

УДК 681.3.06:664  
ББК 32.98+36-36-1ся73  
МЗЗ

*Рецензенты:* В. И. Карпов, д. т. н., профессор, главный научный сотрудник  
ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К. Г. Разумовского (ПКУ)»;  
А. В. Бородин, д. т. н., профессор МГУПП

**Математическое моделирование рецептур и технологий производства пищевых  
МЗЗ продуктов** : учебник / О. Н. Красуля, С. В. Николаева, А. Е. Краснов,  
А. В. Токарев. — Санкт-Петербург : ГИОРД, 2024. — 352 с.

ISBN 978-5-98879-227-7

Учебник написан в соответствии с Государственным образовательным стандартом. Он позволит студентам освоить информационные технологии разработки моделей рецептур пищевых продуктов, методы математического моделирования функционально-технологических свойств многокомпонентных рецептур, в том числе с учётом взаимодействия их компонентов.

Издание предназначено для бакалавров и магистров высших учебных заведений. Может быть полезно студентам при выполнении курсовых и дипломных работ, аспирантам технологических, управленческих и инженерных специальностей, а также преподавателям вузов, научно-техническим и производственным специалистам отраслей АПК.

УДК 681.3.06:664  
ББК 32.98+36-36-1ся73

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	12
<b>Глава I. Моделирование рецептур и пищевых технологий</b> .....	15
1.1. Оценка качества продукции и технологии .....	15
1.2. Качество как целевая функция информационного обеспечения пищевых технологий .....	16
1.3. Квалиметрия — наука об изучении качества объекта .....	20
1.3.1. Алгоритм комплексной оценки качества объекта .....	28
1.3.2. Методы получения комплексной оценки .....	28
1.4. Основные понятия анализа и математического моделирования пищевых технологий .....	37
1.4.1. Основные понятия и термины .....	37
1.4.2. Методология и методы математического моделирования .....	44
1.4.3. Моделирование пищевых технологий в условиях информационной неопределённости .....	52
1.4.3.1. Вербальное моделирование технологий .....	53
1.4.3.2. Операторное моделирование .....	54
1.4.3.3. Нечёткие методы моделирования технологий .....	57
1.4.4. Моделирование перспектив развития пищевых технологий .....	61
1.4.4.1. Методология прогнозирования технологий .....	61
1.4.4.2. Прогнозирование технологий с использованием экспертных оценок .....	66

1.5. Методология анализа и формализации описания рецептур и пищевых технологий в условиях реального производства .....	69
1.5.1. Технология как сложная система управления .....	72
1.5.2. Информационное описание технологий, динамика их состояний .....	74
1.5.3. Структурный анализ и формализация описания пищевых технологий .....	78
1.5.3.1. <i>Обобщённое структурное описание технологических операций</i> .....	78
1.5.3.2. <i>Взаимодействие структурных элементов технологических операций</i> .....	80
1.5.3.3. <i>Формализация описания технологий</i> .....	83
1.5.4. Оптимальное управление технологиями, понятие условно-оптимального управления .....	90
1.5.4.1. <i>Принцип оптимального управления</i> .....	90
1.5.4.2. <i>Классические методы оптимального управления в детерминированных ситуациях</i> .....	92
1.5.4.3. <i>Условно-оптимальное управление</i> .....	99
1.5.5. Методология стохастического и нечёткого программирования моделей многокомпонентных смесей .....	102
1.5.5.1. <i>Стохастическое программирование</i> .....	102
1.5.5.2. <i>Задача стохастического линейного программирования</i> .....	106
1.5.5.3. <i>Нечёткое программирование</i> .....	108
1.5.6. Методология сравнительного анализа технологий .....	110
1.5.6.1. <i>Меры сравнения состояний технологий</i> .....	113
1.5.6.2. <i>Сравнение технологий в фазовом пространстве</i> .....	118
1.6. Методология прогнозирования структурных изменений технологий .....	126
Вопросы для самопроверки к главе I .....	129

<b>Глава II. Математическое моделирование рецептур и функционально-технологических свойств пищевых продуктов: модель, эксперимент, реализация.</b>	<b>130</b>
2.1. Прикладные математические модели функционально-технологических свойств рецептур пищевых продуктов	130
2.1.1. Линейные модели	131
2.1.2. Нелинейные модели	132
2.2. Сравнение частот распределения показателей состояний методом Пирсона-Фишера (хи-квадрат)	134
2.3. Прикладное моделирование технологий составления рецептур пищевых продуктов	148
2.3.1. Моделирование рецептур с равнозначными компонентами при неопределённости целевого критерия	148
2.3.2. Моделирование рецептур с выделением доминирующего компонента	153
2.3.3. Структурные факторы рецептурных смесей	160
2.3.3.1. Модель «состав — структура — свойство» гетерогенных смесей	160
2.3.3.2. Модель «состав — структура — свойство» при различных структурных факторах	164
2.4. Моделирование технологии оценки потребительских свойств сырья и пищевых продуктов с применением спектральных методов	166
2.5. Моделирование и диагностика технологий с применением симптомо- и синдромокомплексов	174
2.5.1. Проявление симптомов, их шкалы и степени выраженности	175
2.5.2. Логические оценки понятий симптомо- и синдромокомплексов	178

