литературным данным полезно с той точки зрения, что она по существу является сокращенным литературным обзором по объекту исследования.

Контрольные вопросы:

1 Какими способами может быть осуществлен выбор факторов для проведения активного эксперимента?

2 В чем заключается метод априорного ранжирования факторов?

3 Что необходимо учесть эксперту, если он в равной мере оценивает силу влияния двух и более факторов?

4 Как рассчитывается средняя сумма рангов при обработке результатов априорного ранжирования?

5 С помощью чего рассчитывается степень согласованности мнений экспертов?

6 Как проверить гипотезу о наличии согласия экспертов, какой критерий при этом используется?

7 Этапы построения априорной диаграммы рангов.

8 Какие выводы позволяет сделать построение априорной диаграмма рангов?

План работы

1 По заданию (см. ниже) и данным таблицы 2 рассчитать коэффициент конкордации;

2 Проверить значимость коэффициента конкордации по χ^2 - критерию при уровне значимости 0,05 (см. табл. 3);

3 Оценив согласованность мнений всех исследователей, построить среднюю диаграмму рангов, откладывая по одной оси факторы, а по другой соответствующие суммы рангов;

4 Сделать вывод о согласованности мнений экспертов и влиянии факторов.

Задание. В пищевой промышленности в процессе некоторого исследования на стадии предварительного изучения объекта исследования были опрошены четыре специалиста, знакомых с изучаемой технологией ($m = 4$). Данные опросы были использованы для априорного ранжирования факторов с целью выделения наиболее существенных из них. Проводился опрос с помощью анкеты, содержащей 12 факторов ($k = 12$), которые нужно было проранжировать с учетом степени их влияния на вкусовые качества готового продукта (факторы характеризовали условия изготовления продукта). Матрица рангов, полученная из анкет, приведена в таблице 2.

Таблица 2 Матрица рангов

Исследователи ($m = 4$)	Факторы ($k = 12$)												$T_j = \sum (t_j^3 - t_j)$
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	
1	8	10,5	10,5	10,5	1	2,5	2,5	10,5	5	4	7	6	
2	8	9	10	11	1	6,5	6,5	12	2	3	4	5	
3	6	7,5	7,5	11	2	4,5	4,5	12	1	3	9,5	9,5	
4	7	4	8	10,5	2	10,5	10,5	10,5	1	3	5,5	5,5	
$\sum_{i=1}^m a_{ij}$													$\sum_{j=1}^4 T_j =$
Δi													
$(\Delta i)^2$													

Таблица 3 Значения χ^2 - критерия для уровня значимости 0,05

Число степеней свободы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
χ^2	3,841	5,991	7,815	9,488	11,070	12,592	14,067	15,507	16,919	18,307
Число степеней свободы	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
χ^2	19,675	21,026	22,362	23,685	24,996	26,296	27,587	28,869	30,144	31,410
Число степеней свободы	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
χ^2	32,672	33,924	35,172	36,415	37,652	38,885	40,113	41,437	42,557	43,773

Задания для самостоятельного выполнения

- 1 Составить анкету для опроса специалистов, где исследуемые факторы взять из полученного задания;
- 2 Заполнить анкету, привлекая в качестве специалистов студентов данной учебной группы;
- 3 Выполнить статистическую обработку результатов опроса;
- 4 Сделать выводы о согласованности мнений экспертов и влиянии факторов на параметр оптимизации.

Практическая работа № 4

Матрица планирования эксперимента

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков планирования эксперимента с помощью построения матриц.

Общие положения

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом (ПФЭ). Если число уровней факторов равно двум, то имеем ПФЭ типа 2^k .

Условия эксперимента удобно записывать в виде таблицы, которую называют матрицей планирования эксперимента.

Таблица 4 Матрица планирования эксперимента 2^2

Номер опыта	x_1	x_2	y
1	+1	+1	y_1
2	-1	+1	y_2
3	+1	-1	y_3
4	-1	-1	y_4

Матрица планирования для двух факторов приведена в табл. 6.1.

При заполнении матрицы планирования значения уровней факторов, в целях упрощения, обозначают соответствующими знаками, а цифру 1 опускают. С учетом взаимодействия факторов x_1 и x_2 таблицу 4 можно переписать следующим образом:

Таблица 5 Матрица планирования

Номер опыта	x_1	x_2	x_1x_2	y
1	+	+	+	y_1
2	-	+	-	y_2
3	+	-	-	y_3
4	-	-	+	y_4

Каждый столбец в матрице планирования называют вектор-столбцом, а каждую строку - вектор-строкой. Таким образом, в табл. 5

мы имеем два вектора-столбца независимых переменных, один вектор-столбец взаимодействия факторов и один вектор-столбец параметра оптимизации.

То, что записано в алгебраической форме, можно изобразить графически (рис. 2). В области определения факторов находится точка, соответствующая основному уровню, и проводят через нее новые оси координат, параллельные осям натуральных значений факторов. Далее выбирают масштабы по новым осям так, чтобы интервал варьирования для каждого фактора равнялся единице. Тогда условия проведения опытов будут соответствовать вершинам квадрата, при $k=2$, и вершинам куба, при $k=3$. Центрами этих фигур является основной уровень, а каждая сторона равна двум интервалам. Номера вершин квадрата и куба соответствуют номерам опытов в матрице планирования. Площадь, ограниченная этими фигурами, называется областью эксперимента. По аналогичному принципу располагаются экспериментальные точки при $k > 3$.

