

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

**Моделирование и оптимизация технологических
процессов в производстве хлеба, хлебобулочных
и кондитерских изделий**

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
1. Общие требования к контрольной работе	7
2. Тема контрольной работы	11
3. Методические указания по формированию контрольной работы	13
4. Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации	30
Библиографический список	32

ПРЕДИСЛОВИЕ

В пособие подробно рассматривается порядок выполнения и оформления контрольной работы по дисциплине «Моделирование и оптимизация технологических процессов в производстве хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий» студентами заочной формы обучения направления подготовки 19.04.02. Продукты питания из растительного сырья, направленность (профиль) Современные технологии и безопасность хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий, приводятся контрольные вопросы и список рекомендуемой к изучению литературы со ссылкой на размещение изданий в Библиотечно-издательском комплексе ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет.

Выполнение контрольной работы осуществляется студентами самостоятельно в межсессионный период и позволяет сформировать навыки статистической обработки результатов априорного ранжирования факторов и оптимизации технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий на основании использования методов математического моделирования; построения математических моделей; применения математических моделей использования пакетов прикладных программ для математического моделирования и оптимизации технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий

Составитель надеется, что пособие окажется полезным при подготовке студентов к лекциям, лабораторно-практическим занятиям и экзаменам.

ВВЕДЕНИЕ

Цель преподавания дисциплины: освоение навыков использования современных методов моделирования и оптимизации технологических процессов в производстве хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий, учитывающих региональную специфику и достижения науки о питании.

Основные задачи изучения дисциплины:

- ознакомление с основными понятиями математической статистики;
- изучение методов планирования эксперимента;
- получение практических навыков по математической обработке результатов эксперимента;
- получение практических навыков по оптимизации технологических процессов математическими методами.

В результате изучения дисциплины студенты должны освоить следующие компетенции:

ОПК-2: способен разрабатывать мероприятия по совершенствованию технологических процессов производства продукции различного назначения	
ОПК-2.1: анализирует технологические процессы производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий с целью выявления потерь на всех стадиях (этапа) и разрабатывает мероприятия по их снижению	
знать	методы, используемые при априорном ранжировании факторов технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
уметь	выполнять процедуру экспертного оценивания факторов, влияющих и характеризующих протекание изучаемого технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
владеть	практическими навыками статистической обработки результатов априорного ранжирования факторов технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
ОПК-2.2: применяет принципы совершенствования технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий с целью рационализации питания населения, в том числе различных категорий потребителей	
знать	основные методы оптимизации технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
уметь	применять методы "крутое восхождение", "симплекс метод" для оптимизации технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий

владеть	навыками оптимизации технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий на основании использования методов математического моделирования
ОПК-4: Способен использовать методы моделирования продуктов питания из растительного сырья и проектирования технологических процессов производства продукции различного назначения	
ОПК-4.1: применяет методы моделирования и проектирования технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий	
знать	знать принципы применения методов моделирования при оптимизации технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
уметь	уметь использовать основные методы моделирования при оптимизации технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
владеть	владеть навыками использования пакетов прикладных программ для математического моделирования и оптимизации технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
ПК-4: Способен к разработке новых технологических решений, технологий, новых видов хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий с использованием современных видов оборудования в целях обеспечения конкурентоспособности производства в соответствии со стратегическим планом развития производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий	
ПК-4.1: составлять рецептурные композиции новых видов хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий	
знать	знать основные математические модели, используемые для оптимизации параметров технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
уметь	уметь использовать математические модели с целью оптимизации параметров технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
владеть	владеть навыками оптимизации параметров технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий на основе использования методов математического моделирования
ПК-4.4: Разрабатывать математические модели для исследования и оптимизации параметров технологического процесса производства и улучшения качества хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий	
знать	знать существующие математические модели для исследования и оптимизации параметров технологического производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий

уметь	уметь использовать математические модели для исследования и оптимизации параметров производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
владеть	владеть навыками применения математических моделей для исследований и оптимизации технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
ПК-4.5: Применять методы математического моделирования и оптимизации технологических процессов производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий на базе стандартных пакетов прикладных программ	
знать	пакеты стандартных прикладных программ, используемые для математического моделирования и оптимизации технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
уметь	осуществлять выбор оптимальных пакетов прикладных программ для математического моделирования и оптимизации технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий
владеть	владеть навыками применения математических моделей для исследования и оптимизации технологического процесса производства хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий

Программой дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции, проведение практических занятий, самостоятельная работа студентов. При проведении практических работ используется ряд интерактивных методов - метод кооперативного обучения (командная поддержка индивидуального обучения).

Видом промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине является экзамен.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Контрольную работу оформляют в соответствии с СТУ 7.5-07-2021. Работа выполняется в печатном виде и состоит из следующих структурных элементов: титульный лист; содержание; введение; основная часть; заключение; список использованных источников; приложения (при необходимости). Каждый структурный элемент текстового документа начинают с новой страницы. Заголовки структурных элементов «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ», «ПРИЛОЖЕНИЕ» располагают посередине строки и печатают прописными буквами полужирным шрифтом. Заголовки отделяют от текста интервалом в одну строку, не подчеркивают и не нумеруют.

Титульный лист является первой страницей текстового документа. Пример оформления титульного листа представлен на рисунке 1.

Министерство науки и высшего образования РФ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»		

институт		

кафедра		
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА		
ПО _____		
наименование дисциплины		

тема (вариант)		

Преподаватель	_____	_____
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Студент _____	_____	_____
номер группы, зачетной книжки	подпись, дата	инициалы, фамилия
Красноярск 20__		

Рисунок 1 – Оформление титульного листа контрольной работы

Содержание текстового документа включает заголовки структурных элементов, порядковые номера и заголовки всех разделов (подразделов, пунктов), обозначения и заголовки приложений. Заголовки записывают строчными буквами, с первой прописной. После каждого заголовка ставят отточие и приводят номер страницы, на которой начинается данный структурный элемент или раздел (подраздел, пункт).

Заголовки структурных элементов, разделов (подразделов, пунктов) в содержании должны повторять заголовки в тексте. Сокращать заголовки или давать их в другой формулировке не допускается.

Номера и заголовки разделов, как и заголовки структурных элементов, записывают с начала строки.

Номера и заголовки подразделов приводят после абзацного отступа, равного двум знакам относительно номеров разделов.

Номера и заголовки пунктов приводят после абзацного отступа, равного двум знакам относительно номеров подразделов.

При необходимости продолжения записи заголовка раздела (подраздела, пункта) на второй (последующей) строке его начинают на уровне начала этого заголовка на первой строке, а при продолжении записи заголовка приложения – на уровне записи обозначения этого приложения.

Пример оформления содержания представлен на рисунке 2.

СОДЕРЖАНИЕ	
Введение	5
1 Основная часть.....	10
2.1 Построение модели парной регрессии.....	16
2.2 Построение модели множественной регрессии.....	18
2.3 Оптимизация рецептуры конфет.....	19
Заключение	22
Список использованных источников	24

Рисунок 2 – Оформление элемента «Содержание»

Введение. В общем случае введение должно содержать оценку современного состояния исследуемой проблемы, формулировку цели и задач работы, методы и средства решения задач, отражать актуальность и новизну выполняемой работы. Таким образом, в нем необходимо отразить указание на вид разрабатываемого продукта, обосновать его выбор, указать цель

разработки нового или модификации существующего продукта, сформулировать к данной цели ряд задач, реализуемых в ходе выполнения данной контрольной работы.

Основная часть. Содержание разделов основной части текстового документа зависит от темы и вида выполняемой работы.

В разделах основной части текстового документа приводятся описания теоретических вопросов, методик выполнения работы, выполненных экспериментальных исследований, результаты патентно-информационного поиска, расчеты, графики, таблицы, схемы.

При выполнении данной контрольной работы в данной части необходимо обосновать выбор критериев оптимальности, провести математическую формализацию: построить модели парной и множественной регрессии, провести оптимизацию технологического процесса или рецептуры продукта.

Заключение, в зависимости от вида работы, может содержать:

- выводы по результатам выполненной работы;
- оценку полноты решений поставленных задач, полученных результатов, преимущества принятых решений и рекомендации по их использованию;
- оценку технико-экономической эффективности внедрения и применения результатов работы;
- обоснование теоретической и практической ценности полученных результатов.