2.5.3. Количественные оценки симпто- и синдромокомплексов .....	179
2.6. Моделирование и прогнозирование технологий экструдирования на основе учёта их физических закономерностей. ....	182
Вопросы для самопроверки к главе II .....	195
<b>Глава III. Моделирование органолептической оценки качества продуктов с применением методов сравнительного анализа .....</b>	<b>196</b>
3.1. Алгебраический подход к обработке оценок органолептических показателей качества продуктов .....	201
3.2. Нечёткие меры сходства образца и эталона .....	204
3.2.1. Эвристический подход. ....	204
3.2.2. Оптимизационный подход .....	205
Вопросы для самопроверки к главе III .....	211
<b>Глава IV. Экономические модели технологических объектов .....</b>	<b>213</b>
4.1. Оптимизационное моделирование производственного плана выпускаемой продукции в условиях ограниченности сырьевых ресурсов .....	213
4.2. Моделирование и анализ инвестиционных проектов и потоков с целью их отбора .....	217
4.3. Математическое моделирование и прогнозирование прибыли предприятия .....	232
Вопросы для самопроверки к главе IV .....	237

<b>Глава V. Разработка экспертных систем для моделирования рецептур и управления технологиями пищевых продуктов в условиях реального производства</b>	<b>238</b>
5.1. Назначение и строение экспертных систем	238
5.1.1. Основные понятия экспертной системы и важность её разработки	238
5.1.2. Отличия экспертной системы от прочих программ искусственного интеллекта и прикладных программ.	240
5.1.3. Преимущества и недостатки экспертной системы перед человеком-экспертом	241
5.1.4. Моделирование технологий с применением экспертных систем	244
5.1.4.1. Моделирование технологий с применением баз данных	244
5.1.4.2. Пример интерфейса экспертной системы	247
5.1.5. Типы экспертных систем и их структуры	250
5.1.6. Классификация экспертных систем	259
5.1.7. Коэффициент доверия в экспертных системах	263
5.2. Разработка экспертной системы	265
5.2.1. Необходимый коллектив специалистов для разработки экспертной системы.	266
5.2.2. Возможность и оправданность создания экспертной системы.	267
5.2.3. Инструментальные средства для проектирования и разработки экспертных систем	268
5.2.4. Этапы разработки экспертных систем	271
5.2.5. Простой алгоритм для формирования базы знаний экспертной системы.	273

5.3. Методология и алгоритмы прогнозирования новых технологий (инноваций) с применением экспертной системы «FORECASTER» .....	275
5.3.1. Основы методологии функционирования системы .....	275
5.3.2. Базовые алгоритмы функционирования системы .....	276
5.3.2.1. Методика вычисления ранговых кривых (Ципфа) .....	279
5.3.2.2. Методика вычисления «продвинутой» областей знаний ....	280
5.3.2.3. Методика построения и вычисления «атласов науки» .....	280
5.3.2.4. Методика построения векторов тенденций развития интересующих научных проблем .....	284
5.3.3. Функциональный интерфейс системы .....	288
5.4. Экспериментальное исследование моделей рецептур и пищевых технологий .....	293
5.4.1. Моделирование функционально-технологических свойств и разработка программы оптимизации рецептур на основе нечёткого регрессионно-факторного анализа. ....	293
5.4.2. Программный комплекс с элементами искусственного интеллекта управления и контроля качества рецептур пищевых продуктов в условиях реального производства. ....	301
5.5. Пример разработки гибридной экспертной системы для моделирования рецептур и технологий пищевых продуктов .....	309
5.5.1. Постановка задачи .....	310
5.5.2. Структурные блоки гибридной экспертной системы и их назначение. ....	311
5.5.2.1. Разработка базы данных гибридной экспертной системы ....	313
5.5.2.2. Разработка базы знаний гибридной экспертной системы ....	317
5.5.2.3. Разработка математического аппарата гибридной экспертной системы для получения оптимальных рецептурных смесей пищевых продуктов. ....	323

5.5.2.4. Разработка прототипа экспертной системы для оценки качества рецептурных смесей пищевых продуктов в условиях реального времени . . . . .	327
5.6. Пример использования гибридной экспертной системы для расчёта оптимальных рецептур пищевых продуктов (на примере мясоперерабатывающего предприятия) . . . . .	329
5.7. Программный комплекс для решения технологических задач на предприятиях мясной и рыбной промышленности . . . . .	335
Вопросы для самопроверки к главе V . . . . .	339
<b>Приложение . . . . .</b>	<b>340</b>
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>343</b>