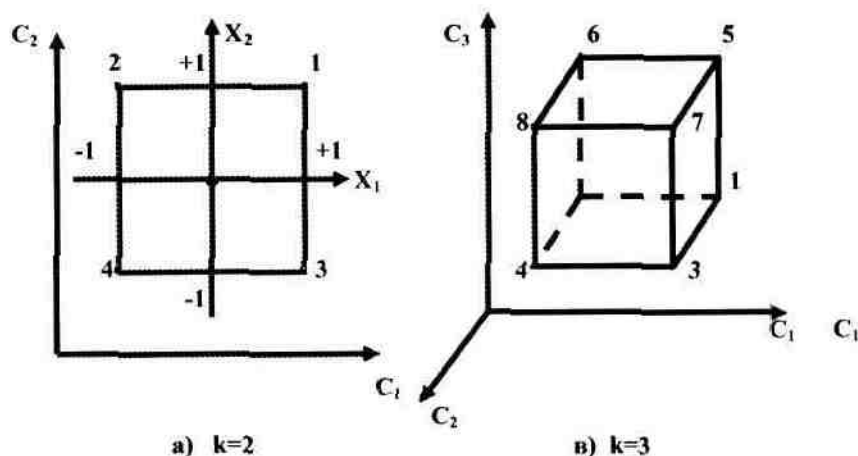


Рис. 2 Расположение точек в факторном пространстве для ПФЭ при $k=2$ и $k=3$

Если для двух факторов все возможные комбинации уровней легко найти перебором, то с ростом числа факторов возникает необходимость в некотором приеме построения матриц. Обычно используются три приема, основанные на переходе от матриц меньшей размерности к матрицам большей размерности.

Рассмотрим *первый прием*. При добавлении нового фактора каждая комбинация уровней исходного фактора встречается дважды, в сочетании с верхним и нижним уровнями нового фактора. Отсюда естественно появляется прием: записать исходный план для одного уровня нового фактора, а затем повторить его для другого уровня. Этот прием можно применить для матриц любой размерности.

Во *втором приеме* вводится правило перемножения столбцов матрицы. При построчном перемножении уровней исходной матрицы получаем дополнительный столбец произведения $x_1 x_2$, далее повторим исходный план, а у столбца произведений знаки поменяем на обратный. Этот прием применим для построения матриц любой размерности, однако он сложнее, чем первый.

Третий прием основан на чередовании знаков. В первом столбце знаки меняются поочередно, во втором столбце они чередуются через два раза, в третьем - через четыре, в четвертом через восемь и т.д. по степеням двойки.

Пример построения матриц планирования 2^3 см. табл. 6.

Таблица 6 Матрица планирования эксперимента 2^3

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	y
1	+	+	+	y_1
2	-	+	+	y_2
3	+	-	+	y_3
4	-	-	+	y_4
5	+	+	-	y_5
6	-	+	-	y_6
7	+	-	-	y_7
8	-	-	-	y_8

Контрольные вопросы:

- 1 Какой эксперимент называется полным факторным?
- 2 Как называются столбцы и строки в матрице планирования?
- 3 Назначение и построение матриц планирования эксперимента.
- 4 Как можно графически изобразить факторное пространство и план эксперимента при $k=2$ и $k=3$?

5 Приемы определения всех возможных комбинаций уровней факторов.

План работы

1 По заданию построить и заполнить матрицу планирования, при этом для ПФЭ взять 3 фактора (на двух уровнях каждый) с наибольшей силой влияния на параметр оптимизации (см. априорную диаграмму рангов);

2 Все возможные комбинации уровней факторов определить с помощью третьего приема, указанного выше.

Задания для самостоятельного выполнения

1 Заполнить рабочую матрицу, где указать конкретные значения уровней факторов;

2 Для статистической обработки данных выписать из задания результаты параметра оптимизации, полученные при проведении эксперимента в пяти повторностях.

Практическая работа № 5

Определение точности и надежности измерений

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков статистической обработки результатов эксперимента.

Общие положения

При оценке результатов измерений важно знать не только точность, но и надежность результатов. Степень надежности полученного результата можно оценить, если известна его доверительная вероятность. На практике очень часто принимают доверительную вероятность α равную 0,95 (или 95%). При этом доверительные границы для среднего значения результата измерений можно найти по выражению:

$$y = \bar{y} \pm \Delta y = \bar{y} \pm \frac{t\sigma}{\sqrt{n}},$$

где \bar{y} - среднее арифметическое случайной величины;

σ - средняя квадратичная ошибка;

n - число повторных измерений;

t – табличное значение критерия Стьюдента для n - количества повторных измерений при $\alpha=0,95$.

Величину \bar{y} , которая считается наиболее вероятным значением измеряемой величины, находят по формуле:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n},$$

где y_i - измеряемые значения.

До сих пор речь шла о доверительных вероятностях для отдельного измерения y_i . На практике важнее знать о допустимых отклонениях среднего арифметического \bar{y} от истинного значения y . Соответствующие задачи могут быть решены, если Δy определяется из следующего соотношения:

$$\Delta y = \pm \frac{tS}{\sqrt{n}},$$

где t - критерий Стьюдента;

S - средняя квадратичная ошибка;

n - число измерений.

Среднюю квадратичную ошибку повторных (параллельных) опытов определяют по выражению:

$$\sigma = S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}.$$

Величина $f = n - 1$ называется степенью свободы, под которым понимается число независимых сравнений или число независимых измерений (общее число измерений минус число наложенных связей). В нашем случае на измерения наложена одна связь (для вычислений требуется знание среднего значения) и поэтому $f = n - 1$.

Для определения ошибок измерений проводим проверку нулевой гипотезы о принадлежности минимального и максимального значения к выборкам. Для этого используем критерий Стьюдента:

$$\frac{y - \bar{y}}{S} \geq t, \text{ или } t_{\text{расч.}} \geq t_{\text{табл.}}$$

Применительно к проверяемым выражениям можно использовать следующие выражения:

$$t_{\text{расч.}} = \frac{y_{\text{max}} - \bar{y}}{S};$$

$$t_{\text{расч.}} = \frac{\bar{y} - y_{\text{min}}}{S}.$$

Если условие $t_{\text{расч.}} \geq t_{\text{табл.}}$ не выполняется, то результаты измерений нельзя считать ошибочными.