Список использованных источников. В список использованных источников включают все литературные источники, правовые и нормативные документы, использованные автором при написании работы

Требования к оформлению и изложению контрольной работы

Текстовые документы выполняют печатным способом с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210x297 мм), шрифтом Times New Roman 14 размера, межстрочный интервал принимают одинарный или полуторный. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту документа и равен пяти знакам (12,5 мм).

В исключительных случаях допускается рукописное изложение текста документа. При этом почерк должен быть четким и аккуратным, чернила

одного цвета, высота букв и цифр не менее 2,5 мм, расстояние между строк не менее 8 мм и не более 10 мм.

Текст контрольной работы печатают на листах (без рамки) с соблюдением следующих размеров полей:

- левого – 30 мм;
- верхнего и нижнего – 20 мм;
- правого – 10 мм.

Страницы текстового документа нумеруют арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему документу. На листах без рамки номер страницы проставляют в центре нижней части листа. Титульный лист текстового документа включают в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

Оформление контрольной работы производят в соответствии с СТУ 7.5–07–2021 «Стандарт организации. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» (<https://about.sfu-kras.ru/node/8127>).

2. ТЕМА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Тема контрольной работы непосредственно связана с темой магистерской диссертации и заключается в оценке возможности применения методов моделирования и оптимизации при прогнозировании необходимых свойств изделия (или продукта, блюда) в ходе выполнения магистерской диссертации.

Пример:

Тема магистерской диссертации	Тема контрольной работы
Разработка производства специализированных видов хлеба для детского диабетического питания с элементами интегрированной системы безопасности	Моделирование рецептуры специализированного хлеба для детского диабетического питания
	или
	Оптимизация технологических параметров получения специализированного хлеба для детского диабетического питания

Задания:

В рамках контрольной работы необходимо:

- осуществить выбор вида разрабатываемого продукта;
- определить цель разработки нового или модификации существующего продукта;

- выбрать критерии оптимальности;

- провести математическую формализацию:

1) создать модель «Парной регрессии» для данных, полученных в ходе выполнения контрольной работы по дисциплине «Современные методы исследований свойств сырья, хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий», провести ее оценку и интерпретацию;

2) создать модель «Множественной регрессии» для данных, полученных в ходе выполнения контрольной работы по дисциплине «Современные методы исследований свойств сырья, хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий», провести ее оценку и интерпретацию;

3) провести оптимизацию разрабатываемой в ходе выполнения диссертационной работы рецептуры хлеба, хлебобулочного или кондитерского изделия с учетом, выбранного ранее критерия оптимальности, используя надстройку *Microsoft Excel* «Поиск решения»;

- сделать вывод;
- привести список использованных литературных источников.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Выбор вида разрабатываемого продукта. Объектом проектирования являются хлеб, хлебобулочные или кондитерские изделия, обладающие рядом уникальных способностей, которые в первую очередь учитываются в процессе проектирования. В данной части контрольной работы необходимо провести анализ характеристик разрабатываемого продукта и определить объект проектирования.

Цель разработки нового или модификации существующего продукта: необходимо четко сформулировать цель разработки нового или совершенствования традиционного пищевого продукта, поскольку содержание модели определяется тем, насколько правильно и конкретно отражена цель. Например, при проектировании нового вида хлебобулочного изделия может быть поставлена цель – разработать продукт функционального назначения. Для корректного формирования цели необходимо структурировать процесс разработки, установив необходимые взаимосвязи и последовательность основных этапов. Пример такого структурирования представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема этапов создания изделия

Выбор критериев оптимальности. Критерий оптимальности определяется исходя из поставленной цели исследования. В качестве него может выступать технологический, экономический или другой показатель, на основании которого будут происходить последующие сравнения возможных вариантов и выбор наилучшего из них. Фактически, критерий оптимальности представляет собой количественное выражение поставленной задачи и может иметь как натуральное, так и стоимостное выражение. В ходе выполнения контрольной работы желательно использовать только один критерий оптимальности, поскольку в ином случае решение задачи может иметь противоречивый характер.

Обратите внимание – разделы «Цель разработки нового или модификации существующего пищевого продукта» и «Выбор критериев оптимальности» вами был осуществлён в ходе выполнения контрольной работы по дисциплине «Современные методы исследований свойств сырья, хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий». Выполнение контрольной работы осуществляется на основании данных, полученных при выполнении экспериментальной работы в результате изучения данной дисциплины.

Рассмотрим в качестве примера разработку рецептуры смородинового желе. При этом, можно отметить несколько критериев оптимальности, но остановимся на следующем: содержание витамина С в 100 г желе. В данном случае оптимальным будет рецептурное соотношение, позволяющее получить продукт с заданным содержанием витамина.

Математическая формализация. Выполнение данной части работы характеризуется обработкой полученных ранее экспериментальных данных при составлении моделей парной и множественной регрессии.

Выполнение осуществляется с использованием *Microsoft Excel*. При выполнении работы следует использовать надстройки «Пакет анализа» и «Поиск решения». Активизация (подключение) осуществляется следующим образом:

- откройте *Microsoft Excel*, создайте пустую книгу (рис.4);
- в верхнем левом углу нажмите «файл» или выберите кнопку «office» (рис.4);
- в открывшемся окне выберите раздел «Параметры», который может быть расположен в самом низу слева;
- в открывшемся окне «Параметры Excel» выберите раздел «Настройки». Если вы до данного момента не устанавливали надстройки

«Пакет анализа» и «Поиск решения», то они находятся у вас в списке неактивных;

- для перевода их в активное состояние необходимо перейти в управление надстройками и поставить галочки около требуемых надстроек, после чего нажать клавишу «ОК»;

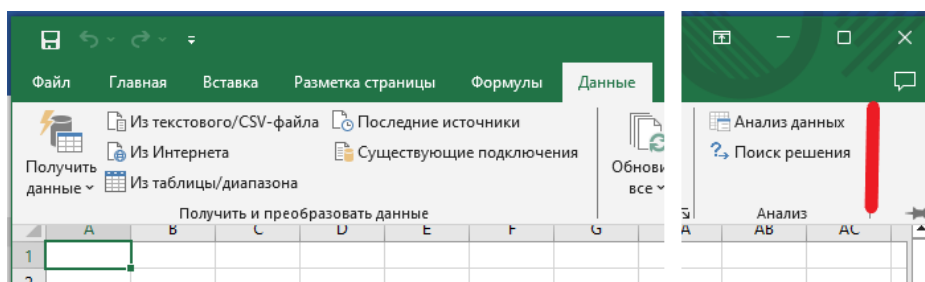
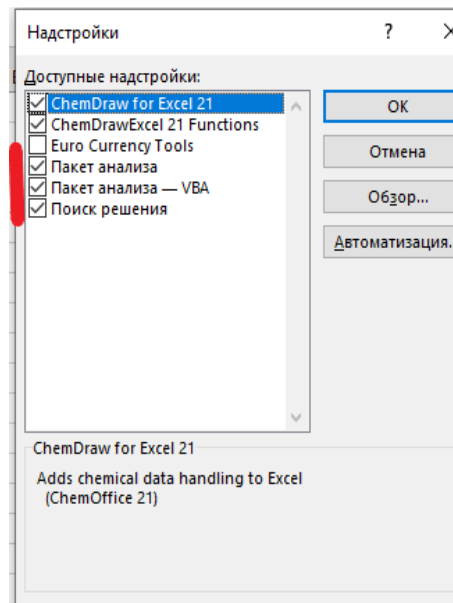
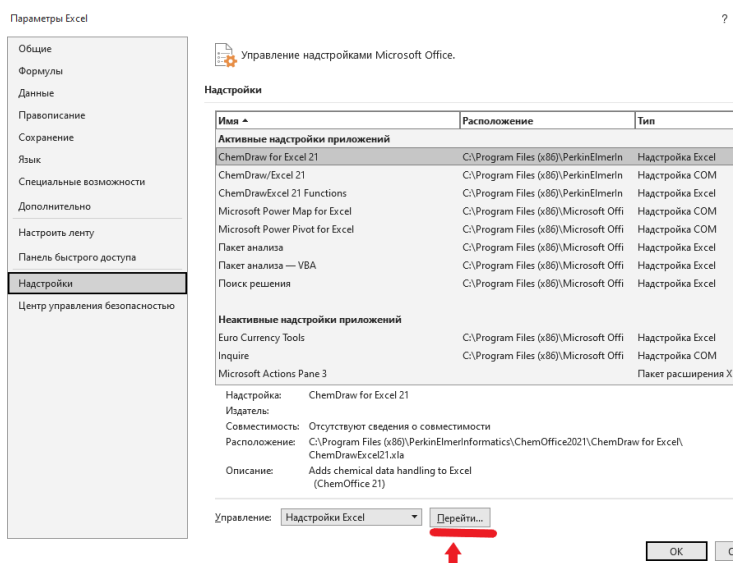
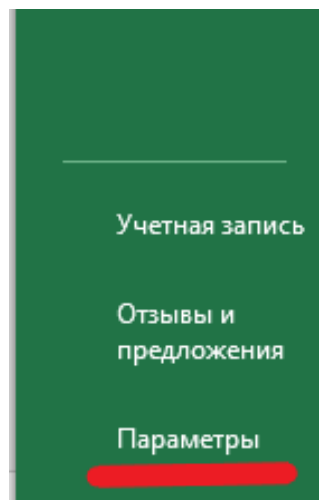
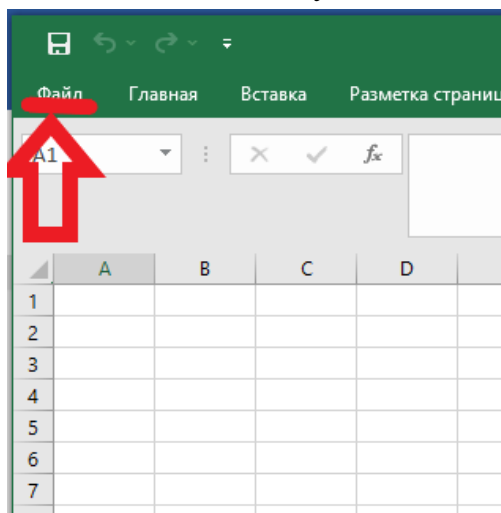


