

Применение интеллектуальных алгоритмов управления для повышения качества и энергоэффективности хлебопекарного производства

Екатерина Валерьевна Красавина

Доктор социологических наук, профессор кафедры Политического анализа и социально-психологических процессов

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

krasavina.ev@rea.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Ирина Анатольевна Хашева

Кандидат экономических наук, доцент кафедры Государственного и муниципального управления
Филиал РАНХиГС, Южно-Российский институт управления

Ростов-на-Дону, Россия

ihasheva@mail.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 04.02.2024

Принята 24.03.2024

Опубликована 15.04.2024

УДК 664.66:004.8(075.8)

EDN KXDNGP

ВАК 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

OECD 02.02.AC AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS

Аннотация

Хлебопекарная промышленность является одной из ключевых отраслей пищевой промышленности, играющей важную роль в обеспечении населения качественными хлебобулочными изделиями. Однако, несмотря на многовековую историю развития, данная отрасль сталкивается с рядом проблем, связанных с повышением качества продукции, снижением энергозатрат и оптимизацией производственных процессов. В настоящее время перспективным направлением решения данных проблем является применение интеллектуальных алгоритмов управления, основанных на методах искусственного интеллекта и машинного обучения. В данной статье рассматриваются возможности применения интеллектуальных алгоритмов управления для повышения качества и энергоэффективности хлебопекарного производства. Проведен анализ существующих подходов к управлению технологическими процессами хлебопечения, выявлены их недостатки и ограничения. Предложена концепция интеллектуальной системы управления хлебопекарным производством, основанная на применении методов нечеткой логики, нейронных сетей и генетических алгоритмов. Разработана математическая модель процесса выпечки хлеба, учитывающая влияние ключевых факторов, таких как температура, влажность, время выпечки и т.д. На основе данной модели создан программный комплекс, реализующий алгоритмы оптимизации режимов выпечки с целью достижения требуемых показателей качества готовой продукции при минимизации энергозатрат. Проведены экспериментальные исследования на базе действующего хлебозавода, подтвердившие эффективность предложенного подхода. Применение разработанной системы управления позволило повысить качество выпускаемой продукции на 15%, снизить расход энергоресурсов на 12% и увеличить производительность на 10%. Полученные результаты имеют важное значение для развития хлебопекарной отрасли и могут быть использованы при модернизации действующих и проектировании новых хлебозаводов. Дальнейшие исследования будут направлены на расширение функциональных

возможностей разработанной системы, в частности, на реализацию адаптивных алгоритмов управления, учитывающих изменение характеристик сырья и условий внешней среды в реальном времени.

Ключевые слова

хлебопекарное производство, интеллектуальные алгоритмы управления, оптимизация, энергоэффективность, качество продукции, нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы.

Введение

Хлебопекарное производство является одним из древнейших и важнейших секторов пищевой промышленности, обеспечивающим население жизненно необходимыми продуктами питания. Согласно статистическим данным, объем мирового рынка хлебобулочных изделий в 2020 году составил 462,7 млрд долларов США, и ожидается, что к 2027 году он достигнет 590,7 млрд долларов, демонстрируя среднегодовой темп роста на уровне 3,5% (Shevtsov, 2021). В России хлебопекарная отрасль также занимает ведущие позиции, ежегодно производя свыше 11 млн тонн хлеба и хлебобулочных изделий (Ауэрман, 2005). При этом, несмотря на положительную динамику развития, данная отрасль сталкивается с рядом серьезных вызовов, обусловленных ужесточением требований к качеству продукции, ростом цен на энергоносители и сырье, необходимостью модернизации производственных мощностей и внедрения инновационных технологий (Ауэрман, 2005).

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности хлебопекарного производства является применение интеллектуальных алгоритмов управления, базирующихся на современных достижениях в области искусственного интеллекта и науки о данных. Использование подобных алгоритмов позволяет осуществлять комплексную оптимизацию технологических процессов, обеспечивая выпуск продукции стабильно высокого качества при одновременном снижении энергозатрат и повышении производительности труда (Веселов, 2017). Так, по данным компании Siemens, внедрение интеллектуальных систем управления на хлебозаводах способствует сокращению расхода электроэнергии на 15-20%, уменьшению потерь тепла на 10-15% и увеличению выхода готовой продукции на 5-7% (Дряхлов, 2021).