Контрольные вопросы:

1 С какой целью каждый опыт проводят в нескольких повторностях?

- 2 Расчет средней величины результатов измерений.
- 3 Расчет средней квадратичной ошибки повторных (параллельных) опытов.
- 4 Какая величина называется степенью свободы?
- 5 Как осуществляется проверка нулевой гипотезы о принадлежности минимального и максимального значений к выборкам.

План работы

- 1 Рассчитать средние арифметические результатов каждого опыта проведенного эксперимента и величину средней квадратичной ошибки;
- 2 Все возможные комбинации уровней факторов определить с помощью третьего приема, указанного выше.
- 3 Провести проверку нулевой гипотезы о принадлежности минимального и максимального значений к выборке по каждому опыту на уровне значимости 0,05 (см. табл. 7).

Задания для самостоятельного выполнения

- 1 Провести проверку нулевой гипотезы о принадлежности минимального и максимального значений к выборке по каждому опыту на уровне значимости 0,05 (см. табл. 7).

Таблица 7 Критические значения t_α

n	$\alpha=0,10$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$
3	1,15	1,15	1,15
4	1,42	1,46	1,49
5	1,60	1,67	1,75
6	1,73	1,82	1,94
7	1,83	1,94	2,10
8	1,91	2,03	2,22
9	1,98	2,11	2,32
10	2,03	2,18	2,41
11	2,09	2,23	2,48
12	2,13	2,29	2,55
13	2,17	2,33	2,61
14	2,21	2,37	2,66
15	2,25	2,41	2,70

Практическая работа № 6

Проверка однородности дисперсий и расчет дисперсии воспроизводимости

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков определения надежности результатов эксперимента.

Общие положения

Каждый эксперимент содержит элемент неопределенности вследствие ограниченности экспериментального материала. Постановка повторных (или параллельных) опытов не дает полностью совпадающих результатов, потому что всегда существует ошибка опыта (ошибка воспроизводимости). Эту ошибку и нужно оценить по параллельным опытам. Таким образом, прежде чем оценить точность всего эксперимента необходимо проверить точность проведения каждого опыта в нем, то есть провести проверку однородности дисперсий по результатам проведения параллельных опытов. Проверку однородности дисперсий можно выполнять по критериям Фишера или Кохрена.

По критерию Фишера:

$$F_{расч.} = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2},$$

при числах степеней свободы: $f_{\max} = f_{\min} = n - 1$

Дисперсии однородны, если выполняется условие: $F_{расч.} < F_{табл.}$

По критерию Кохрена:

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

Табличное значение критерия Кохрена берут в зависимости от числа степеней свободы:

$$f_1 = n - 1 \text{ и } f_2 = N.$$

При $G_{расч.} < G_{табл}$ дисперсии однородны.

Ошибку эксперимента или разброс значений отклика характеризует дисперсия, и ее называют дисперсией воспроизводимости. Она получается в результате усреднения дисперсий всех опытов. Однако неоднородные дисперсии суммировать нельзя, поэтому дисперсия воспроизводимости рассчитывается в случае однородности дисперсий по формуле:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_1^N \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}{N(n-1)} = \frac{\sum_1^N S_i^2}{N},$$

где N – количество опытов в матрице планирования;

n - число повторных измерений в каждом опыте (использовании вышеуказанной формулы возможно, если в каждом опыте было равное число наблюдений).

Контрольные вопросы:

- 1 С какой целью и как проводят оценку ошибки эксперимента?
- 2 Какова цель проверки однородности дисперсий и с помощью каких критериев она осуществляется?
- 3 Что оценивает дисперсия воспроизводимости?

План работы

- 1 Провести проверку однородности дисперсий с вероятностью 0,95 с помощью критерия Фишера и критерия Кохрена; используя данные табл. 8 и табл. 9;
- 2 Рассчитать дисперсию воспроизводимости.

Таблица 8 Значения критерия Фишера (f-критерия) при доверительной вероятности 0,95

Число степеней свободы для меньшей дисперсии	Число степеней свободы для большей дисперсии											
	1	2	3	4	5	6	8	12	16	24	50	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	238,9	243,9	246,5	249,0	251,8	254,3
2	19,51	19,0	19,6	19,24	19,30	19,33	19,37	19,41	19,43	19,45	19,47	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,69	8,64	8,58	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,84	5,77	5,70	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,60	4,53	4,44	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,92	3,84	3,75	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,49	3,41	3,32	3,28
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,20	3,12	3,03	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,98	2,90	2,80	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,82	2,74	2,64	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,70	2,61	2,50	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,60	2,50	2,40	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,51	2,42	2,32	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,44	2,35	2,24	2,18
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,39	2,29	2,18	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,33	2,24	2,13	2,01
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,18	2,08	1,96	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,99	1,89	1,76	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,90	1,79	1,66	1,51
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,13	1,95	1,85	1,74	1,60	1,44
100	3,94	3,09	2,60	2,46	2,30	2,19	2,03	1,85	1,75	1,63	1,48	1,28
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,64	1,52	1,35	1,00

Таблица 9 Значения критерия Кохрена ($\alpha=0,95$)

Число дисперсий	Число степеней свободы (f)						
	4	5	6	8	10	36	100
4	0,640	0,600	-	-	0,495	-	0,250
5	0,544	0,507	0,478	0,439	0,412	0,307	0,200
8	0,396	0,360	0,336	0,304	0,283	0,202	0,125
15	0,242	0,220	0,203	0,182	0,167	0,114	0,067
20	0,192	0,174	0,160	0,142	0,130	0,088	0,050
120	0,042	0,037	0,034	0,029	0,027	0,017	0,008

Задания для самостоятельного выполнения

1 С помощью литературных источников изучите ошибки измерений критериев оптимизации и факторов, их причины, классификацию и способы исключения, в том числе метод рандомизации. Используйте лекционный материал, а также работы Адлер Ю.П., Грачева Ю.П., Монтгомери Д.Р. и др.