Рисунок 4 – Настройка надстроек «Пакет анализа» и «Поиск решения»

- во вкладке «Данные», папка «Анализ» появятся две команды «Анализ данных» и «Поиск решения».

1) Построение модели парной регрессии.

При осуществлении парной регрессии проводится анализ зависимости между двумя переменными:

- Y_i – зависимая переменная – поведение ее мы собираемся объяснить;
- X_i - объясняющая переменная (неслучайная детерминированная величина).

Рассмотрим пример влияния количества внесенной смородины на содержание витамина С в смородиновом желе. В этом случае модель парной регрессии будет соответствовать уравнению:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где X_i – масса вносимой смородины, Y_i – содержание витамина С в смородиновом желе, ε_i – случайный член (ошибки) с помощью которого мы учитываем влияние на переменную Y_i всех неучтенных в модели факторов, α – постоянная величина (или свободный член уравнения, константа), β – коэффициент регрессии, определяющий наклон линии, вдоль которой рассеяны данные наблюдений X_i и Y_i .

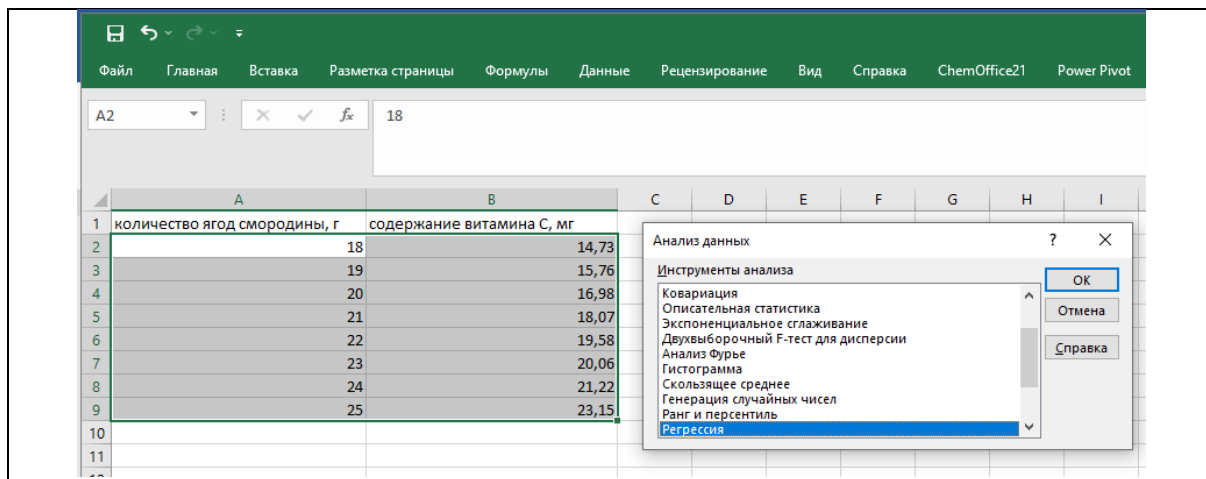
В модели X_i – неслучайная (детерминированная) величина, Y_i и ε_i – случайные величины. То есть из каждого образца смородинового желе мы случайным образом выбираем один – i -тый образец и выясняем уровень содержания в нем витамина С. Таким образом, Y_i – зависимая переменная, которая состоит из:

- неслучайной составляющей $\alpha + \beta X_i$, где X_i – объясняющая (независимая) переменная, а постоянные α и β параметры модели;
- случайного члена ε_i .

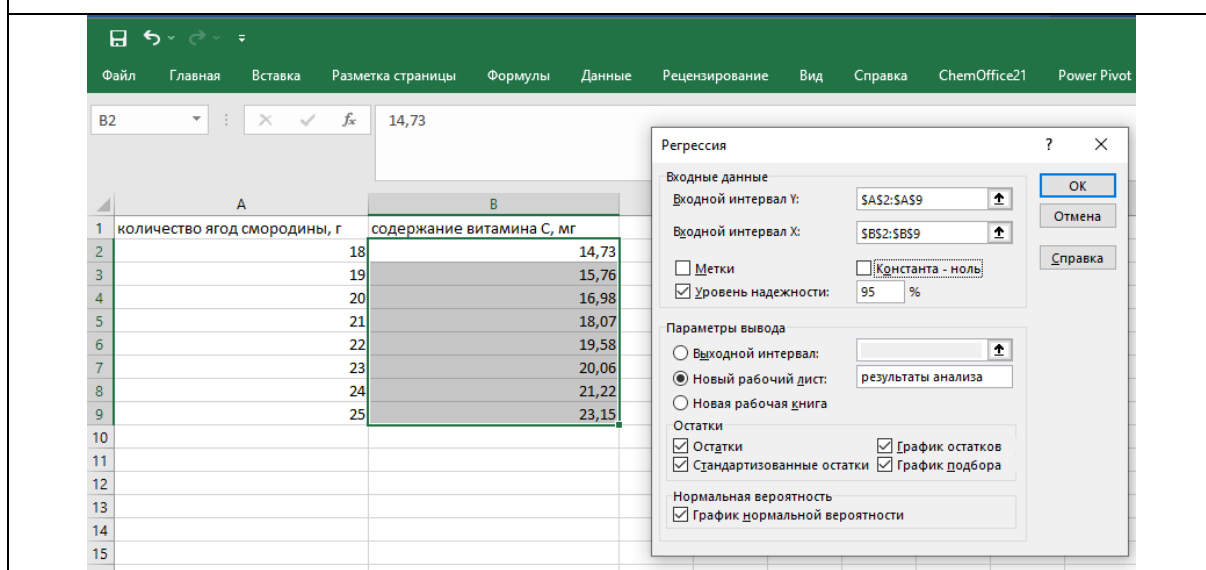
Y_i и X_i это фактические значения (реально собранные данные/наблюдения, иными словами наблюдаемые значения).

Одним из методов оценки регрессионных уравнений является метод наименьших квадратов, который и используется при оценке регрессий в пакете MS Excel.