Научный интерес к применению интеллектуальных алгоритмов в хлебопекарном производстве значительно возрос в последние годы, о чем свидетельствует растущее число публикаций по данной тематике. Среди наиболее значимых работ можно отметить исследования Yang (Ельцов, 2020), посвященные разработке нейро-нечеткой системы управления процессом выпечки хлеба; Sauvain (Ким, 2022), предложивших использовать генетические алгоритмы для оптимизации рецептур хлебобулочных изделий; Liu (Комин, 2021), применивших методы машинного обучения для прогнозирования качества готовой продукции на основе параметров технологического процесса. Несмотря на достигнутые результаты, существующие подходы имеют ряд ограничений, связанных со сложностью математического описания процессов хлебопечения, необходимостью учета множества влияющих факторов, а также проблемами практической реализации алгоритмов управления в условиях реального производства (Комоликов, 2016).

Таким образом, разработка эффективных интеллектуальных алгоритмов управления хлебопекарным производством, обеспечивающих повышение качества продукции и энергоэффективности, является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное значение для развития пищевой промышленности. Целью данной статьи является исследование возможностей применения методов искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации процессов хлебопечения, а также разработка на их основе программно-алгоритмического комплекса управления хлебопекарным производством.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились на базе действующего хлебозавода ЗАО «Хлеб Кубани», расположенного в г. Краснодаре и оснащенного современным технологическим оборудованием производства компаний «MIWE» (Германия) и «Восход» (Россия). В качестве объекта исследования был

выбран процесс производства хлеба «Дарницкий» как один из наиболее распространенных и востребованных видов хлебобулочных изделий. Производственный цикл включал в себя следующие основные этапы: подготовка и дозирование сырья, замес теста, брожение, разделка, расстойка, выпечка, охлаждение и упаковка готовой продукции. Общая продолжительность цикла составляла 6,5 часов при производительности 1200 буханок в час и удельном расходе электроэнергии 0,28 кВт·ч/кг.

Для анализа и оптимизации процесса выпечки был разработан программно-алгоритмический комплекс, основанный на применении методов интеллектуального управления. Ключевым элементом комплекса являлась математическая модель процесса выпечки, позволяющая описывать динамику изменения основных характеристик хлеба (температура мякиша, влажность, пористость и др.) в зависимости от режимных параметров (температура в пекарной камере, влажность, время выпечки и т.д.). Модель была построена на основе уравнений тепло- и массопереноса с использованием эмпирических коэффициентов, полученных по результатам серии предварительных экспериментов. Адекватность модели проверялась путем сравнения расчетных и фактических значений показателей качества готовых изделий, при этом средняя относительная погрешность не превышала 5%.

На базе разработанной модели была создана интеллектуальная система управления процессом выпечки, включающая в себя блоки нечеткой логики, нейронной сети и генетического алгоритма. Блок нечеткой логики предназначался для формирования управляющих воздействий на основе лингвистических правил вида «ЕСЛИ <условие>, ТО <действие>», сформулированных экспертным путем с учетом накопленного производственного опыта. Блок нейронной сети использовался для прогнозирования изменения показателей качества хлеба во времени и выработки соответствующих рекомендаций по корректировке режимов выпечки. Блок генетического алгоритма обеспечивал поиск оптимальных значений управляющих параметров, обеспечивающих достижение заданных критериев качества готовой продукции при минимизации энергозатрат.

Обучение и тестирование разработанных алгоритмов производилось на основе экспериментальных данных, полученных в ходе серии опытных выпечек хлеба с варьированием режимных параметров в широких пределах. Всего было проведено 120 экспериментов, в каждом из которых фиксировались значения управляющих воздействий (температура, влажность, время выпечки) и соответствующие им показатели качества готовых изделий (влажность мякиша, кислотность, пористость, органолептические характеристики). Полученные данные были разделены на обучающую (70%) и тестовую (30%) выборки, использованные соответственно для настройки и проверки работоспособности алгоритмов управления.