Практическая работа № 7

Расчет коэффициентов регрессии

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков составления уравнений регрессии или математического моделирования.

Общие положения

Построив матрицу планирования, осуществляют эксперимент. Получив экспериментальные данные и проверив ошибки измерений, рассчитывают значения коэффициентов регрессии.

Значение свободного члена (b_0) берут как среднее арифметическое всех значений параметра оптимизации в матрице:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N},$$

где y_u - значения параметра оптимизации в u -м опыте;

N - число опытов в матрице.

Линейные коэффициенты регрессии рассчитывают по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u}{N}$$

где x_{iu} - кодированное значение фактора x_i в u -м опыте.

Коэффициенты регрессии, характеризующие парное взаимодействие факторов, находят по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_{ju} y_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_{ju} y_u}{N}$$

Рассмотрим пример расчета коэффициентов регрессии для планирования 2^2 , матрица планирования которой приведена в табл. 5:

$$b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4};$$

$$b_1 = \frac{+y_1 - y_2 + y_3 - y_4}{4};$$

$$b_2 = \frac{+y_1 + y_2 - y_3 - y_4}{4};$$

$$b_3 = \frac{+y_1 - y_2 - y_3 + y_4}{4}.$$

Рассмотрим уравнение регрессии для $k=3$:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

где b_0 - свободный член;

b_1, b_2, b_3 - линейные коэффициенты;

b_{12}, b_{13}, b_{23} - коэффициенты двойного взаимодействия;

b_{123} - коэффициент тройного взаимодействия.

Коэффициенты при независимых переменных указывают на силу влияния факторов. Чем больше численная величина коэффициента, тем большее влияние оказывает фактор. Если коэффициент имеет знак плюс, то с увеличением значения фактора параметр оптимизации увеличивается, а если минус, то уменьшается. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

Полное число всех возможных коэффициентов регрессии, включая b_0 , линейные коэффициенты и коэффициенты взаимодействий всех порядков, равно числу опытов полного факторного эксперимента. Чтобы найти число взаимодействий некоторого порядка, можно воспользоваться формулой числа сочетаний:

$$C_k^m = \frac{k!}{m!(k-m)!},$$

где k число факторов;

m - число элементов во взаимодействии.

Так, для плана 2^4 число парных взаимодействий равно шести

$$C_k^m = \frac{4!}{2!(4-2)!}$$

Отсюда видно, что с ростом числа факторов число возможных взаимодействий быстро растет.

Рассмотрим на примере физический смысл взаимодействия. Пусть на некоторый химический процесс влияют два фактора: температура и время реакции.

В области низких температур увеличение времени увеличивает выход продукта. При переходе в область высоких температур эта закономерность нарушается. Здесь необходимо уменьшить время реакции. Это и есть проявление эффекта взаимодействия.

Контрольные вопросы:

- 1 Как осуществляется расчет свободного члена уравнения регрессии, линейных коэффициентов и коэффициентов взаимодействия факторов?
- 2 Чему равно число всех возможных коэффициентов регрессии? Как рассчитать это число?
- 3 На что указывает величина коэффициентов регрессии в уравнении?
- 4 Какой вид имеет уравнение регрессии при $k=3$?
- 5 Объясните физический смысл взаимодействия факторов.

План работы

- 1 Используя данные матрицы планирования и результатов эксперимента, рассчитать число всех возможных коэффициентов уравнения регрессии по заданию;
- 2 Рассчитать коэффициенты регрессии по представленным формулам;
- 3 Составить уравнение регрессии.

Задания для самостоятельного выполнения

- 1 С помощью литературных источников, посвященных описанию исследуемого процесса, объясните направление влияния факторов на параметр оптимизации и физический смысл установленных взаимодействий факторов.

Практическая работа № 8

Проверка значимости коэффициентов регрессии

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков оценки составленных уравнений регрессии и возможности их упрощения.

Общие положения

Определение выхода процесса и обеспечение заданного уровня факторов в каждом опыте осуществляется неточно, с какой-то ошибкой. Следовательно, с какой-то ошибкой будут определяться и коэффициенты уравнения регрессии.

Статистический анализ уравнения имеет своей целью показать с наперед заданной вероятностью P , что полученные оценки коэффициентов уравнения по модулю либо больше (тогда они значимо отличаются от нуля), либо меньше ошибки в их определении (тогда они незначимо отличаются от нуля и должны быть из уравнения исключены).

Проверка значимости каждого коэффициента проводится независимо.

Ее можно осуществлять двумя равноценными способами: проверкой по критерию Стьюдента или построением доверительного интервала. При использовании полного факторного эксперимента или регулярных дробных реплик доверительные интервалы для всех коэффициентов (в том числе и эффектов взаимодействия) равны друг другу

Прежде всего, необходимо найти дисперсию коэффициента регрессии $S_{\{b_j\}}^2$. Она определяется по формуле:

$$S_{\{b_j\}}^2 = \frac{S_{\{y\}}^2}{N}.$$

Из формулы видно, что дисперсии всех коэффициентов равны друг другу, так как они зависят только от ошибки опыта и числа опытов.

Теперь легко построить доверительный интервал (Δb_j) :

$$(\Delta b_j) = \pm t S_{\{b_j\}},$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента при числе свободы, с которым определялась дисперсия воспроизводимости $S_{\{y\}}^2$, и выбранном уровне значимости (обычно 0,05);

$S_{\{b_j\}}$ – квадратичная ошибка коэффициента регрессии:

$$S_{\{b_j\}} = \sqrt{S_{\{b_j\}}^2}.$$

Формулу для доверительного интервала можно записать в следующей эквивалентной форме:

$$\Delta b_j = \pm \frac{t S_{\{y\}}}{\sqrt{N}}.$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала.