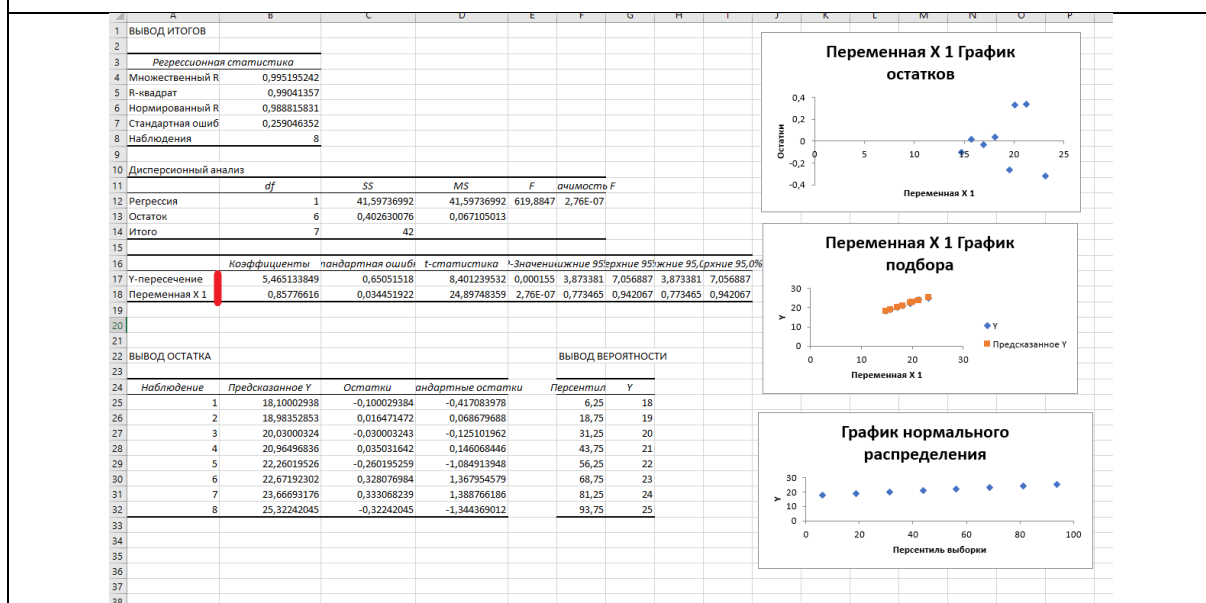
Шаг 1. Для работы с инструментами анализа и оценки регрессионного уравнения исходные данные следует представить в виде столбцов рабочего листа. Совокупность ячеек, содержащих анализируемые данные, будем называть входным диапазоном (рис.5).



Шаг 1-2



Шаг 3



Шаг 4

Рисунок 5 – Построение уравнения регрессии

Шаг 2. Для оценки регрессионного уравнения на вкладке «Данные» в папке «Анализ» выберите команду «Анализ данных». В открывшемся окне выберите инструмент анализа «Регрессия» и подтвердите выбор, нажав «ОК».

Шаг 3. В открывшемся диалоговом окне укажите входной интервал X и Y , выделив соответствующие диапазоны в книге *Microsoft Excel*. Желательно вывести результаты анализа на другой лист, поэтому установите флажок «Новый рабочий лист». При необходимости введите имя для нового листа в поле, расположенном напротив соответствующего положения переключателя.

В диалоговом окне можно установить флажок «Константа – ноль», если вы оцениваете регрессию без константы, т.е. линия регрессии проходит через начало координат, и в этом случае уравнение регрессии имеет вид:

$$Y_i = \beta X_i + \varepsilon_i, \text{ где } i = 1 \dots n \quad (2)$$

По умолчанию *Microsoft Excel* применяет 95 % уровень надежности, например для вычисления доверительных интервалов для оцененных коэффициентов модели регрессии (α и β). Установите флажок «Уровень надежности» и введите необходимый вам уровень, для получения в итоговой таблице результатов с 95% и указанным вами дополнительным уровнем надежности. Кроме результатов регрессионного анализа в выходную таблицу результатов *Microsoft Excel* можно вывести остатки регрессии, установив флажок «Остатки», а также «Стандартизированные остатки регрессии», установив переключатель в это положение. Остатки регрессии можно визуализировать, построив график остатков. Для этого установите флажок «График остатков», при этом *Microsoft Excel* построит графики для каждой независимой переменной (Y_i). Опция «График подбора» предназначена для построения графика зависимости предсказанных значений 1 от X_i и наблюдаемых значений X_i от Y_i . Для построения графика нормальной вероятности выберите соответствующую опцию.

Оценка модели парной регрессии

Запишите полученное уравнение регрессии в соответствии с формулами (1) или (2). Для рассматриваемого примера:

$$Y_i = 5,46Y_i + 0.86, R^2=0.990 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации R^2 (R -квадрат) показывает долю объясненной вариации (разброса) зависимой переменной (Y_i) относительно своего среднего. Он используется для предварительной оценки качества модели и как основа для расчета других показателей (например, F -теста для проверки качества уравнения регрессии). Обычно приводится в стандартной записи уравнения регрессии. $R^2 = 0,990$ означает, что 99.0% вариации Y_i – содержания витамина С в смородиновом желе объясняется X_i – количеством введенных ягод.

Параметр P -значение используется для оценки статистической значимости коэффициентов регрессии. Если P -значение меньше заданного уровня значимости α , то коэффициент является значимым на этом уровне значимости. В противном случае коэффициент незначим на данном уровне значимости α . Для достаточно просто сравнить P -значение с общепринятыми уровнями значимости, в нашем случае $\alpha = 0,05 = 5 \%$ и сделать вывод. Например, коэффициент при объясняющей переменной X_i , равный 5,46 значим на данном уровне, т.к. P -значение для этого коэффициента равно 0,00015 и это меньше $\alpha = 5 \% = 0,05$. Аналогично, константа равная 0,86 значима на уровне значимости $\alpha = 5 \% = 0,05$ так как ее P -значение = 0,00000027 < 0,05 = α .

F статистика для проверки гипотезы о значимости уравнения в целом в результатах *Microsoft Excel* представлена в таблице «Дисперсионный анализ». Степени свободы статистики указаны в столбце df , значение $k - 1$ выведено в строке «Регрессия», $n - k$ в строке «Остаток». Для нашего примера расчетное значение статистики Фишера равно $F_{(k-1, n-k)} = 619,885$. Для принятия решения о значимости уравнения регрессии в целом необходимо сравнить расчетное значение F статистики с ее критическим значением ($F_{кр}$). При этом, если расчетное значение $F > F_{кр}$, то нулевая гипотеза о незначимости уравнения регрессии в целом отклоняется, и мы заключаем, что уравнение регрессии в целом значимо. А если значение $F < F_{кр}$, то нулевая гипотеза о незначимости уравнения регрессии в целом не может быть отклонена, и мы заключаем, что уравнение регрессии в целом незначимо. Вывод о значимости и незначимости уравнения регрессии принимается на заданном уровне значимости α (в нашем случае $\alpha = 5 \%$), именно для этого уровня значимости указывается критическое значение ($F_{кр}$). Критическое значение статистики Фишера в Excel можно получить, используя функцию FРАСПОБР.

Для этого выбираем вкладку «Формулы», в ней значок «Вставить функцию» (f_x) и в списке функций выбираем функцию «ФРАСПОБР». В нашем случае $F_{крит}$ для $\alpha = 0,05$ и степеней свободы числителя $n_2 - k = 7$ и знаменателя $n_1 - k = 7$ задается выражением $=\text{ФРАСПОБР}(0,05;7;7) = 2,978237016$. (рис. 6).

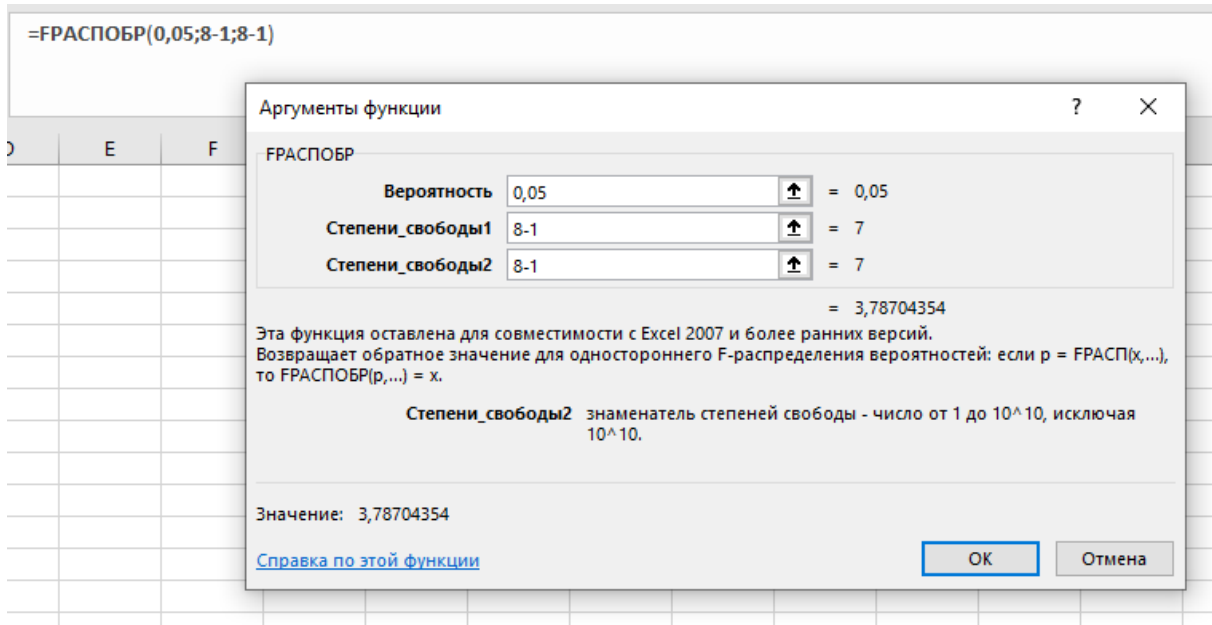


Рисунок 6 – Определение $F_{кр}$

В данной функции поле «вероятность» это уровень значимости, «степени_свободы1» – степени свободы числителя и «степени_свободы2» – степени свободы знаменателя расчетной F статистики: со степенями свободы числителя ($k - 1$) и степенями свободы знаменателя ($n - k$), где k – количество параметров, оцененных в уравнении регрессии и n – количество наблюдений.