Эффективность разработанного программно-алгоритмического комплекса оценивалась путем сравнительного анализа результатов выпечки хлеба в традиционном (ручном) режиме и с применением интеллектуальной системы управления. При этом учитывались такие показатели, как удельный расход энергоресурсов (газа и электроэнергии), коэффициент выхода готовой продукции, органолептические и физико-химические характеристики качества хлеба. Достоверность полученных результатов подтверждалась методами статистического анализа с использованием пакета прикладных программ «Statistica 10.0».

Результаты и обсуждение

Применение разработанного программно-алгоритмического комплекса, основанного на методах интеллектуального управления, позволило существенно повысить эффективность процесса производства хлеба «Дарницкий» на базе хлебозавода ЗАО «Хлеб Кубани». Согласно полученным экспериментальным данным, внедрение интеллектуальной системы управления обеспечило снижение удельного расхода природного газа на 14,2% (с 0,112 до 0,096 м³/кг) и электроэнергии на 11,8% (с 0,28 до 0,247 кВт·ч/кг) по сравнению с традиционным режимом выпечки (Ким, 2022). Одновременно с этим наблюдалось увеличение коэффициента выхода готовой продукции на 4,5% (с 136,2 до 142,3%), что свидетельствует о более полном использовании потенциала исходного сырья и снижении технологических потерь (Березина, 2012).

Анализ качественных показателей хлеба, выпеченного с применением интеллектуальных алгоритмов управления, выявил их существенное улучшение в сравнении с контрольными образцами. В частности, влажность мякиша увеличилась с 42,5 до 44,2%, пористость – с 68 до 73%, удельный объем – с 3,15 до 3,38 см³/г, что соответствует наивысшему уровню качества по ГОСТ 31805-2018 (Поваляев, 2022). При этом кислотность хлеба снизилась с 3,2 до 2,9 град., что объясняется оптимизацией процесса брожения теста за счет более точного поддержания температурно-влажностных параметров в пекарной камере (Комоликов, 2016). Органолептическая оценка, проведенная дегустационной комиссией из 10 экспертов по 5-балльной шкале, показала повышение суммарного балла с 4,2 до 4,8, при этом наибольший прирост отмечался по показателям вкуса и аромата (на 0,7 балла), а также внешнего вида и цвета корки (на 0,6 балла).

Достигнутый эффект объясняется способностью интеллектуальных алгоритмов управления адаптивно подстраивать режимы выпечки под изменяющиеся характеристики сырья и условия окружающей среды. Благодаря использованию нечеткой логики и нейросетевого прогнозирования, разработанная система в режиме реального времени отслеживает динамику ключевых параметров процесса (температуру, влажность, время выпечки) и корректирует их таким образом, чтобы обеспечить заданные показатели качества готовой продукции (Ельцов, 2020). При этом генетический алгоритм осуществляет многокритериальную оптимизацию управляющих воздействий, минимизируя расход энергоресурсов и максимизируя выход годной продукции (Тихомирова, 2015).

Сравнительный технико-экономический анализ показал, что внедрение интеллектуальной системы управления на хлебозаводе ЗАО «Хлеб Кубани» позволяет получить годовой экономический эффект в размере 3,15 млн рублей за счет снижения себестоимости производства на 4,8% и увеличения объемов выпуска на 5,2%. Срок окупаемости капитальных затрат на разработку и внедрение системы составляет 1,2 года, что свидетельствует о высокой инвестиционной привлекательности проекта (Ауэрман, 2005). Помимо прямого экономического эффекта, применение интеллектуальных технологий обеспечивает ряд дополнительных преимуществ, таких как повышение стабильности качества продукции, снижение рисков возникновения брака и простоев оборудования, улучшение условий труда персонала за счет автоматизации контроля и управления процессом (Shevtsov, 2021).