Доверительный интервал задается верхней и нижней границами: $b_j + \Delta b_j$ и $b_j - \Delta b_j$.

При получении незначимого линейного коэффициента какого-либо фактора следует найти этому объяснение, проанализировав следующие ситуации:

- 1) данный фактор на исследуемый процесс не влияет и его следует исключить из уравнения;
- 2) выбран слишком малый интервал варьирования, в связи, с чем изменение выхода процесса, обусловленное изменением фактора, соразмерно случайным отклонениям, вызываемым влиянием неучтенных факторов, или погрешности измерительных приборов;
- 3) значение данного фактора в центральной точке эксперимента соответствует его оптимальной величине, в связи, с чем одинаковое его уменьшение или увеличение на λ_i понизит выход процесса приблизительно на одну и ту же величину.

Контрольные вопросы:

- 1 В каком случае могут быть исключены коэффициенты из уравнения регрессии?
- 2 Какова цель статистического анализа уравнения регрессии?
- 3 Как осуществляется построение доверительного интервала для коэффициентов регрессии?
- 4 В каком случае признается значимость коэффициента регрессии?
- 5 Объясните ситуации, в которых линейные коэффициенты оказываются незначимыми.

План работы

- 1 Построить доверительный интервал для коэффициентов регрессии, используя данные табл. 10;
- 2 Определить значимость коэффициентов регрессии;
- 3 При получении незначимых коэффициентов регрессии исключить их из уравнения.

Задания для самостоятельного выполнения

- 1 С помощью литературных источников, посвященных описанию исследуемого процесса, объясните, почему некоторые линейные коэффициенты оказались незначимыми.
- .

Таблица 10 Значения критерия Стьюдента (t-критерия) при различной доверительной вероятности (α) для разного числа измерений (u)

u	α								
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
2	2,00	1,38	2,0	3,1	6,31	12,71	31,8	63,7	637
3	0,82	1,06	1,3	1,9	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
4	0,77	0,98	1,25	1,6	2,35	3,18	4,54	5,84	12,9
5	0,74	0,94	1,2	1,5	2,13	2,78	3,75	4,60	8,6
6	0,73	0,92	1,2	1,5	2,02	2,57	3,36	4,03	6,9
7	0,72	0,90	1,1	1,4	1,94	2,45	3,14	3,71	6,0
8	0,71	0,90	1,1	1,4	1,90	2,37	3,00	3,50	5,4
9	0,71	0,89	1,1	1,4	1,86	2,31	2,90	3,36	5,0
10	0,70	0,88	1,1	1,4	1,83	2,26	2,82	3,25	4,8
11	0,70	0,88	1,1	1,4	1,81	2,23	2,76	3,17	4,6
12	0,70	0,87	1,1	1,4	1,80	2,20	2,72	3,10	4,5
13	0,70	0,87	1,1	1,4	1,78	2,18	2,68	3,05	4,3
14	0,69	0,87	1,1	1,4	1,77	2,16	2,65	3,30	4,2
15	0,69	0,87	1,1	1,3	1,76	2,15	2,62	2,98	4,1
16	0,69	0,87	1,1	1,3	1,75	2,13	2,60	2,95	4,0
17	0,69	0,86	1,1	1,3	1,75	2,12	2,58	2,92	4,0
18	0,69	0,86	1,1	1,3	1,74	2,11	2,56	2,90	4,0
19	0,69	0,86	1,1	1,3	1,73	2,10	2,55	2,88	3,9
20	0,69	0,86	1,1	1,3	1,73	2,09	2,54	2,85	3,9
30	0,68	0,85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
40	0,68	0,85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,6
60	0,68	0,85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,5
120	0,68	0,85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,6	3,4
∞	0,67	0,84	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	3,3

Практическая работа № 9

Проверка адекватности уравнения

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков оценки составленных уравнений регрессии и проверки их адекватности.

Общие положения

Если в уравнении после проверки значимости коэффициентов останутся все N коэффициентов, то проверка адекватности уравнения теряет смысл. Рассчитанный по такому уравнению выход процесса для условий какого-либо i -го опыта должен в пределах точности округления совпадать с величиной \bar{y}_i , принятой к расчету.

Если число значимых коэффициентов хотя бы на единицу меньше числа опытов, то появляется необходимость (и возможность) статистической проверки адекватности уравнения экспериментальным данным. Эта проверка осуществляется по критерию Фишера:

- 1) рассчитывают выход \hat{y}_i для каждого варианта опыта по уравнению, из которого исключены незначимые члены;
- 2) находят разность $|\hat{y}_i - \bar{y}_i|$;
- 3) рассчитывают дисперсию адекватности по формуле:

$$S_{\hat{a}\hat{a}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N n(\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{N - \lambda},$$

где n – количество повторностей каждого опыта (в каждом опыте оно может быть разным – неравномерное дублирование, или одинаковым – равномерное дублирование);

λ -число значимых коэффициентов в уравнении регрессии равно при линейном моделировании:

$$\lambda = k + 1$$

- 4) гипотезу об адекватности модели проверяю с помощью критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{\hat{a}\hat{a}}^2}{S_{\{y\}}^2};$$

5) сравнивают полученное значение F-отношения с табличным при выбранной доверительной вероятности (обычно 0,95). Выбирая значение $F_{\text{табл.}}$ нужно учитывать число степеней свободы, в данном случае – это знаменатели формул, используемых при определении двух дисперсий:

$S_{a\bar{a}}^2$ и $S_{\{y\}}^2$:

$$f_1 = N - \lambda = N - (k + 1),$$

$$f_2 = N(n - 1);$$

Если $F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$, то уравнение неадекватно описывает экспериментальные данные, точность описания процесса данным уравнением значимо ниже той точности, с которой получены экспериментальные результаты. Такое уравнение не может служить хорошей основой для поиска оптимальных условий. В подобной ситуации исследователь должен найти ответ на вопрос о причинах получения недостаточно точного уравнения процесса. Наиболее часто встречающаяся причина - арифметические ошибки. Чтобы убедиться в отсутствии таких ошибок, рекомендуется по уравнению, в котором оставлены все, в том числе и незначимые, коэффициенты (число коэффициентов должно быть равно числу опытов), рассчитать выход процесса при условиях 3 - 4 опытов плана. Если полученные результаты \hat{y}_i в пределах точности округления будут совпадать с экспериментальными данными \bar{y}_i , то арифметической ошибки нет.

