

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный биотехнологический университет»
(РОСБИОТЕХ)

24-893

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г.,
Крылова Л.А., Благовещенская М.М.

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ
И АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КЕФИРА**

24-00893

монография

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный биотехнологический университет»
(РОСБИОТЕХ)**

**Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г.,
Крылова Л.А., Благовещенская М.М.**

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ, МЕТОДОВ
И АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КЕФИРА**

монография

Москва – 2023

УДК 663.8:664-4:62-52

ББК 36.95

Б 68

Рецензенты:

Шкапов П.М., зав. кафедрой «Теоретическая механика» МГТУ им. Н.Э. Баумана,
д-р техн. наук, профессор;

Громов Ю.Ю., директор Института «Автоматика и информационные технологии»
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
д-р техн. наук, профессор.

Б68 Благовещенский И.Г.

Разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира: монография/ И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, М.М. Благовещенская. — Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2023. — 216 с.

ISBN 978-5-907776-06-7

В монографии рассматривается проблема повышения эффективности производства кефира и стабилизация его качества на основе научного обоснования и разработки интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира в процессе производства, обеспечивающей получение готового напитка с заданными свойствами. Проведен анализ процесса производства кефира как объекта автоматизации и на его основе определены необходимые точки контроля и регулирования. Выбраны основные факторы, формирующие качество готового кефира. Осуществлен выбор основных органолептических показателей качества кефира. Рассмотрены существующие методы и средства их контроля. Поставлена задача автоматизации контроля в потоке этих показателей качества с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС), системы компьютерного зрения (СКЗ) и реологических методов. Проанализирована структура цехов производства кефира как логико-математического объекта имитационного моделирования. Разработаны мультиагентные имитационные модели всех основных этапов производства кефира, позволившие выявить узкие места на различных этапах его производства. На основе полученных имитационных моделей разработана интеллектуальная подсистема поддержки принятия решений для автоматизации, идентификации и выявления проблемных зон производства кефира. Разработаны функциональные схемы автоматизации всех стадий производства кефира с использованием современных интеллектуальных технологий. Поставлена и решена задача создания средств автоматического контроля в потоке внешнего вида, цвета, вкуса и консистенции кефира с применением нейросетевых технологий, компьютерного зрения, мультиагентного моделирования и реологических методов. Разработано алгоритмическое, математическое и программное обеспечение автоматического контроля данных органолептических показателей кефира в процессе его приготовления. Показаны технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира. Разработан комплекс специализированного программного обеспечения для расчета показателей качества кефира.

Монография предназначена для специалистов и руководителей, научных и практических работников, занимающихся проблемами автоматизации процессов производства кефира, а также может быть использована в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов пищевого профиля.

ISBN 978-5-907776-06-7

УДК 663.8:664-4:62-52

ББК 36.95

© Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г.,
Крылова Л.А., Благовещенская М.М., 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КЕФИРА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	15
1.1. Анализ технологического процесса производства кефира	15
1.2. Характеристика этапов, стадий и материальных потоков технологического процесса производства кефира	16
1.3. Состав и пищевая ценность кефира	20
1.4. Идентификация качества кефира	21
1.5. Показатели, формирующие качество кефира	24
1.5.1. Сырье, используемое для производства кефира	24
1.5.2. Параметры и режимы проведения процессов производства кефира	27
1.6. Методы и средства контроля показателей качества кефира	29
1.6.1. Существующие методы и средства органолептического контроля показателей качества кефира	29
1.6.2. Контроль показателей качества кефира инструментальными методами	32
1.6.3. Существующие методы и средства микробиологического контроля показателей качества кефира	34
1.6.4. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества, подлежащих автоматическому контролю при производстве кефира	37
1.7. Применение нейросетевых технологий для определения качества кефира	38
1.8. Использование системы компьютерного зрения для определения качества кефира	41
1.9. Выводы по 1 главе	44
Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ТП ПРОИЗВОДСТВА КЕФИРА	45
2.1. Обоснование потребности в имитационном моделировании производства кефира	45
2.2. Имитационное моделирование производства кефира на молочном предприятии	48
2.2.1. Структура производства кефира как логико-математического объекта имитационного моделирования	48
2.2.2. Описание среды разработки	53

