

**ОТЗЫВ  
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, профессора Шкапова Павла Михайловича  
на диссертационную работу Благовещенского Владислава Германовича  
на тему «**Интеллектуальная автоматизированная система  
управления качеством халвы с использованием гибридных  
методов и технологий**», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности **05.13.06** – «Автоматизация  
и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой  
промышленности)»

**Актуальность диссертационного исследования**

Диссертация В.Г. Благовещенского посвящена созданию интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий и разработке технических решений для реализации предложенных методов, моделей, способов и результатов моделирования технологических процессов производства халвы на действующем кондитерском предприятии.

**Актуальность темы** обоснована. Кондитерская промышленность занимает ведущее место среди многих отраслей агропромышленного комплекса (АПК). В настоящее время методы оценки качества кондитерской продукции субъективны и далеки от совершенства, поскольку эта оценка осуществляется органолептическим путем с использованием методов дегустационного анализа. Органолептический анализ обладает рядом сложностей и носит субъективный характер. Ввиду повышения требований к качеству и конкурентоспособности выпускаемых отечественных продуктов питания, повышается важность объективности оценки качества кондитерских изделий за счет создания и внедрения в производственных процесс интеллектуальных автоматизированных систем управления, оснащенных современными средствами непрерывного автоматического контроля в потоке органолептических показателей качества конфет с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий: искусственных нейронных сетей, методов мультиагентного моделирования и систем компьютерного зрения. Предложенный диссертантом подход позволит: автоматизировать ручные процессы управления с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий; обеспечить систему динамически развивающейся базой данных и знаний; вести мониторинг хода технологических процессов производства халвы; прогнозировать и регулировать качество получаемого

продукта; существенно уменьшить уровень брака; снизить потери рабочего времени, сырья и энергии. Представленная диссертационная работа направлена на исследования и решение данных задач, чем и определяется важность и актуальность ее темы.

### **Содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа Благовещенского В.Г. состоит из введения, 5 глав, заключения, списка используемой литературы, включающей 117 наименований и двух приложений. Основное содержание работы изложено на 218 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 29 таблиц и 2 акта внедрения.

**Первая глава** посвящена системному анализу технологического процесса производства халвы как объекта автоматизации с формализацией особенностей данного процесса (с.19, п.1.1). В рамках этой главы выявлены, обобщены, систематизированы и проанализированы особенности данного процесса, дана характеристика основных стадий и материальных потоков при производстве подсолнечной халвы. Проведен выбор основных факторов процесса производства халвы, определяющих эффективность этих операций и технологического процесса в целом (с.25 – 28, п.1.1.3, таблица 1.1).

Изучено влияние параметров качества сырья на качество полуфабрикатов и готовых конфет халвы в процессе производства (с. 28 – 36, п. 1.1.4).

Проведен всесторонний анализ параметров, оказывающих влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий. Проанализировано их влияние на ход каждой стадии производства подсолнечной халвы. На основании полученных результатов диссертантом разработана функционально – структурная схема влияния факторов исходного сырья, промежуточных операций на качество готовых конфет халвы на всех стадиях процесса производства (рисунок 1.7).

Выявлены необходимые точки контроля и регулирования (п.1.1.5). Разработана функционально – структурная схема формирования потока качества подсолнечной халвы на всех этапах ее производства с указанием необходимых точек контроля и регулирования (рисунок 1.8).

Выбраны и обоснованы наиболее информативные органолептические показатели контроля качества используемого сырья (семян подсолнечника): внешний вид: размер, цвет, состояние поверхности, целостность; коэффициент извлечения примеси при очистке и сепарировании сырья, которые необходимо определять непрерывно в

ходе технологического процесса подготовки сырья к производству халвы.

Показано, что существующие в настоящее время методы оценки органолептических показателей качества халвы субъективны и определяются только путем лабораторных измерений. Рассмотрены и проанализированы существующие новые инструментальные методы и системы контроля этих показателей качества (44 – 51, п.1.2.4). Сделано заключение о невозможности использования имеющихся методов и средств для автоматизации контроля вышеуказанных органолептических показателей качества в потоке и сделан вывод о необходимости разработки методов и средств автоматического контроля в потоке следующих органолептических показателей: коэффициента извлечения из сырья примесей; а также внешнего вида (цвета сырья, полуфабрикатов и готовой не глазированной халвы; формы семян подсолнечника, халвы; состояния поверхности; целостности).

Проанализировано современное состояние методов и систем управления качеством продукции на промышленных предприятиях (п.1.3), а также существующие на кондитерских предприятиях системы управления качеством пищевой продукции (п.1.4). Выявлено, что для управления технологическими процессами по показателям качества в условиях частой смены исходной информации целесообразно использовать интеллектуальные методы и средства, необходимые для автоматизации контроля и управления качеством халвы.

Осуществлен системный анализ и сформулированы проблемы данного исследования. Разработана структура целей, создана системная диаграмма решения проблемы, разработана концептуальная структурно-динамическая модель системы управления качеством халвы в процессе производства (п.1.5, с.59 – 70).

С учетом проведенного всестороннего анализа проблемы автоматизации управления качеством халвы, в данной работе предлагается ее решение на основе разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством производства халвы с использованием нейросетевых методов и технологий, системы технического зрения и имитационного моделирования.

**Вторая глава** посвящена системному анализу методов, алгоритмов и технологий для их использования при разработке интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.

Показано, что практической базой для реализации этой проблемы, в условиях нестабильности качества поступающего на производство сырья,

влияния многочисленных факторов и режимных параметров используемого оборудования на процесс производства халвы, может стать создание автоматизированной системы управления качеством халвы с применением искусственного интеллекта, включающего в свой арсенал нейросетевые технологии, динамическую экспертную систему, системы компьютерного зрения, имитационное моделирование и эффективное сочетание этих методов.

В рамках этой главы рассмотрены проблемы управления технологическими процессами производства халвы и пути их преодоления (п.2.1).

Проведен анализ возможности использования методов искусственного интеллекта в решении задач интеллектуализации управления качеством производства халвы (п.2.2).

Рассмотрены особенности, признаки, функции и специфика использования выбранных для решения намеченных диссертантом задач интеллектуальных информационных систем (п.2.3). Проведен анализ перспективности использования нейросетевых технологий, генетических алгоритмов, экспертных систем, систем компьютерного зрения и мультиагентных имитационных моделей в решении задач интеллектуализации управления качеством производства халвы. Показаны перспективы интеллектуализации системы управления качеством производства халвы с использованием гибридных методов этих технологий.

**Третья глава** посвящена описанию экспериментальных исследований и разработке на их базе имитационных, структурно-параметрических, математических и ситуационных моделей основных этапов процессов производства подсолнечной халвы.

Проведен анализ технологических процессов производства халвы методом мультиагентного имитационного моделирования с использованием программного обеспечения (ПО) AnyLogic. Разработана имитационная модель всего процесса производства халвы, а также модель производства халвы в виде двумерной графики (п.3.1, с.98 – 103).

В данной главе также показаны данные проведенного опроса экспертов-технологов кондитерских предприятий по оценке влияния входных параметров на показатели качества халвы на всех стадиях производства с использованием матрицы экспертных оценок. В результате проведенных исследований сделан выбор параметров, оказывающих наибольшее влияние на качество сырья, полуфабрикатов и готовой халвы

на всех этапах его производства (п.3.2, с. 103 – 111).

Выполнено структурно – параметрическое моделирование и разработаны параметрические и математические модели всех этапов производства халвы.

Разработана ситуационная модель качества каждого этапа производства халвы и на основе анализа полученных результатов разработана ситуационная модель процессов всего производства халвы (п.3.4).

Полученные в данной главе имитационные, ситуационные, параметрические и математические модели всех этапов производства халвы явились основой создания интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы в процессе производства.□

**В четвертой главе** показана возможность применения интеллектуальных технологий для автоматического контроля в потоке основных органолептических показателей качества семян подсолнечника, полуфабрикатов и готовой халвы. А также показаны разработанные на их основе функциональные схемы автоматизации основных технологических процессов производства халвы.

Разработан модуль (программно-аппаратный комплекс) автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей и внешнего вида семян подсолнечника, Показана перспектива использования системы технического зрения (СТЗ) для автоматизации контроля данных показателей качества сырья при производстве подсолнечной халвы. Представлено техническое обеспечение системы технического зрения (п.4.2, с. 132 – 156).

Разработано программное обеспечение созданного модуля (программно- аппаратного комплекса) автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей при сепарировании семян подсолнечника с использованием библиотека OpenCV. Определены оптимальные места монтажа и расположения системы компьютерного зрения (СКЗ) в линии производства подсолнечной халвы (рис.4.7). Представлен необходимый состав и структурное обеспечение системы компьютерного зрения (рис.4.9).

Разработан алгоритм распознавания СКЗ внешнего вида семян подсолнечника с использованием нейросетевых технологий (рис. 4.13). Показана структурная организация модуля автоматического контроля в потоке внешнего вида семян подсолнечника (п. 4.2.3).

Приведены и проанализированы существующие схемы и архитектуры нейросетевого управления. Показано, что для решения задач

управления процессом производства подсолнечной халвы необходимо применение многослойных нейронных сетей. Для управления качеством халвы в процессе производства обоснована рекомендация использования нейронных регуляторов, использующих алгоритм обратного распространения (п. 4.3).

Разработана схема системы мониторинга и управления процессом сепарирования семян подсолнечника и автоматического контроля в потоке содержания лузги, позволяющая анализировать качество сырья по органолептическим параметрам с помощью системы компьютерного зрения и управлять процессом сепарирования семян подсолнечника с использованием нейроконтроллера, включающего нейросетевой блок, блок анализа данных и блок управления (п.4.3.2).

Представлены функциональные схемы автоматизации (ФСА) основных стадий производства халвы с новыми решениями по автоматизации контроля основных органолептических показателей качества семян подсолнечника, полуфабрикатов и готовых конфет халвы с использованием нейросетевых технологий и систем технического зрения, что позволит повысить эффективность исследуемого производства.

В **пятой главе** представлены технические решения для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы (ИАСУКХ) в процессе производства.

Показаны основные задачи ИАСУКХ и общие требования к разрабатываемой системе. Даны основные этапы ее реализации (п.5.1).

Разработана обобщенная функциональная структура ИАСУКХ (рисунок 5.1). Проработана методология управления качеством в условиях многоэтапного производства халвы.

Разработаны основные виды обеспечения ИАСУКХ: информационное, математическое и программное (п.5.3, с. 176 – 183).

Разработаны основные этапы методики принятия решений о качестве готовых изделий в процессе производства халвы (п.5.4). Для реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы осуществлен подбор необходимых технических средств (п.5.5, с.184 – 188).

Разработанные методы, модели, алгоритмы, структуры и программы прошли апробацию и были переданы для внедрения в кондитерский цех ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры».

Результаты работы также внедрены в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств»

на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами».

В **заключении** работы обобщаются полученные результаты, приводятся выводы по диссертационной работе.

Представленные материалы позволяют достаточно полно оценить объем и сложность проведенного исследования.

Автореферат в должной мере отражает содержание диссертации.

Следует отметить, что автор при написании диссертации использовал 117 литературных источников. Из них 11 являются зарубежными. Автор использовал 10 диссертаций по различным предметным областям исследований (управление качеством на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности; сенсометрические методы в оценке качества пищевых продуктов; методы анализа изображений в системах технического зрения; использование нейросетевых технологий; создание интеллектуальных экспертных систем контроля качества пищевых масс; технологии кондитерского производства и др.), 33 учебника и учебных пособия, 20 монографий, 19 статей в научных журналах, 3 официальных нормативных документа РФ, 31 статью в сборниках трудов конференций.

#### **Основные научные результаты диссертационного исследования**

Диссертант В.Г. Благовещенский в процессе исследований получил ряд новых научных результатов, среди которых следует отметить следующие:

- Разработаны и предложены новые функционально структурные схемы (ФСС) формирования качества подсолнечной халвы с указанием необходимых точек контроля и регулирования, а также функциональные схемы автоматизации (ФСА) всех этапов производства халвы с включением в них интеллектуальных датчиков контроля органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.
- На основе структурно - параметрического и мультиагентного имитационного моделирования разработаны имитационные, параметрические, математические и ситуационные модели основных стадий ТП производства халвы.
- Разработаны с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) и систем технического зрения (СТЗ) интеллектуальные модули автоматического контроля в потоке коэффициента извлечения примесей в семенах подсолнечника и внешнего вида семян (размер, цвет,

состояние поверхности, целостность) в режиме реального времени.

- Предложена и обоснована методика построения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий (искусственных нейронных сетей, мультиагентного имитационного моделирования и системы технического зрения).

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций работы**

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается использованием методов системного анализа и теории принятия решений. Обоснованность результатов подтверждена экспериментальными исследованиями технологических процессов производства подсолнечной халвы, проведенными в производственных условиях ОАО «Рот-Фронт» Холдинга «Объединенные кондитеры», а также обеспечивается совпадением расчетных данных и результатов эксперимента.

#### **Теоретическая и практическая значимость выводов и результатов**

Теоретическая значимость заключается в исследовании процесса производства подсолнечной халвы как многомерного объекта автоматизации; разработке интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы с интеллектуальными модулями контроля в потоке органолептических показателей качества и интеллектуальными функциями поддержки и принятия решений.

Несомненный интерес вызывают разработанные алгоритмы идентификации, прогнозирования и диагностики состояния технологической системы и показателей качества подсолнечной халвы. Данный подход позволяет строить точные модели для автоматического контроля органолептических показателей качества конфет халвы.

На основе современных программных продуктов автором предложены методы эффективной организации информационного, математического и программного обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством подсолнечной халвы.

Результаты работы были внедрены на кондитерской фабрике ОАО «Рот Фронт» в виде технических решений. Теоретические и практические результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств».



### **Соответствие результатов заявленной научной специальности**

Научные результаты соответствуют следующим пунктам научной специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности)»:

- «п. 2. Автоматизация контроля и испытаний»;
- «п. 3. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), а также технической подготовки производства (АСТПП) и т.д.»;
- «п. 4. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»;
- «п. 6. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления»;
- «п. 8. Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»;
- «п. 9. Методы эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП и др., включая базы и банки данных и методы их оптимизации»;
- «п. 10. Методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»;
- «п. 12. Методы контроля, обеспечения достоверности, защиты и резервирования информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП и др.»;
- «п. 15. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения».

### **Замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе Благовещенского Владислава Германовича можно сделать следующие замечания:

1. Содержание литературного обзора написано формализованно. Остается не понятным, зачем проведена классификация основных операций процесса производства халвы и выбраны факторы, определяющие эффективность этих операций (п. 1.1.3, таблица 1.1). В дальнейшем, в работе эта таблица не использовалась. Поэтому данный пункт можно было из текста исключить.

2. В работе представлены результаты опроса экспертов на информативность параметров, оказывающих наибольшее влияние на показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на всех стадиях технологического процесса производства подсолнечной халвы. Следовало бы привести подробный пример получения приведенных данных.

3. На реализованные автором программные продукты следовало бы получить Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Это значительно повысило бы практическую ценность работы.

4. Одним из важных результатов является реализация в интеллектуальной автоматизированной системе режима «Совет оператору», но его описание в работе считаю не полным. Это описание необходимо провести с оценкой экономического эффекта от реализации интеллектуальной автоматизированной системы управления в целом.

5. В 3 главе приведены квалифицированные и грамотные результаты исследований по получению обобщенной ситуационной модели наличия функциональных связей между выходными показателями качества халвы на всех стадиях технологического процесса в форме квадратной матрицы взаимосвязей. Однако, остается ряд вопросов, поскольку не приведены подробные результаты опроса ведущих экспертов, результаты моделирования и сравнительного анализа использования полученных отдельных ситуационных моделей на различных стадиях технологического процесса производства подсолнечной халвы.

6. В работе встречаются досадные опечатки. В литературном обзоре встречаются рисунки без детальных комментариев.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

#### **Заключение**

Считаю, что цель и задачи диссертации обусловлены актуальными проблемами науки и практики. Поставленная цель исследования достигнута. И соответствующие задачи решены на достаточно высоком научном уровне.

На основе анализа содержания диссертации, автореферата, опубликованных автором работ можно сделать следующее заключение: диссертация Благовещенского Владислава Германовича является законченной научно – квалификационной работой и соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), предъявляемым Высшей аттестационной комиссией

Министерства науки и высшего образования РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. В диссертации содержится решение важнейшей проблемы разработки интеллектуальной автоматизированной системы управления качеством халвы, решающей также задачу автоматизации контроля в потоке органолептических показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий.

Считаю, что автор работы, В.Г. Благовещенский, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности)» (технические науки).

Заведующий кафедрой «Теоретическая механика»  
ФГБОУ ВО Национального  
Исследовательского университета  
«Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана»,  
доктор технических наук, доцент  
105005, г. Москва, Рубцовская наб., 2/18.  
+7(499) 263-69-69  
E-mail spm@bmstu.ru

П.М. Шкапов

Подпись заведующего кафедрой, д.т.н.,  
доцента П.М. Шкапова ЗАВЕРЯЮ

11.11.2021г.