Нужно учесть, что критерий Фишера всегда больше единицы. Поэтому в числитель F-отношения дисперсия адекватности поставлена чисто условно. Если дисперсия воспроизводимости $S_{\{y\}}^2$ больше $S_{a\bar{a}}^2$, то в числителе должна стоять $S_{\{y\}}^2$. Тогда соответственно рассчитываются и числа степеней свободы.

Если $F_{\text{табл.}} > F_{\text{расч.}}$, то, с соответствующей доверительной вероятностью, модель можно считать адекватной. Хотя с другой стороны, уравнение и в этом случае также будет неадекватным, но неадекватность его будет означать неоправданно точное описание экспериментальных данных

этим уравнением. Уравнение в этом случае может служить, основой для отыскания оптимальных условий, но оно не может использоваться при проверке той или иной гипотезы о механизме исследуемого процесса.

Контрольные вопросы:

- 1 В чем суть проверки адекватности модели?
- 2 В каком случае проверка адекватности модели теряет смысл?
- 3 С помощью какого критерия осуществляется проверка адекватности модели?
- 4 Как осуществляется проверка адекватности модели?
- 5 В каких пределах может быть получено значение критерия Фишера и почему?
- 6 Как рассчитать число степеней свободы для дисперсий воспроизводимости и адекватности?
- 7 Может ли в числителе F-отношения стоять дисперсия воспроизводимости $S_{\{y\}}^2$? Ответ обоснуйте.
- 8 В каком случае модель признается адекватной?

План работы

- 1 Выяснить, необходима ли проверка адекватности модели;
- 2 При необходимости провести проверку адекватности модели (см. табл. 8), используя вспомогательную таблицу 11;
- 3 Сделать выводы по построению математической модели.

Таблица 11 Данные для расчета дисперсии адекватности

Значения	№ опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
\bar{y}_i								
\hat{y}_i								
$(\bar{y} - \hat{y})^2$								
$n(\bar{y} - \hat{y})^2$								

Задания для самостоятельного выполнения

- 1 По результатам выполнения математического моделирования выполнить итоговую контрольную работу.

Методика выполнения контрольной работы

Тема: Планирование и организация эксперимента по влиянию факторов на параметр оптимизации (по заданию)

Цель работы: закрепление знаний, умений и навыков по оформлению научного отчета по результатам статистической обработки данных измерений, проводимых в ходе исследований (постановки эксперимента), а также построения математической модели, описывающей влияние факторов на параметр оптимизации.

Работа выполняется в виде научного отчета, в котором должны содержаться следующие разделы:

Введение. В данном разделе указать актуальность, новизну, цель и задачи исследований.

Календарный план проведения исследований. Предусмотреть даты осуществления опытов в пяти повторностях, рандомизированных во времени, указать ответственных и фиксированные значения факторов с учетом номера опытов в матрице планирования эксперимента.

Материал и методика исследований. Четко расписывается технология проведения опытов, указывается операциональность и точность определения факторов и параметра оптимизации и с помощью каких измерительных инструментов. Учесть независимость и совместимость факторов, при их влиянии на параметр оптимизации, особенно на границах их областей определения. В данном разделе должна быть приведена матрица планирования (основная и рабочая).

Результаты проведения эксперимента. В данном разделе оформляется весь расчетный материал, полученный самостоятельно и на практических занятиях по заданию.

Экономическая часть. Рассчитать затраты на проведение эксперимента по сырью, оплаты персоналу, технологическому оборудованию и оснастки, вспомогательным инструментам и материалам, измерительным инструментам и приборам, а также их калибровки. Учесть затраты на аренду помещений, электроэнергию, водоснабжение, санитарную обработку, вывоз и утилизацию отходов и др.

Заключение. Сделать выводы по задачам и выполнению цели, указать продолжительность проведения эксперимента (в днях или неделях), необходимые средства (в рублях) и количество персонала.

Библиографический список

Основной

1. Методология научного исследования : учебник для вузов / Н. А. Слесаренко, Е. Н. Борхунова, С. М. Борунова [и др.] ; под редакцией Н. А. Слесаренко. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 268 с. — ISBN 978-5-8114-7204-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156383>.

2. Бобренева, И. В. Математическое моделирование в технологиях продуктов питания животного происхождения : учебное пособие / И. В. Бобренева, С. В. Николаева. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 124 с. — ISBN 978-5-8114-3440-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206066>.

Дополнительный

1. Методология научных исследований в ветеринарии и зоотехнии / Н. А. Слесаренко, И. С. Ларионова, Е. Н. Борхунова [и др.] ; Под ред.: Слесаренко Н. А.. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 296 с. — ISBN 978-5-507-44524-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/230426>.

2. Леонов, О. А. Статистические методы в управлении качеством : учебник / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Г. Н. Темасова. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 144 с. — ISBN 978-5-8114-3666-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206819>.

Литература, указанная в библиографическом списке может быть использована студентами при подготовке контрольных и самостоятельных работ.

Приложения

Номер индивидуального или группового задания определяет преподаватель по данной дисциплине с обязательной регистрацией в журнале.