В нашем примере критическое значение статистики Фишера для уровня значимости $\alpha = 5\% = 0,05$ равно $F_{кр} = \text{ФРАСПОБР}(\alpha = 0,05; k - 1 = 2 - 1 = 1; n - k = 8 - 1 = 7) = \text{ФРАСПОБР}(0,05;7;7) = 3,78704354$.

Таким образом, расчетная статистика равная

$$F_{(k-1, n-k)} = F(1,7,7) = 619,885 > F_{кр} = 3,78704354$$

и мы отклоняем нулевую гипотезу о незначимости в целом уравнения регрессии и делаем вывод о статистической значимости уравнения регрессии в целом на 5 %-ом уровне значимости.

Интерпретация полученного результата. В нашем случае значимы и константа, и коэффициент при объясняющей переменной (X_i). Коэффициент $\beta=5,46$ свидетельствует о том, что при увеличении количества ягод

смородины на 1 грамм фиксируется рост в смородиновом желе содержания витамина С на 5,46 мг. При интерпретации результатов регрессии важно помнить:

– оцененные регрессией параметры – α и β (см. уравнение (2)) это только оценки для истинных значений α и β модели, т.е. некоторое приближение /оценка действительности;

– уравнение регрессии отражает общую тенденцию для выборки. При этом каждое отдельное наблюдение подвержено воздействию случайностей. В результатах расчетов Excel значение RSS указано в таблице «Дисперсионный анализ», в колонке SS, строке «Регрессия». Потому, корректно при интерпретации говорить «в среднем», т.е. при изменении X_i на 1 единицу (в единицах измерения X_i) Y_i . «в среднем» изменяется на β единиц (в единицах измерения Y_i);

– верность интерпретации зависит от правильности спецификации модели;

– важно понимать, что результаты регрессии получены на основании выборки (некоторого набора значений X_i) и потому экстраполяция результатов влево и вправо (т.е. для значений X_i . меньше и больше, чем те, что есть в выборке) не корректна, а порой может просто не иметь смысла.

2) Построение модели множественной регрессии

Построение данной модели рассмотрим на примере регрессии с двумя объясняющими переменными:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \varepsilon_i \quad (4)$$

где $i = 1 \dots, n$,

X_{1i} , X_{2i} – две объясняющие переменные, неслучайные (детерминированные) величины;

α и ε_i – случайные величины.

Y_i – зависимая переменная, состоит из неслучайной составляющей $\alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i}$, где постоянные α и β_1 , β_2 параметры уравнения и случайного члена ε_i (ошибок).

X_{1i} , X_{2i} и Y_i - это фактические значения (реально собранные данные / наблюдения, иными словами наблюдаемые значения).

Как и в случае парной регрессии, для оценки модели в пакете *MS Excel* данные для анализа следует представить в виде столбцов на рабочем листе

MS Excel, при этом столбцы данных объясняющих переменных должны располагаться рядом.

В качестве примера множественной регрессии рассмотрим прочность смородинового желе как функцию от содержания в смородиновом желе витамина С и количества используемого ягодного сырья.

Математическая модель (теоретическая) имеет вид:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} \quad (5)$$

где $i = 1 \dots i$ (i – номер образцов смородинового желе, для которых измерены значения переменных модели);

Соответствующее регрессионное уравнение (или статистическая модель) примет вид (4).

Для анализа уравнения регрессии (4) открываем в *MS Excel* файл с данными, на вкладке «Данные» в папке «Анализ» выбираем команду «Анализ данных», в открывшемся окне выбираем инструмент анализа «Регрессия» и подтверждаем выбор кнопкой *OK*. В открывшемся диалоговом окне указываем входной интервал Y (диапазон $B2:B9$) и входной интервал X_{1i} и X_{2i} (диапазон $C2:D9$, то есть одновременно указываем два столбца переменных, именно поэтому данные объясняющих переменных должны располагаться в соседних столбцах, рис.7).

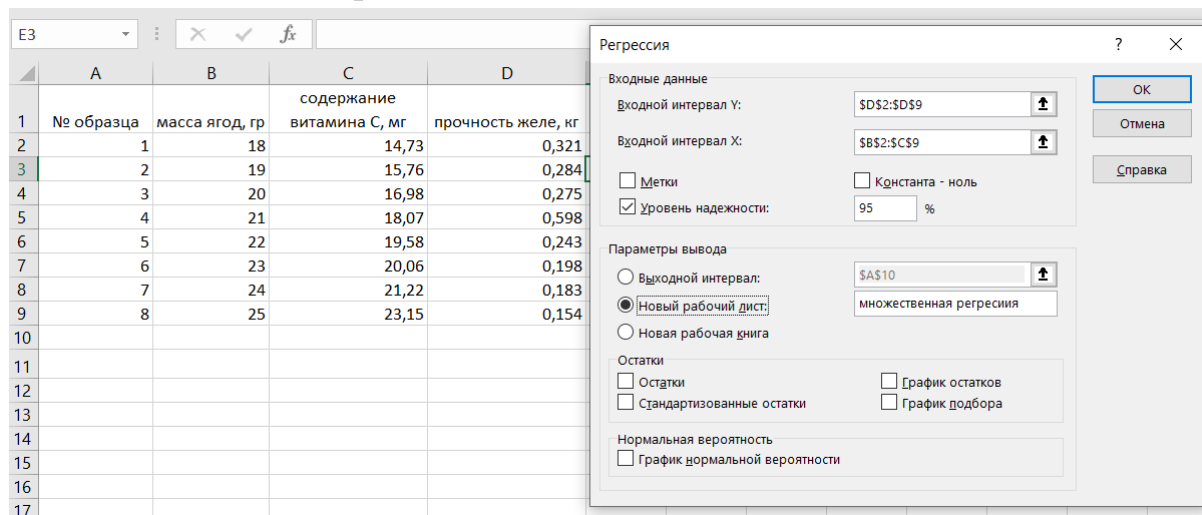


Рисунок 7 – Построение модели множественной регрессии

В качестве выходного интервала укажем «Новый рабочий лист» с названием «множественная регрессия». Уровень надежности для вычисления доверительных интервалов оцениваемых коэффициентов оставим стандартный для *MS Excel*, 95 %.

Выполнив регрессионный анализ, получаем результаты, представленные на рисунке 8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	ВЫВОД ИТОГОВ									ВЫВОД ИТОГОВ		
2												
3	Регрессионная статистика					Регрессионная статистика						
4	Множественный R	0,474095476								Множественный R		
5	R-квадрат	0,22476652								R-квадрат		
6	Нормированный R-квадрат	-0,085326872								Нормированный R-квадрат		
7	Стандартная ошибка	0,145313866								Стандартная ошибка		
8	Наблюдения	8								Наблюдения		
9												
10	Дисперсионный анализ					Дисперсионный анализ						
11		df	SS	MS	F	Значимость F						
12	Регрессия	2	0,030611402	0,015306	0,724834923	0,529153047				Регрессия		
13	Остаток	5	0,105580598	0,021116						Остаток		
14	Итого	7	0,136192							Итого		
15												
16		Коэффициенты	стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%			
17	Y-пересечение	0,740048974	1,303681216	0,567661	0,594804813	-2,61117028	4,091268227	-2,61117028	4,091268227	Y-пересечение		
18	Переменная X 1	-0,004229617	0,229009738	-0,01847	0,985978925	-0,59291789	0,584458656	-0,59291789	0,584458656	Переменная X 1		
19	Переменная X 2	-0,019638233	0,197385192	-0,09949	0,924613585	-0,527033021	0,487756556	-0,527033021	0,487756556	Переменная X 2		

Рисунок 8 – Результат множественного регрессионного анализа

Оценка модели множественной регрессии

Запишите полученное уравнение регрессии в соответствии с формулами (4) или (5). Для рассматриваемого примера:

$$Y_i = 0,7 - 0,004X_{1i} - 0,02X_{2i}, R^2 = 0,2274 \quad (6)$$

P-значения: (0,5948) (0,986) (0,925)

Коэффициент детерминации R^2 (R-квадрат) показывает долю объясненной вариации (разброса) зависимой переменной (Y_i) относительно его среднего. $R^2 = 0,2274$ означает, что 22,74% вариации Y_i – прочности желе объясняется X_{1i} - количеством используемого ягодного сырья и X_{2i} – содержанием в желе витамина С. Все оцененные коэффициенты регрессии не значимы на 5 %-ом уровне значимости ($\alpha = 0,05 = 5 \%$), т.к. P-значения всех коэффициентов больше заданного уровня значимости.

Для дополнительной проверки значимости коэффициентов регрессии с использованием t-статистик необходимо расчетные значения статистик (см. колонку t-статистика (D) результатов расчетов MS Excel) сравнить с критическим значением статистики Стьюдента (t_{crit}) для заданного уровня значимости α и степенями свободы равными $n - k$, где n – количество наблюдений, по которым оценены параметры регрессии и k – количество коэффициентов, оцененных в уравнении регрессии.

При проверке значимости коэффициента регрессии рассмотрим коэффициент β_1 , (уравнение (6)), при этом мы тестируем нулевую гипотезу:

$\beta_1 = 0$ – то есть коэффициент регрессии β_1 не значим;

против альтернативной гипотезы

$\beta_1 \neq 0$, то есть коэффициент регрессии β_1 значим.

Если расчетная t -статистика оказывается больше t_{crit} , то нулевая гипотеза о незначимости коэффициента регрессии отклоняется на заданном уровне значимости α и мы заключаем, что коэффициент β_1 статистически значим (т.е. отличен от нуля). Если расчетная t -статистика оказывается меньше t_{crit} , то нулевая гипотеза о незначимости коэффициента регрессии не может быть отклонена на заданном уровне значимости α и мы заключаем, что коэффициент β_1 статистически незначим.

В модели регрессии (6) необходимо оценить три коэффициента – константу и коэффициенты при переменных X_{1i} и X_{2i} , т.е. $k = 3$. Количество наблюдений по которым оценены параметры регрессии равно 8, т.е. $n = 8$. Уровень значимости α обычно берется равным 5 %, 1% или 10 %. В *MS Excel* критическое значение t -статистики можно получить при помощи функции СТЬЮДРАСПОБР. Для этого выбираем вкладку «Формулы», в ней значок «Вставить функцию» и в списке функций выбираем функцию СТЬЮДРАСПОБР. В нашем случае t_{crit} для $\alpha = 0,05 = 5\%$ и степеней свободы $n - k = 8 - 3$ задается выражением: =СТЮДРАСПОБР(0,05;8-3) =2,5706 (рис.9).

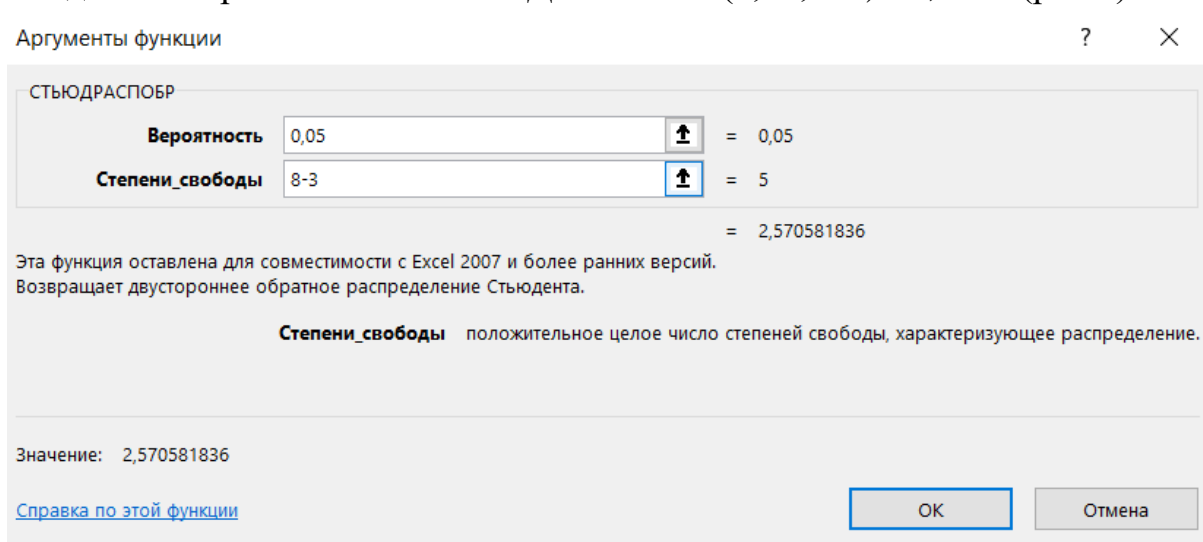


Рисунок 9 – Функция СТЬЮДРАСПОБР

t -статистики всех коэффициентов регрессии по модулю меньше $t_{crit} = 2,5706$, а потому мы отклоняем нулевые гипотезы о значимости коэффициентов регрессии (6), и заключаем, что все коэффициенты регрессии (6) являются незначимыми на 5 %-ом уровне значимости.

3) Оптимизация рецептуры конфет

Оптимальное значение какого-либо показателя можно найти с использованием надстройки для *Microsoft Excel* «Поиск решения». Данная надстройка работает с группой ячеек, называемых ячейками переменных, которые используются при расчете формул в целевых ячейках и ячейках ограничения. Надстройка "Поиск решения" изменяет значения в ячейках переменных решения согласно пределам ячеек ограничения и выводит нужный результат в целевой ячейке.

Пример: требуется разработать рецептуру глазированных жележных конфет с минимальной энергетической ценностью. В качестве сахаросодержащего сырья можно использовать сахар-песок, патоку крахмальную. Содержание сухих веществ должно быть не менее 75%. Дополнительно необходимо рассчитать стоимость продукта. Данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Ингредиентный состав для проведения оптимизации рецептуры глазированных жележных конфет

Рецептурные ингредиенты	Диапазон Варьирования массы, кг	X_i	Содержание сухих веществ, в %	Энергетическая ценность, ккал	Стоимость, руб/кг
Сахар-песок	50-65	X_1	99,85	379,0	26,4
Патока крахмальная	15-30	X_2	78,00	307,0	34,0
Пектин цитрусовый	1,4	X_3	92,00	43,0	450,0
Цитрат натрия	1,0-1,5	X_4	96,00	0	60,0
Лимонная кислота	0,3-1,0	X_5	98,00	0	50,0
Шоколадная глазурь	20-25	X_6	99,10	540,1	165,0

Постановка задачи: требуется найти искомые значения X_i , при которых целевая функция - энергетическая ценность, принимает минимальное значение, то есть:

$$\min F(x) = \min(379 \cdot X_1 + 307 \cdot X_2 + 43 \cdot X_3 + 540,1 \cdot X_6) \quad (7)$$

при соблюдении следующих условий:

1) наличия в рецептуре жележных конфет содержания сухих веществ не менее 75%:

$$0,9985X_1 + 0,78X_2 + 0,997X_3 + 0,831X_4 + 0,666X_5 + 0,668X_6 \geq 75,0; \quad (8)$$

2) задания нижних ограничений на переменных:

$$X_1 > 50, X_2 > 15, X_3 > 1, X_4 > 1, X_5 > 0,3, X_6 > 20; \quad (11)$$

3) задания верхних ограничений на переменных:

$$X_1 < 65, X_2 < 30, X_3 < 4, X_4 < 1,5, X_5 < 1, X_6 < 25. \quad (12)$$

Поставленная задача является задачей линейного программирования, решение которой состоит в определении массы каждого ингредиента при обеспечении минимальной энергетической ценности жележных конфет и выполнении ограничений.

Решение задачи осуществляем в системе *MS Excel* с помощью надстройки «Поиск решения». Последовательность решения состоит в выполнении следующих операций:

1. формируем в *MS Excel* таблицу с исходными данными:

	A	B	C	D	E
	Рецептурные ингредиенты	масса, кг	содержание сухих веществ, кг	энергетическая ценность, ккал	стоимость продукта, руб
2	сахар-песок		99,85	379,00	26,40
3	патока крахмальная		78,00	307,00	34,00
4	пектин цитрусовый		92,00	43,00	450,00
5	цитрат натрия		96,00	0,00	60,00
6	лимонная кислота		98,00	0,00	50,00
7	шоколадная глазурь		99,10	540,10	165,00
8	итого, кг		0	0	0
9					

2. в ячейку B8 находим сумму масс ингредиентов:

B8 =СУММ(B2:B7)

	A	B	C	D	E
	Рецептурные ингредиенты	масса, кг	содержание сухих веществ, кг	энергетическая ценность, ккал	стоимость продукта, руб
2	сахар-песок		99,85	379,00	26,40
3	патока крахмальная		78,00	307,00	34,00
4	пектин цитрусовый		92,00	43,00	450,00
5	цитрат натрия		96,00	0,00	60,00
6	лимонная кислота		98,00	0,00	50,00
7	шоколадная глазурь		99,10	540,10	165,00
8	итого, кг	0	0	0	0

3. в ячейке C8 решаем балансовое уравнение содержания сухих веществ:

C8 =СУММПРОИЗВ(B2:B7;C2:C7)

	A	B	C	D	E
	Рецептурные ингредиенты	масса, кг	содержание сухих веществ, кг	энергетическая ценность, ккал	стоимость продукта, руб
2	сахар-песок		99,85	379,00	26,40
3	патока крахмальная		78,00	307,00	34,00
4	пектин цитрусовый		92,00	43,00	450,00
5	цитрат натрия		96,00	0,00	60,00
6	лимонная кислота		98,00	0,00	50,00
7	шоколадная глазурь		99,10	540,10	165,00
8	итого, кг	0	0	0	0

4. в ячейке D8 решаем балансовое уравнение содержания энергетической ценности:

D8					
=СУММПРОИЗВ(B2:B7;D2:D7)					
	A	B	C	D	E
	Рецептурные ингредиенты	масса, кг	содержание сухих веществ, кг	энергетическая ценность, ккал	стоимость продукта, руб
2	сахар-песок		99,85	379,00	26,40
3	патока крахмальная		78,00	307,00	34,00
4	пектин цитрусовый		92,00	43,00	450,00
5	цитрат натрия		96,00	0,00	60,00
6	лимонная кислота		98,00	0,00	50,00
7	шоколадная глазурь		99,10	540,10	165,00
8	итого, кг	0	0	0	0

5. в ячейке E8 решаем балансовое уравнение стоимости продукта:

E8					
=СУММПРОИЗВ(B2:B7;E2:E7)					
	A	B	C	D	E
	Рецептурные ингредиенты	масса, кг	содержание сухих веществ, кг	энергетическая ценность, ккал	стоимость продукта, руб
2	сахар-песок		99,85	379,00	26,40
3	патока крахмальная		78,00	307,00	34,00
4	пектин цитрусовый		92,00	43,00	450,00
5	цитрат натрия		96,00	0,00	60,00
6	лимонная кислота		98,00	0,00	50,00
7	шоколадная глазурь		99,10	540,10	165,00
8	итого, кг	0	0	0	0

6. в ячейку E9 вводим значение стоимости 1 кг продукта

E9	
=E8/B8	

7. Решаем поставленную задачу с помощью надстройки «Поиск решения». По условию нам нужно оптимизировать энергетическую ценность продукта. Для этого в качестве целевой функции, которую надо оптимизировать, указываем ячейку D8 и задаем параметр оптимизации «минимум», при этом необходимо изменять ячейки данных B2:B8.

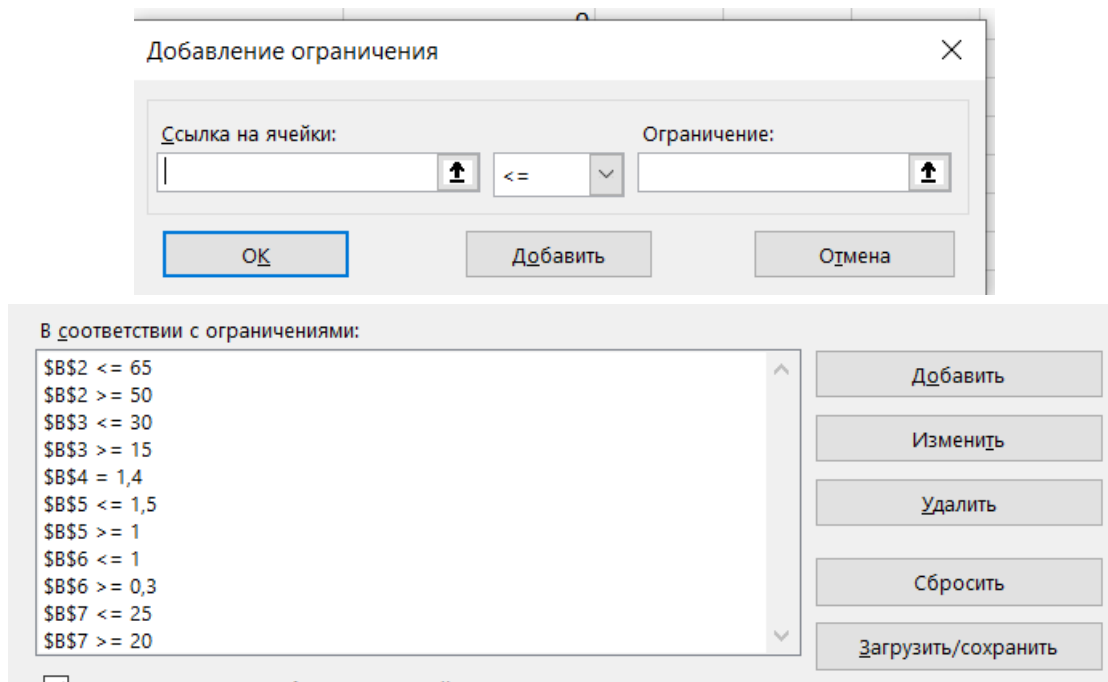
Параметры поиска решения ×

Оптимизировать целевую функцию: ↑

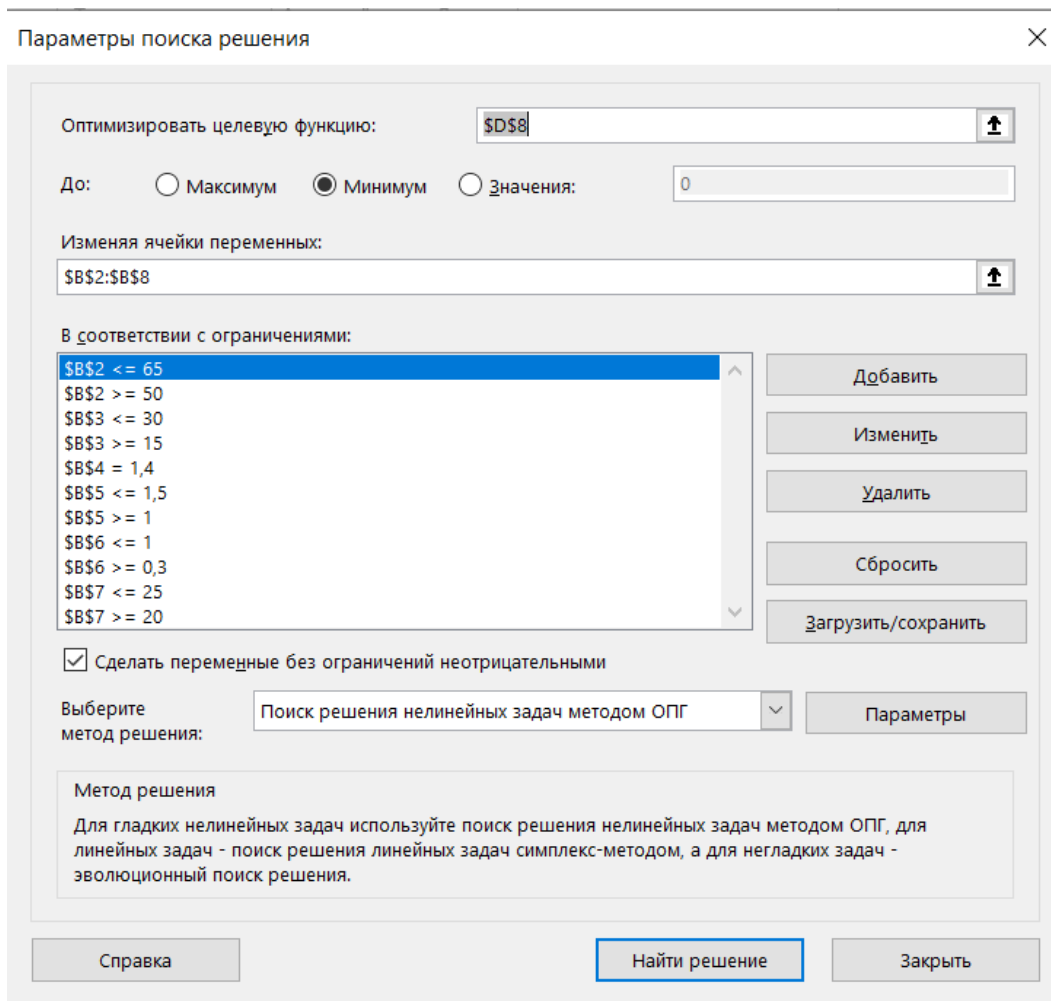
До: Максимум Минимум значения:

Изменяя ячейки переменных: ↑

Вводим ограничения. Для этого нажимаем «добавить», указываем номер ячейки, соответствующий знак и численное значение ограничения:



Выбираем метод решения «Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ»:



и нажимаем «найти решение»:

?????????? ?????? ???????

Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Сохранить найденное решение

Восстановить исходные значения

Вернуться в диалоговое окно параметров поиска решения

Отчеты

Результаты

Устойчивость

Пределы

Отчеты со структурами

ОК Отмена Сохранить сценарий..

Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Если используется модуль ОПГ, то найдено по крайней мере локально оптимальное решение. Если используется модуль поиска решений линейных задач симплекс-методом, то найдено глобально оптимальное решение.

соглашаемся с предложенным решением, нажав «ОК».

Решение найдено:

Рецептурные ингредиенты	масса, кг	содержание сухих веществ, кг	энергетическая ценность, ккал	стоимость продукта, руб
сахар-песок	50	99,85	379,00	26,40
патока крахмальная	15	78,00	307,00	34,00
пектин цитрусовый	1,4	92,00	43,00	450,00
цитрат натрия	1	96,00	0,00	60,00
лимонная кислота	0,3	98,00	0,00	50,00
шоколадная глазурь	20	99,10	540,10	165,00
итого, кг	87,7	8398,7	34417,2	5835
				66,5336374

В таблице *MS Excel* в графе «масса, кг» указана масса каждого продукта, соответствующая введенному условию. Введя дополнительно формулы пересчета на 1 кг продукта (аналогично пересчету стоимости) и выставив формат ячейки «числовой», ограничив при этом точность двумя знаками после запятой, получаемый готовую таблицу:

	A	B	C	D	E
	Рецептурные ингредиенты	масса, кг	содержание сухих веществ, кг	энергетическая ценность, ккал	стоимость продукта, руб
1	сахар-песок	50,00	99,85	379,00	26,40
2	патока крахмальная	15,00	78,00	307,00	34,00
3	пектин цитрусовый	1,40	92,00	43,00	450,00
4	цитрат натрия	1,00	96,00	0,00	60,00
5	лимонная кислота	0,30	98,00	0,00	50,00
6	шоколадная глазурь	20,00	99,10	540,10	165,00
7	итого, кг	87,70	8398,7	34417,2	5835
8	на 1 кг продукта	1,00	95,77	392,44	66,53
9					
10					

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Тема 1 "Использование современных методов моделирования рецептур и технологий в пищевой промышленности"

1. Параметрическая схема и ее характеристики
2. Классификация параметров по направленности действия на технологический процесс
3. Факторы управляющих параметров
4. Управляемые параметры: основная характеристика
5. Методы имитационного и математического моделирования
6. Система классификации математических моделей

Тема 2. Основные понятия математического моделирования и математической статистики

7. Коэффициент конкордации и методы его определения
8. Гистограмма рангов: основная характеристика, построение
9. Экспертное оценивание: основная характеристика
9. Критерий Пирсона
10. Обработка результатов экспертного оценивания
11. Коэффициент Линка - Уоллеса и способы его определения
12. Оценка различия между средними рангами факторов, включенных в одну группу.
13. Предварительная обработка экспериментальных данных: основная характеристика
14. Грубые погрешности измерений и причины их появления
15. Закон нормального распределения
16. Показатели асимметрии и эксцесса
17. Отсев грубых погрешностей с использованием критерия Стьюдента
18. Доверительная вероятность и уровень значимости
19. Расчёт величины доверительного интервала для случайной величины
20. Изменение величины доверительного интервала при увеличении доверительной вероятности
21. Формирование матрица наблюдений для проведения однофакторного дисперсионного анализа, основная идея однофакторного дисперсионного анализа

22. Установление степени влияния контролируемого фактора на изучаемый процесс.
 23. Типы практических задач, решаемые методом однофакторного дисперсионного анализа
 24. Статистические критерии, используемые для оценки влияния факторов на изучаемый технологический процесс?
 25. Формирование матрицы наблюдений для проведения многофакторного дисперсионного анализа.
 26. Оценивание существенности влияния факторов изменчивости и их взаимодействия в многофакторном дисперсионном анализе.
 27. Основной уровень и интервал варьирования фактора. Проведение эксперимента согласно матрице планирования?
 28. Воспроизводимость опытов при ПФЭ, установление значимости коэффициентов уравнения регрессии и адекватности уравнения регрессии
 29. Построение плана дробного факторного эксперимента. Дробная реплика. Недостатки присущие дробному факторному эксперименту. Обработка результатов дробного факторного эксперимента
 30. Коэффициенты, входящие в уравнение регрессии, переход от кодированных переменных к натуральным, уравнение регрессии в натуральной форме
- Тема 3. Алгоритмы решения задач при моделировании и оптимизации технологических процессов в индустрии питания
31. Информационное обеспечение пищевых технологий
 32. Формализованное описание технологий
 33. Информационные основы обеспечения качества технологий (стандартизация, метрология, сертификация)
 34. Моделирование пищевых технологий
 35. Математическое описание технологий
 36. Опыт моделирования пищевых технологий
 37. Понятие алгоритма. Строение алгоритмического процесса. Разработка алгоритма
 38. Градиент функция. Условие прекращения движения по градиенту. Вычисление значения фактора на новом шаге движения по градиенту.
 39. Проведение «крутое восхождение» по поверхности отклика. Оптимизация методом «наискорейшего спуска»
 40. Симплекс-метод: сущность. Расчет условий исходной серии опытов и каждого нового опыта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каштаева, С. В. Математическое моделирование : учебное пособие / Каштаева С. В. - Пермь : ПГАТУ, 2020. - 112 с. – URL: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=LANY-330.322.013/%D0%9A%20316-798428870>
2. Коломейченко, А.С. Математическое моделирование и проектирование : учебное пособие / Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина ; Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий - ВНИИ экономики сельского хозяйства ; Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2021. - 181 с. – URL: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=LANY-38.02.01/%D0%9A%20612-020305872>
3. Шафрай, А. В. Математическое моделирование процессов и технологических систем : учебное пособие / Шафрай А. В., Бородулин Д. М., Бакин И. А., Комаров С. С. - Кемерово : КемГУ, 2020. - 119 с. - – URL: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=LANY-519.711.3%28075.8%29/%D0%A8%20306-209443280>
4. Нуралин, Б. Н. Методы математического моделирования и параметрической оптимизации технологических процессов в инженерных расчетах : учебное пособие / Нуралин Б. Н., Кухта В. С. - Уральск : ЗКАТУ им. Жангир хана, 2017. - 285 с. - – URL: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=LANY-519.711.3%3A519.233/%D0%9D%20900-932911089>
5. Лисин, П. А. Практическое руководство по проектированию продуктов питания с применением Excel, MathCAD, Maple : учебное пособие для вузов / П. А. Лисин. — 3_е изд., испр. и доп. — Санкт_Петербург: Лань, 2022. — 260 с.
6. Кеткина, О.С. Возможности *MS Excel* для регрессионного анализа / О.С.Кеткина – Екатеринбург: УрФУ, 2020 – 43 с.