

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА»)

24-3690

В.Г. Благовещенский

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
КОНТРОЛЯ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ
И СОЗДАНИЕ НА ИХ БАЗЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

24-03690

монография

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА»)

В.Г. Благовещенский

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
КОНТРОЛЯ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ
И СОЗДАНИЕ НА ИХ БАЗЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

монография

Москва – 2024

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 «Гамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, профессор.

Б68 Благовещенский В.Г.

Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления: монография / В.Г. Благовещенский. – Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2024. – 422 с.

ISBN 978-5-907857-40-7

В монографии рассматривается проблема повышения эффективности производства кондитерской продукции на основе научного обоснования и разработки типовой интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством готовых изделий. Проведен анализ процессов производства кондитерской продукции как объектов автоматизации и на этой основе определены необходимые точки контроля и регулирования. Осуществлен выбор основных органолептических показателей качества исследуемой продукции и построены органолептические профили исследуемой продукции. Определена перспективность интеллектуальных технологий в решении задач создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством. Разработаны структурно-параметрические, математические, ситуационные и имитационные модели основных этапов технологических процессов производства кондитерской продукции различной структуры, являющихся основой разработки интеллектуальной системы, позволяющей прогнозировать ход протекающих процессов и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования. Созданы методы, способы, алгоритмы, математическое и программное обеспечение средств автоматического контроля в режиме реального времени органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий на базе интеллектуальных методов и технологий. Разработано новое поколение интеллектуальных средств автоматизации контроля основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции в режиме реального времени. Разработаны методологические основы создания моделей цифровых двойников производства кондитерских изделий. Разработана концепция создания интеллектуальной автоматизированной системы контроля и управления качеством кондитерской продукции. Разработаны основные виды обеспечения этой системы: информационное, математическое и программное. Представлены технические решения для ее реализации.

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 978-5-907857-40-7

УДК 663.8:664-4:62-52

ББК 36.95

© Благовещенский В.Г., 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ТП) ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	19
1.1. Выбор наиболее типичных ТП производства кондитерской продукции...	19
1.2. Рассмотрение процессов приготовления конфет	21
1.2.1. Процесс приготовления шоколада.....	21
1.2.2. Процесс приготовления помадных и пралиновых конфет.....	27
1.2.3. Процесс приготовления сбивных конфет	31
1.2.4. Процесс приготовления халвы.....	37
1.2.5. Процесс приготовления мармелада.....	46
1.2.6. Процесс приготовления карамели	50
1.2.7. Процесс приготовления зефира	54
1.2.8. Процесс приготовления козинак.....	58
1.2.9. Процесс приготовления драже.....	61
1.2.10. Процесс приготовления ириса	64
1.3. Классификация основных операций ТП производства кондитерской продукции и выбор факторов, определяющих эффективность этих операций	70
1.4. Выявление наиболее важных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой кондитерской продукции, контролируемых на каждой стадии производства конфет.....	73
1.5. Системный анализ и формулирование проблемы	75
1.5.1. Разработка структуры целей	75
1.5.2. Создание системной диаграммы решения проблемы.....	79
1.5.3. Разработка концептуальной структурно- динамической модели системы управления качеством кондитерской продукции в процессе производства	83
1.6. Разработка стратегической карты и критериев управления.....	84
1.7. Выводы по 1 главе	88
ГЛАВА 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ, АЛГОРИТМОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АСУ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙПРОДУКЦИИ	91
2.1. Проблемы управления технологическими процессами производства кондитерских изделий и пути их преодоления.....	91

2.2. Оценка возможностей практического применения различных классических методов, алгоритмов и классов автоматизированных систем для управления ТП производством кондитерской продукции	92
2.3. Анализ особенностей использования методов искусственного интеллекта в решении задач автоматизации контроля и управления качеством производства кондитерской продукции	94
2.3.1. Общая характеристика методов искусственного интеллекта	94
2.3.2. Интеллектуальные информационные системы как важнейшее направление искусственного интеллекта. Особенности. Признаки. Функции. Специфика использования	102
2.3.3. Перспективы использования интеллектуальных технологий и систем в решении задач интеллектуализации кондитерской промышленности	105
2.3.4. Анализ возможности интеллектуализации системы контроля и управления качеством производства кондитерской продукции	116
2.4. Выводы по 2 главе	117

ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ В ПОТОКЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ.....

3.1. Современное состояние методов и систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях	119
3.1.1 Понятие качество продукции	119
3.1.2. Современное состояние систем контроля и управления качеством продукции на промышленных предприятиях	120
3.1.3. Управление производством кондитерской продукции	122
3.1.4. Анализ существующих методов, способов и средств контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции	125
3.2. Выбор наиболее важных органолептических показателей качества кондитерской продукции, подлежащих автоматическому контролю в потоке на каждой стадии производства	130
3.3. Оценка возможности использования новых инструментальных методов и средств контроля в интеллектуальных системах управления качеством кондитерской продукции	130
3.4. Автоматизация контроля в потоке основных органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий	137
3.4.1. Постановка задачи автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества кондитерской продукции в процессе производства	137
3.4.2. Автоматизация контроля коэффициента извлечения примесей в сырье (на примере семян подсолнечника)	138

3.4.3. Автоматизация контроля в потоке внешнего вида сырья (на примере семян подсолнечника) с использованием гибридных методов и технологий.....	154
3.4.4. Автоматизация контроля угла естественного откоса.....	161
3.4.5. Автоматизация определение блеска поверхности кондитерских изделий.....	165
3.4.6. Автоматизация контроля в потоке формы кондитерских изделий (на примере пористого шоколада и карамели).....	171
3.4.7. Автоматизация контроля консистенции и текстуры кондитерских масс.....	176
3.4.8. Автоматизация контроля вкуса.....	187
3.4.9. Автоматизация контроля запаха.....	191
3.4.10. Автоматизация контроля цвета.....	196
3.4.11. Автоматизация контроля вязкости кондитерских масс.....	199
3.5. Выводы по 3 главе.....	212
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ.....	215
4.1. Структурно – параметрические и математические модели процессов производства кондитерской продукции.....	215
4.1.1. Методология построения структурно – параметрических моделей (СПМ) основных стадий производства кондитерской продукции.....	216
4.1.2. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) основных стадий ТП производства пралиновых и помадных конфет.....	217
4.1.3. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) основных стадий ТП производства халвы.....	223
4.1.4. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства шоколадных масс.....	232
4.1.5. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства сбивных конфет.....	250
4.1.6. Структурно – параметрические и математические модели (СПММ) ТП производства мармелада.....	258
4.1.7. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства карамели.....	265
4.1.8. Структурно – параметрические и математические модели производства зефира.....	271
4.1.9. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства козинак.....	277

4.1.10. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства драже	283
4.1.11. Структурно – параметрические и математические модели ТП производства ириса.....	288
4.2. Ситуационное моделирование ТП производства кондитерской продукции	293
4.2.1. Анализ ТП производства кондитерской продукции с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества на всех стадиях производства	293
4.2.2. Анализ ТП производства помадных конфет с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества этих конфет на всех стадиях производства	294
4.2.3. Ситуационное моделирование ТП производства помадных конфет ..	299
4.2.4. Анализ ТП производства халвы с использованием матрицы экспертных оценок влияния входных параметров на показатели качества халвы на всех стадиях производства.....	300
4.2.5. Ситуационное моделирование ТП производства халвы	306
4.2.6. Ситуационное моделирование ТП производства шоколада.....	307
4.2.7. Ситуационное моделирование ТП производства сбивных конфет.....	310
4.2.8. Ситуационное моделирование ТП производства мармелада	312
4.2.9. Ситуационное моделирование ТП производства карамели.....	314
4.2.10. Ситуационное моделирование ТП производства зефира.....	316
4.2.11. Ситуационное моделирование ТП производства козинак	318
4.2.12. Ситуационное моделирование ТП производства драже	320
4.2.13. Ситуационное моделирование ТП производства ириса.....	321
4.3. Мультиагентное имитационное моделирование процесса производства кондитерской продукции с использованием ПО AnyLogic	323
4.3.1. Обоснование необходимости имитационного моделирования производства кондитерской продукции	323
4.3.2. Мультиагентная имитационная модель процесса производства халвы с использованием ПО AnyLogic.....	324
4.3.3. Мультиагентная имитационная модель процесса производства мармелада с использованием ПО AnyLogic	329
4.4. Выводы по 4 главе	337
ГЛАВА 5. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ИХ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ, МАТЕМАТИЧЕСКИХ, СИТУАЦИОННЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ	338
5.1. Понятие цифровых двойников	338

5.2. Анализ проблемы разработки и использования в кондитерской промышленности цифровых двойников	340
5.3. Основные подходы к созданию и использованию цифровых двойников производства кондитерских изделий	341
5.3.1. Место цифровых двойников в цифровизации кондитерской промышленности	341
5.3.2. Цифровой двойник изделия: технологии разработки.....	345
5.3.3. Анализ подходов к созданию цифровых двойников производства кондитерских изделий.....	350
5.3.4. Примеры применения цифровых двойников на разных этапах жизненного цикла производства кондитерских изделий	356
5.4. Научная база создания цифровых двойников производства кондитерских изделий.....	358
5.5. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства кондитерской продукции (на примере линии производства шоколада)	366
5.5.1. Постановка задачи	366
5.5.2. Функциональные возможности цифрового двойника.....	367
5.5.3. База для описания цифрового двойника в рамках единой технологической системы управления производством шоколада с использованием формата AUTOMATIONML	370
5.5.4. Применение разработанного комплекса инструментальных средств для создания ЦД процессов производства шоколада	375
5.6. Выводы по 5 главе	382

ГЛАВА 6. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ КОНДИТЕРСКОЙ ПРОДУКЦИИ..... 384

6.1. Обобщенная функциональная структура ИАСКиУК кондитерской продукции и основные этапы ее реализации	384
6.1.1. Информационная инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции	386
6.2. Математическая инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции.....	389
6.2.1. Программная инфраструктура обеспечения ИАСКиУК кондитерской продукции	391
6.3. Основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства кондитерской продукции.....	394
6.4. Подбор технических средств для реализации ИАСКиУК кондитерской продукции.....	395

6.5. Выводы по 7 главе	397
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ	399
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	402
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	404