Задание 1

На усушку мяса говядины 1 категории от 1,2-1,6 % при медленном охлаждении влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Расстояние между полутушами на подвесных путях, мм	20-100
X ₂	Содержание бактерий на поверхности мяса ед/см ²	10-50
X ₃	Температура при охлаждении, °С (1) позитивн.	-2 -4
X ₄	рН мяса	4,0-9,0
X ₅	Влажность воздуха в камере, %	90-95
X ₆	Скорость движения воздуха, м/с (2) позитивн.	0,16-0,2
X ₇	Нагрузка на 1 погонный метр подвешенного пути, кг	250-300
X ₈	Время охлаждения, час (3) позитивн.	26-28
X ₉	Содержание подкожного жира в полутушах, %	20-30

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	1,93	1,94	1,95	1,93	1,94
2	1,54	1,55	1,56	1,56	1,56
3	1,74	1,75	1,77	1,77	1,75
4	1,34	1,36	1,37	1,35	1,35
5	1,82	1,82	1,85	1,83	1,85
6	1,43	1,44	1,45	1,45	1,43
7	1,64	1,66	1,67	1,65	1,65
8	1,23	1,25	1,26	1,24	1,26

Задание 2

На pH сыра «Витязь» от 5,5-6 при его созревании влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Внесение бактерий <i>L. plantarum</i> , г/5000 л	0,25-0,35
X ₂	Внесение сухой культуры пропиновокислых бактерий, гр/5000 л (2)	0,3-2
X ₃	Внесение термофильных культур (препарат ТМБ), %	0-0,075
X ₄	Внесение сыворотки, %	20-40
X ₅	Нагревание при свертывании, °C	30-34
X ₆	Обработка сырного зерна, мин	20-60
X ₇	Второе нагревание, °C (1)	48-58
X ₈	Второе нагревание, мин	20-35
X ₉	Вымешивание зерна, мин (3)	30-60

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	5,501	5,507	5,509	5,503	5,505
2	5,581	5,589	5,593	5,585	5,584
3	5,553	5,558	5,561	5,557	5,555
4	5,659	5,663	5,668	5,660	5,661
5	5,535	5,539	5,542	5,541	5,537
6	5,629	5,633	5,638	5,631	5,635
7	5,605	5,607	5,612	5,607	5,61
8	5,678	5,685	5,695	5,693	5,688

Задание 3

На размер жировых шариков от 0,1-1,0 мкм при гомогенизации молока влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Плотность молока, г/см ³	1,023-1,027
X ₂	Кислотность, °Т	16-19
X ₃	Содержание соматических клеток в 1 мм ² , шт.	1000-2500
X ₄	Содержание сухого вещества, %	10-15
X ₅	Массовая доля белка, %	2,0-3,0
X ₆	Массовая доля жира, % (3) негат.	3,0-3,8
X ₇	Содержание молочного сахара (лактоза), %	4,0-5,3
X ₈	Давление при гомогенизации, мПа (1) негат.	10-20
X ₉	Температура гомогенизации, °С (2) негат.	60-70

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	0,27	0,29	0,35	0,30	0,34
2	0,56	0,60	0,67	0,60	0,66
3	0,47	0,50	0,56	0,49	0,55
4	0,85	0,91	0,95	0,90	0,94
5	0,37	0,40	0,47	0,41	0,46
6	0,74	0,78	0,85	0,81	0,84
7	0,64	0,69	0,75	0,70	0,74
8	0,92	0,99	1,05	1,01	1,04

Гомогенизация молока - механическое дробление жировых шариков в молоке с целью равномерного распределения жира в общей массе продукта и предотвращения его отстаивания.

Задание 4

На влажность купатов от 60-70 % при производстве влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Содержание жира в фарше, %	10-12
X ₂	Время охлаждения купатов, мин (3) негативн.	1,5-2,5
X ₃	Содержание белка в фарше, %	16-18
X ₄	Температура охлаждения, °С	-1-+1
X ₅	Время приготовления фарша, мин (2) позитивн	4-6
X ₆	Скорость движения воздуха в холодильной камере, м/с	1-2
X ₇	Доля аморанта (растительное сырье) (1) негативн.	5-15
X ₈	Влажность в холодильной камере, %	90-95
X ₉	Температура в толще купатов при подаче в камеру на охлаждение, °С	15-17

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	62,00	62,82	63,00	62,45	62,48
2	67,20	67,40	67,80	67,50	67,80
3	60,70	61,22	61,31	60,92	61,12
4	66,30	66,52	66,90	66,74	66,81
5	64,10	64,60	64,80	64,40	64,40
6	69,40	69,90	70,00	69,50	69,70
7	61,70	62,20	62,40	61,90	62,00
8	66,40	67,00	67,00	66,60	66,70

Задание 5

На консистенцию фарша готовых купатов от 6-9 баллов при производстве влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Время приготовления фарша, мин (2) позитивн	4-6
X ₂	Температура в толще купатов при подаче в камеру на охлаждение, °С	15-17
X ₃	Влажность в холодильной камере, %	90-95
X ₄	Температура охлаждения, °С	-1-+1
X ₅	Время охлаждения купатов, мин (3) позитивн.	1,5-2,5
X ₆	Содержание жира в фарше, %	10-12
X ₇	Скорость движения воздуха в холодильной камере, м/с	1-2
X ₈	Доля аморанта (растительное сырье) (1) позитивн.	5-15
X ₉	Содержание белка в фарше, %	16-18

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	8,77	8,84	8,88	8,85	8,83
2	7,68	7,68	7,74	7,71	7,72
3	7,90	7,93	8,00	7,96	7,97
4	6,38	6,42	6,48	6,46	6,46
5	8,42	8,46	8,54	8,52	8,50
6	6,81	6,84	6,89	6,84	6,84
7	7,32	7,36	7,43	7,42	7,40
8	6,08	6,11	6,18	6,14	6,16