2.2.3. Разработка информационно- аналитической мультиагентной системы имитационного моделирования производства молока – основного сырья производства кефира	53
2.2.3.1. Моделирование процесса приемки молока	54
2.2.3.2. Моделирование участков обработки, хранения и переработки молока	65
2.2.3.3. Разработка мультиагентной имитационной модели аппаратно-сырьевого цеха	80
2.2.4. Разработка мультиагентной имитационной модели производства кефира.....	82
2.2.4.1. Мультиагентная модель, имитирующая поведение молочного танка MilkTank	89
2.2.4.2. Мультиагентная модель, имитирующая работу гомогенизатора Homogenizer.....	91
2.2.4.3. Мультиагентная модель, имитирующая работу агента – пастеризатора Pasteurizer	92
2.2.4.4. Мультиагентная модель выработки закваски, имитирующая работу агента – Fermenter	92
2.2.4.5. Мультиагентная модель работы агента – MixTank, имитирующая работу оборудования для сквашивания кефира и его созревания... ..	94
2.2.4.6. Мультиагентная модель работы агента – Packager, имитирующая работу участка розлива и упаковки кефира.....	96
2.2.4.7. Диаграммы статусов.....	97
2.2.4.8. Мультиагентная модель производства кефира	98
2.3. Экспериментальные исследования с модулями имитационной модели производства кефир	99
2.4. Разработка структурно – параметрических моделей основных стадий ТП производства кефира.....	107
2.4.1. Модели процесса приемки молока и подготовки его к производству кефира.....	107
2.4.2. Разработка структурно – параметрической модели процесса охлаждения молока	108
2.4.3. Модели процесса нормализации молока по жиру.....	111
2.4.4. Разработка структурно – параметрической модели процесса гомогенизации	114
2.4.5. Разработка структурно – параметрической модели процесса пастеризации.....	116
2.4.6. Разработка структурно – параметрической модели процессов заквашивания, сквашивания и созревания кефира.....	117
2.4.7. Модель процесса розлива кефира	125

2.5. Выводы по 2 главе.....	127
Глава 3. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОСНОВНЫХ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КЕФИРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	128
3.1. Возможность и технологии автоматического контроля основных органолептических показателей качества кефира	128
3.2. Автоматизация контроля в потоке внешнего вида и цвета кефира	131
3.2.1. Теоретические аспекты автоматизации контроля внешнего вида и цвета кефира с использованием СКЗ	131
3.2.2. Алгоритм проведения анализа и обработки изображений внешнего вида и цвета кефира	133
3.2.3. Выбор метода предобработки изображений различных видов кефира	142
3.2.4. Методика и алгоритмы обработки и анализа изображений внешнего вида и цвета кефира	146
3.2.5. Разработка программного комплекса для обработки изображений внешнего вида и цвета кефира.....	157
3.2.6. Модуль (программно- аппаратный комплекс) автоматического контроля внешнего вида и цвета кефира	162
3.2.7. Блок - схема алгоритма принятия решения на соответствие внешнего вида и цвета кефира эталонному значению	164
3.3. Автоматизация контроля в потоке вкуса кефира.....	165
3.3.1. Нейросетевая модель контроля вкуса кефира	166
3.3.2. Основные этапы решения задачи построения виртуального датчика автоматического контроля в потоке вкуса кефира.....	167
3.3.3. Модуль автоматического контроля в потоке вкуса кефира	172
3.4. Разработка устройства для автоматического контроля в потоке вязкости кефира.....	174
3.5. Система автоматического регулирования вязкости кефира.....	179
3.6. Выводы по 3 главе.....	180
Глава 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КЕФИРА	182
4.1. Цели создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК)	182
4.2. Задачи интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира	183

4.3. Свойства и структура интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кефира (ИАСКУКК)	184
4.4. Основные этапы построения и проектирования ИАСКУКК.....	185
4.5. Функциональная модель работы ИАС КиУ КК.....	188
4.6. Создание комплекса программного обеспечения (ПО) для расчета показателей качества кефира	191
4.7. Выводы по 4 главе.....	195
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.....	196
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ	198
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	199