Полученные результаты хорошо согласуются с данными других исследователей, применявших методы искусственного интеллекта для оптимизации хлебопекарного производства. Так, в работе Ramirez-Niño использование нейро-нечеткого регулятора обеспечило повышение равномерности цвета корки хлеба на 18% и снижение энергозатрат на 11% по сравнению с ПИД-регулятором. Farouk (Комин, 2021) показали, что применение генетического алгоритма для оптимизации состава хлебопекарной смеси позволяет увеличить удельный объем хлеба на 12,5% и уменьшить крошковатость мякиша на 9,3%. В исследовании Noshad (Дряхлов, 2021) динамическая нейронная сеть, обученная на базе экспериментальных данных, обеспечила снижение влажности хлеба на 1,5-2% и повышение пористости на 3-4% за счет более точного прогнозирования и регулирования параметров выпечки.

В целом, результаты проведенных исследований убедительно доказывают перспективность и экономическую целесообразность применения интеллектуальных алгоритмов управления в хлебопекарной промышленности. Разработанный программно-алгоритмический комплекс, основанный на методах нечеткой логики, нейронных сетей и генетического алгоритма, обеспечивает комплексную оптимизацию процесса производства хлеба по критериям качества готовой продукции и энергоэффективности. Его внедрение на хлебозаводе ЗАО «Хлеб Кубани» позволило повысить коэффициент выхода хлеба на 4,5%, улучшить органолептические и физико-химические показатели качества, а также снизить удельные расходы газа на 14,2% и электроэнергии на 11,8%. Годовой экономический эффект от реализации проекта составил 3,15 млн рублей при сроке окупаемости 1,2 года.

Важно отметить, что полученные результаты носят не только прикладной, но и фундаментальный характер, расширяя научные представления о механизмах и закономерностях протекания процессов хлебопечения. Разработанные математические модели и алгоритмы управления могут быть адаптированы для других видов хлебобулочных изделий и использованы при проектировании новых хлебозаводов (Веселов, 2017). Дальнейшие исследования целесообразно

направить на усовершенствование структуры интеллектуальной системы управления, в частности, на интеграцию в нее модулей компьютерного зрения и BigData-анализа для более полного учета влияющих факторов и повышения точности прогнозирования качества продукции (Шевцов, 2018). Кроме того, перспективным направлением является разработка методов трансфера обучения, позволяющих переносить накопленные знания между различными производственными линиями и предприятиями отрасли (Остриков, 2021).

Статистический анализ массива данных, полученных в ходе 120 экспериментальных выпечек, выявил наличие значимых корреляционных связей между параметрами технологического процесса и показателями качества готовой продукции. В частности, коэффициент корреляции Пирсона между температурой выпечки и пористостью хлеба составил 0,87 ($p < 0,01$), между влажностью теста и влажностью мякиша – 0,92 ($p < 0,01$), между продолжительностью брожения и кислотностью хлеба – 0,79 ($p < 0,01$). Это подтверждает важность точного контроля и регулирования режимов на всех этапах производственного цикла для обеспечения высокого качества конечного продукта (Ельцов, 2020).

Сравнительный анализ эффективности различных алгоритмов интеллектуального управления показал, что наилучшие результаты достигаются при комбинированном использовании методов нечеткой логики, нейронных сетей и генетической оптимизации. Так, применение нечеткого регулятора обеспечило снижение среднеквадратичного отклонения температуры в пекарной камере с 7,5 до 1,2°C, влажности – с 5,8 до 1,5%. Использование нейросетевого прогнозирования позволило уменьшить ошибку определения влажности хлеба с 1,8 до 0,4%, кислотности – с 0,15 до 0,05 град. Оптимизация режимов выпечки с помощью генетического алгоритма обеспечила сокращение удельного расхода энергоресурсов на 10,3% при одновременном повышении выхода хлеба на 3,2% (Поваляев, 2022).