Задание 6

На интенсивность цвета фарша на разрезе готовых купатов от 6-9 баллов при производстве влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Доля аморанта (растительное сырье) (1) негативн.	5-15
X ₂	Скорость движения воздуха в холодильной камере, м/с	1-2
X ₃	Температура охлаждения, °С	-1-+1
X ₄	Время охлаждения купатов, мин (3) негативн.	1,5-2,5
X ₅	Температура в толще купатов при подаче в камеру на охлаждение, °С	15-17
X ₆	Содержание белка в фарше, %	16-18
X ₇	Влажность в холодильной камере, %	90-95
X ₈	Время приготовления фарша, мин (2) позитивн	4-6
X ₉	Содержание жира в фарше, %	10-12

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	6,01	6,03	6,08	6,06	6,05
2	7,41	7,44	7,49	7,42	7,47
3	6,60	6,61	6,67	6,64	6,66
4	8,10	8,14	8,17	8,13	8,12
5	6,91	6,94	6,98	6,97	6,93
6	8,53	8,61	8,62	8,58	8,56
7	7,72	7,79	7,80	7,77	7,74
8	8,91	8,93	9,00	8,94	8,98

Задание 7

На потери влаги при холодом способе копчения свинины от 10-13 % при производстве варено-коченых изделий влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Время вымачивания, ч	2-4
X ₂	Концентрация поваренной соли в рассоле, %	25,0-25,5
X ₃	Количество рядов коптильных рам, шт.	1-3
X ₄	Время копчения, сут.	4-5
X ₅	Скорость движения воздуха, м/с	0,5-1,5
X ₆	Температура копчения, °С (2) позитивн.	18-24
X ₇	Высота развешивания над дымообразователем, см (1) негативн.	10-30
X ₈	Температура воды при вымачивании, °С	20-22
X ₉	Относительная влажность в камере, % (3) негативн.	55-60

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	11,02	11,10	11,13	11,07	11,04
2	12,25	12,30	12,35	12,28	12,32
3	10,01	10,03	10,11	10,07	10,09
4	11,57	11,63	11,67	11,60	11,61
5	11,40	11,45	11,50	11,43	11,48
6	12,89	12,91	13,00	12,97	12,95
7	10,45	10,49	10,55	10,47	10,52
8	12,12	12,15	12,22	12,18	12,20

Задание 8

На кислотность творога 15% жирности от 170-220 °Т при производстве кислотным способом влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Продолжительность сквашивания, ч (2) позитивн.	6-8
X ₂	Кислотность обезжиренного молока, °Т	18-20
X ₃	Температура пастеризации молока-сырья, °С	78-80
X ₄	Влажность готового творога, %	60-65
X ₅	Количество внесенной молочнокислой закваски, % (1) позитивн.	1,0-5,0
X ₆	Температура заквашивания, °С (3) позитивн.	28-32
X ₇	Время прессования сгустка, ч	1-4
X ₈	Температура в помещении при прессовании творога, °С	3-8
X ₉	Температура хранения в камере, °С	6-8

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	218,1	219,6	220,6	219,1	220,1
2	192,2	191,4	192,7	192,2	190,7
3	203,3	204,4	205,8	203,7	205,1
4	180,3	182,1	182,6	181,9	181,1
5	209,5	210,5	212,0	211,7	210,9
6	185,4	186,5	187,9	187,1	186,8
7	197,7	199,3	200,2	199,6	198,2
8	170,1	171,3	172,5	170,9	172,2

Задание 9

На кислотность сметаны 10 % жирности от 80-90 °Т при производстве влияют следующие факторы:

Таблица 1 Перечень факторов

Факторы	Наименование фактора	Область определения фактора
X ₁	Температура пастеризации нормализованных сливок, °С	84-88
X ₂	Время выдержки сливок при пастеризации, мин	2-10
X ₃	Температура выдержки пастеризованных сливок 2 часа, °С	2-6
X ₄	Температура нагревания пастеризованных сливок, °С	20-26
X ₅	Количество внесенной молочнокислой закваски, % (3) позитивн.	2-5
X ₆	Время вымешивания заквашенных сливок, мин	10-15
X ₇	Температура выдержки упакованной сметаны в термостате, °С (2) позитивн.	20-26
X ₈	Продолжительность сквашивания упакованной сметаны, ч	15-16
X ₉	Время охлаждения и созревания сметаны, ч (1) позитивн.	6-12

При проведении опытов, а каждый для исключения систематических ошибок повторялся 5 раз (n=5), получены следующие результаты:

Таблица 2 - Данные эксперимента

Номер опыта по матрице планирования	Результат (y _i)				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	89,4	89,6	90,0	89,8	89,5
2	85,5	85,9	86,1	85,6	85,8
3	86,6	86,8	87,1	87,0	86,9
4	81,3	81,5	81,9	81,4	81,8
5	88,1	88,3	88,7	88,5	88,4
6	83,0	83,4	83,6	83,5	83,3
7	83,8	84,2	84,4	84,3	84,9
8	80,5	80,6	81,0	80,8	80,7

Пример оформления титульного листа

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БИОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра разведения, кормления и частной зоотехнии

Контрольная работа

По дисциплине: Планирование и организация эксперимента

На тему:

Выполнил (а):

Студент ____ курса _____ группы

Ф.И.О

Проверила: канд. биол. наук,
доцент кафедры РК и ЧЗ
Ленивкина И.А.

Новосибирск 202 ____ г.

Составитель:
Ленивкина Ирина Анатольевна

ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

ПРАКТИКУМ

**для практических занятий и выполнения
самостоятельных и контрольных работ**

Редактор

Компьютерная верстка: Ленивкина И.А.

Подписано в печать 20 г.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Объем уч. - изд. л., усл. печ. л.
Тираж ___ экз. Изд. № __. Заказ №

Отпечатано в Издательском центре «Золотой колос»
630039, РФ, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, офис 106
Тел. факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru