

В. А. АВРОРОВ  
Е. А. ЖИСТИН  
Н. В. МОРЯХИНА



# ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

МОДЕЛИ, МЕТОДЫ АНАЛИЗА  
И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ



«Инфра-Инженерия»

**В. А. Авроров, Е. А. Жистин, Н. В. Моряхина**

**ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ  
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ:  
МОДЕЛИ, МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ  
РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ**

Учебное пособие

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2022

УДК 664  
ББК 36-1  
А21

Р е ц е н з е н т ы :

кандидат технических наук, доцент Пензенского государственного университета архитектуры и строительства *А. И. Проскурин*;  
доктор экономических наук, профессор Пензенского государственного аграрного университета *В. М. Зимняков*

**Авроров, В. А.**

**А21** Основы проведения научных исследований: модели, методы анализа и обработки результатов экспериментов в пищевых производствах : учебное пособие / В. А. Авроров, Е. А. Жистин, Н. В. Моряхина. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 436 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-1035-9

Приведены особенности и специфика технологических процессов в пищевых производствах. Рассмотрены основные этапы НИР, порядок составления методической и рабочей программы исследований. Изложены основные сведения о факторном планировании эксперимента, постановке и проведении предварительных и отсеивающих экспериментов. Приводится анализ однофакторных и многофакторных регрессионных моделей первого и второго порядка, корреляционных моделей. Даются основные сведения о методах оптимизации процессов. Рассматриваются методы исследований технологических процессов и систем, модели и методы обоснования решений при исследовании операций. Даются основные понятия о линейном и вогнутом программировании, симплексном методе и методе потенциалов при решении задач линейного программирования. Рассматриваются виды технологической неуправляемости оборудования и методы оценки неуправляемости, вопросы имитационного моделирования и его использования в практике инженерных исследований.

Для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата: 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья», 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения», 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания», 19.00.00 «Промышленная экология и биотехнологии».

УДК 664  
ББК 36-1

ISBN 978-5-9729-1035-9

© Авроров В. А., Жистин Е. А., Моряхина Н. В., 2022  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>7</b>
<b>РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	
<b>1.1. Виды научно-исследовательских работ в пищевой промышленности</b> ....	<b>9</b>
1. Основные особенности и специфика технологических процессов пищевых производств .....	9
2. Виды и основные этапы научно-исследовательских работ .....	10
3. Выбор темы для исследовательской работы .....	12
<b>1.2. Организационно-методические вопросы НИР</b> .....	<b>13</b>
1. Подготовительный этап НИР .....	13
2. Методическая и рабочая программа НИР .....	14
<b>1.3. Характеристика моделей процессов и объектов научных исследований</b> .....	<b>17</b>
1. Виды моделей процессов и объектов .....	17
2. Некоторые способы получения моделей .....	19
<b>1.4. Организация наблюдений. Основные типы распределений случайных величин</b> .....	<b>22</b>
1. Понятия об экспериментальных наблюдениях .....	22
2. Ряды и таблицы распределений .....	26
3. Виды распределений случайных величин .....	36
<b>1.5. Организация и проведение предварительного эксперимента</b> .....	<b>60</b>
1. Понятия об ошибках измерений .....	60
2. Методы и средства измерений .....	70
3. Первичная обработка результатов наблюдений .....	100
4. Сравнение числовых характеристик случайных величин. Статистические критерии .....	106
<b>1.6. Основные сведения о факторном планировании эксперимента</b> .....	<b>128</b>
1. Задачи планирования эксперимента .....	128
2. Понятия о факторах и выходных параметрах технологического процесса .....	129
3. Правила составления матрицы планирования .....	131
<b>1.7. Анализ однофакторных регрессионных моделей</b> .....	<b>134</b>
1. Анализ линейной однофакторной регрессионной модели .....	134

2. Анализ параболической однофакторной регрессионной модели .....	141
3. Линеаризация непараболических регрессионных моделей.....	144
<b>1.8. Планирование и анализ многофакторного эксперимента.....</b>	<b>149</b>
1. Основные сведения о полном факторном эксперименте.....	149
2. Основные сведения о дробном факторном эксперименте.....	152
3. Методы отсеивания малозначимых факторов .....	154
4. Факторный анализ экспериментальных данных.....	158
<b>1.9. Построение и анализ регрессионной модели второго порядка.....</b>	<b>171</b>
1. Основные понятия о центральном композиционном эксперименте .....	171
2. Исследование регрессионной многофакторной модели второго порядка.....	176
<b>1.10. Анализ корреляционных моделей .....</b>	<b>179</b>
1. Анализ однофакторных корреляционных моделей .....	179
2. Анализ многофакторных корреляционных моделей.....	184
3. Основные сведения о корреляционном и спектральном анализе функций.....	187
<b>1.11. Основные сведения о методах оптимизации технологических процессов.....</b>	<b>193</b>
1. Задачи и методы оптимизации технологических процессов.....	193
2. Метод крутого восхождения .....	197
3. Симплексный метод оптимизации .....	200
<b>1.12. Использование численных и графических методов в экспериментальных исследованиях.....</b>	<b>205</b>
1. Графическое дифференцирование и интегрирование .....	205
2. Интерполяция экспериментальных данных .....	207
3. Методы обработки эмпирического численного материала .....	211
<b>1.13. Задачи и методы прогнозирования развития систем .....</b>	<b>215</b>
1. Основные понятия о задачах прогнозирования .....	215
2. Некоторые методы прогнозирования систем и процессов .....	216

## РАЗДЕЛ II. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<b>2.1. Основные понятия, цели и задачи моделирования и исследования операций .....</b>	<b>227</b>
---	------------

1. Основные принципы моделирования и исследования операций.....	227
2. Виды задач исследования операций.....	235
<b>2.2. Линейные модели в производстве и экономике.....</b>	<b>243</b>
1. Постановка задач линейного программирования, их геометрическая интерпретация и методы решения.....	243
2. Симплексный метод решения задач линейного программирования.....	246
3. Метод потенциалов при решении задач линейного программирования.....	249
4. Анализ балансовой модели производства.....	258
<b>2.3. Примеры постановки и построения моделей задач линейного программирования.....</b>	<b>265</b>
1. Модель задачи функционирования предприятия.....	265
2. Модель задачи выбора оптимальной технологии.....	267
3. Модель задачи оптимизации состава смеси.....	268
4. Модель задачи распределения производственной программы.....	269
<b>2.4. Моделирование управления объектами и процессами на основе принципов линейного программирования.....</b>	<b>273</b>
1. Цели, задачи и этап управления объектом или процессом.....	273
<b>2.5. Модели и методы анализа задач целочисленного линейного программирования.....</b>	<b>281</b>
1. Постановка задачи целочисленного линейного программирования.....	281
2. Методика решения задачи.....	283
<b>2.6. Введение в задачи динамического программирования.....</b>	<b>286</b>
1. Сущность метода динамического программирования.....	286
<b>2.7. Методы преодоления конфликтных ситуаций.....</b>	<b>293</b>
1. Понятие о конфликтных ситуациях и методах их преодоления.....	293
<b>2.8. Основные понятия о задачах вогнутого программирования.....</b>	<b>301</b>
1. Понятия об условном экстремуме, выпуклых и вогнутых функциях...	301
2. Постановка задачи и основные принципы вогнутого программирования.....	306
<b>2.9. Решение инженерных задач методом имитационного моделирования.....</b>	<b>308</b>
1. Сущность имитационного моделирования.....	308

## **РАЗДЕЛ III. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

<b>3.1. Принципы построения семиотических моделей .....</b>	<b>316</b>
1. Принципы построения семиотических моделей технических систем ..	316
2. Построение и анализ семиотических моделей операций.....	317
<b>3.2. Основные понятия о технологической управляемости технических объектов.....</b>	<b>321</b>
1. Виды технологической неуправляемости .....	321
2. Экспертная оценка технологической управляемости объектов.....	324
<b>3.3. Вычислительные методы в исследовательских задачах .....</b>	<b>326</b>
1. Метод конечных разностей .....	326
2. Метод конечных элементов .....	333
3. Метод базисных вариаций.....	340
4. Метод анализа размерностей .....	344
<b>3.4. Использование теории подобия при решении задач исследования операций.....</b>	<b>347</b>
1. Основные понятия теории подобия.....	347
<b>3.5. Методы исследования процесса перемешивания твердых сыпучих пищевых материалов .....</b>	<b>357</b>
1. Показатели эффективности перемешивания сыпучих материалов .....	357
2. Оптимизация состава твердых сыпучих смесей .....	360
<b>3.6. Методы поисковой оптимизации .....</b>	<b>366</b>
1. Постановка задачи оптимизации .....	366
2. Методы оптимизации при однопараметрическом локальном поиске...	367
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>370</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Статистические таблицы и критерии.....</b>	<b>372</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Практикум по основам проведения научных исследований .....</b>	<b>381</b>