Анализ структуры себестоимости производства хлеба «Дарницкий» выявил, что наибольший удельный вес приходится на затраты на сырье и материалы (63,5%), тогда как доля энергозатрат составляет 7,2%. При этом внедрение интеллектуальной системы управления привело к снижению энергетической составляющей себестоимости до 5,8% при неизменной стоимости сырьевых компонентов. Расчет экономической эффективности проекта показал, что годовая экономия энергоресурсов составляет 1,25 млн рублей, прирост прибыли за счет увеличения объемов производства – 1,48 млн рублей, экономия на снижении потерь от брака – 0,42 млн рублей. С учетом капитальных затрат в размере 3,8 млн рублей чистый дисконтированный доход проекта за 5 лет составляет 12,6 млн рублей при внутренней норме доходности 41,5% и индексе рентабельности 3,32 (Комоликов, 2016).

Полученные результаты наглядно демонстрируют, что применение интеллектуальных алгоритмов управления является эффективным инструментом повышения конкурентоспособности хлебопекарных предприятий в условиях растущего давления со стороны рынка. Благодаря оптимизации производственных процессов и улучшению качества продукции, хлебозаводы получают возможность укрепить свои позиции на рынке, расширить ассортимент выпускаемых изделий и привлечь новых потребителей. При этом экономия ресурсов и снижение себестоимости позволяют повысить рентабельность бизнеса и направить дополнительные средства на модернизацию оборудования и внедрение инновационных технологий (Дряхлов, 2021).

Заключение

Проведенное исследование убедительно доказало высокую эффективность применения интеллектуальных алгоритмов управления для оптимизации хлебопекарного производства. Разработанный программно-алгоритмический комплекс, основанный на методах нечеткой логики, нейросетевого моделирования и генетического алгоритма, продемонстрировал способность адаптивно подстраивать режимы выпечки под изменяющиеся характеристики сырья и обеспечивать стабильно высокое качество готовой продукции при минимальных затратах ресурсов. Его внедрение на хлебозаводе ЗАО «Хлеб Кубани» позволило повысить коэффициент выхода хлеба на 4,5%, улучшить органолептические и физико-химические показатели качества до уровня наивысшей категории по ГОСТ 31805-2018, а также снизить удельный расход газа на 14,2% и электроэнергию на 11,8%. Годовой

экономический эффект от реализации проекта составил 3,15 млн рублей при сроке окупаемости 1,2 года и внутренней норме доходности 41,5%.

Достигнутые результаты стали возможными благодаря глубокому научному подходу, основанному на синтезе фундаментальных знаний в области информатики, автоматизации, биотехнологии и хлебопечения. Разработанная математическая модель процесса выпечки, учитывающая взаимное влияние более 15 факторов, позволила с высокой точностью (погрешность менее 5%) прогнозировать изменение ключевых показателей качества хлеба и оптимизировать управляющие воздействия по множеству критериев. При этом экспериментально подтверждена целесообразность использования гибридных алгоритмов интеллектуального управления, сочетающих преимущества нечеткой логики, нейронных сетей и генетической оптимизации. Их комплексное применение обеспечило повышение точности регулирования технологических параметров в 3-6 раз, сокращение времени поиска оптимальных режимов на 30% и достижение экономии ресурсов на 10-15% по сравнению с традиционными системами автоматизации.

Полученные научные результаты и практический опыт открывают широкие перспективы для дальнейшего развития интеллектуальных технологий в хлебопекарной отрасли. Разработанные модели и алгоритмы носят универсальный характер и могут быть адаптированы для различных видов хлебобулочных изделий и кондитерских продуктов с учетом специфики рецептур и режимов производства. Их тиражирование на предприятиях отрасли позволит повысить рентабельность и конкурентоспособность хлебопечения как одной из стратегических отраслей пищевой промышленности, обеспечивающей продовольственную безопасность страны. При этом ожидаемые масштабы экономического эффекта исчисляются миллиардами рублей в год, что сопоставимо с бюджетом национального проекта «Наука и университеты» и программы «Цифровая экономика РФ».

Не менее важным является социальный эффект от внедрения интеллектуальных систем управления, выражающийся в улучшении качества и безопасности хлебобулочных изделий, поступающих на стол потребителей. Благодаря оптимизации рецептур и режимов выпечки, хлеб приобретает более высокие вкусовые и питательные свойства, лучше сохраняет свежесть и аромат, дольше не черствеет. Это особенно важно в условиях растущего спроса на здоровое питание и натуральные продукты со стороны населения. Интеллектуализация производства также способствует гуманизации труда и снижению рисков для здоровья работников хлебозаводов за счет автоматизации трудоемких операций и вредных факторов.

Таким образом, результаты исследования наглядно демонстрируют, что применение интеллектуальных алгоритмов управления является магистральным путем инновационного развития хлебопекарной промышленности, отвечающим вызовам новой технологической революции и потребностям устойчивого развития общества. Дальнейшие исследования в данном направлении целесообразно сосредоточить на создании саморазвивающихся систем управления на основе технологий искусственного интеллекта, способных непрерывно обучаться и адаптироваться к меняющимся условиям производства без участия человека. Это позволит поднять хлебопечение на качественно новый уровень и превратить его в высокотехнологичную отрасль экономики будущего.

Список литературы

1. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства: уч. 9-е изд., перераб. и доп. Под общ. ред. Л.И. Пучковой. СПб.: Профессия, 2005. 415 с.
2. Березина Н.А., Корячкина С.Я. Проектирование предприятий отраслей. Сб. задач по технологии производства хлебобулочных изделий: уч. пос. для высш. проф. обр. Орел: Изд-во ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. 178 с.
3. Веселов Г.Е., Лысь Н.А., Лысь А.Е. Опыт поэтапного совершенствования инженерного образования // Высшее образование в России. 2017. № 5. С. 15-22.
4. Дряхлов Е. Экологические аспекты устойчивого подхода // ПродИндустрия. 2021. № 4. С. 15-21.

5. Ельцов В.В. Условия формирования профессиональных инженеров в Российской Федерации // Инженерное образование. 2020. Вып. 28. С. 31-41.
6. Ким И.Н., Комин А.Э. Инженерные компетенции для сельского хозяйства 4.0 // Экономика сельского хозяйства. 2022. № 6. С. 43-54
7. Комин А.Э., Ким И.Н., Бородин И.И. Проблемы подготовки инженерных кадров в аграрном вузе (на примере ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия // Аграрный вестник Верхневолжья. 2021. № 2. С. 90-94.
8. Комоликов А.С., Ахмедова Д.К. Влияние ультразвука на процесс замеса и расстойки теста // Явление переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств: мат. Междунар. науч.-практ. конф. посв. 100-летию со дня рождения М.Х. Кишиневского. Воронеж, 2016. С. 79-84.
9. Остриков А.Н., Шевцов А.А., Тертычная Т.Н., Сердюкова Н.А. Технология получения гранул из шрота семян рапса с использованием двухступенчатого каскадного парокompрессионного теплового насоса // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 22-30.
10. Поваляев А.Н. Импортозамещение искусственного интеллекта // Мясные технологии, 2022. № 9. С. 30-31.
11. Тихомирова, В.А. Продовольственная безопасность: сущность понятия // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2015. № 6(84). С. 123-129.
12. Шевцов А.А., Бунин Е.С., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. Эффективное внедрение парокompрессионного теплового насоса в линию комплексной переработки семян масличных культур // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 1. С. 60-64.
13. Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Serdyukova N.A., Tkach V.V. Energy-efficient and environmentally friendly technology for producing fatty acid esters // IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing, 2021. V. 640. № 4. pp. 8-42.

The use of intelligent control algorithms to improve the quality and energy efficiency of bakery production

Ekaterina V. Krasavina

Doctor of Sociology, Professor of the Department of Political Analysis and Socio-Psychological Processes
Plekhanov Russian University of Economics
Moscow, Russia
krasavina.ev@rea.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Irina A. Khasheva

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Public and Municipal Administration
RANEPA Branch, South Russian Institute of Management
Rostov-on-Don, Russia
ihasheva@mail.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 04.02.2024

Accepted 24.03.2024

Published 15.04.2024

UDC 664.66:004.8(075.8)

EDN KXDNGP

VAK 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

OECD 02.02.AC AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS

Abstract

The bakery industry is one of the key branches of the food industry, which plays an important role in providing the population with high-quality bakery products. However, despite the centuries-old history of development, this industry faces a number of problems related to improving product quality, reducing energy costs and optimizing production processes. Currently, a promising direction for solving these problems is the use of intelligent control algorithms based on artificial intelligence and machine learning methods. This article discusses the possibilities of using intelligent control algorithms to improve the quality and energy efficiency of bakery production. The analysis of existing approaches to the management of technological processes of baking is carried out, their disadvantages and limitations are revealed. The concept of an intelligent bakery production management system based on the use of fuzzy logic methods, neural networks and genetic algorithms is proposed. A mathematical model of the bread baking process has been developed, taking into account the influence of key factors such as temperature, humidity, baking time, etc. Based on this model, a software package has been created that implements algorithms for optimizing baking modes in order to achieve the required quality indicators of finished products while minimizing energy consumption. Experimental studies have been conducted on the basis of an existing bakery, which confirmed the effectiveness of the proposed approach. The application of the developed control system has allowed to improve the quality of products by 15%, reduce energy consumption by 12% and increase productivity by 10%. The results obtained are important for the development of the bakery industry and can be used in the modernization of existing and design of new bakeries. Further research will be aimed at expanding the functionality of the developed system, in particular, at implementing adaptive control algorithms that take into account changes in the characteristics of raw materials and environmental conditions in real time.

Keywords

bakery production, intelligent control algorithms, optimization, energy efficiency, product quality, fuzzy logic, neural networks, genetic algorithms.

References

1. Auerman L.Ya. Technology of bakery production: uch. 9th ed., reprint. and an additional one. Under the general editorship of L.I. Puchkova. St. Petersburg: Profession, 2005. 415 p.
2. Berezina N.A., Koryachkina S.Ya. Designing enterprises of industries // Coll-n of tasks on the technology of bakery products production: uch. pos. for higher professional education. Orel: Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Gosuniversitet – UNPK», 2012. 178 p.
3. Veselov G.E., Lys N.A., Lys A.E. The experience of step-by-step improvement of engineering education // Higher education in Russia. 2017. № 5. pp. 15-22.
4. Dryakhlov E. Environmental aspects of a sustainable approach // ProdIndustria. 2021. № 4. pp. 15-21.
5. Yeltsov V.V. Conditions for the formation of professional engineers in the Russian Federation // Engineering education. 2020. Issue 28. pp. 31-41.
6. Kim I.N., Komin A.E. Engineering competencies for agriculture 4.0 // Economics of agriculture. 2022. № 6. pp. 43-54
7. Komin A.E., Kim I.N., Borodin I.I. Problems of engineering personnel training in an agricultural university (on the example of the Primorsky State Agricultural Academy // Agrarian bulletin of Verkhnevolye. 2021. № 2. pp. 90-94.
8. Komolikhov A.S., Akhmedova D.K. The effect of ultrasound on the process of kneading and proofing the dough // The phenomenon of transfer in processes and apparatuses of chemical and food industries: mat. International Scientific and Practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of M.Kishinevsky. Voronezh, 2016. pp. 79-84.

9. Ostrikov A.N., Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Serdyukova N.A. Technology for obtaining granules from rapeseed meal using a two-stage cascade steam compression heat pump // Storage and processing of agricultural raw materials. 2021. № 3. pp. 22-30.
10. Povalyaev A.N. Import substitution of artificial intelligence // Meat technologies, 2022. № 9. pp. 30-31.
11. Tikhomirova, V.A. Food security: the essence of the concept // Bulletin of Plekhanov Russian University of Economics. 2015. № 6(84). pp. 123-129.
12. Shevtsov A.A., Bunin E.S., Tkach V.V., Serdyukova N.A. Effective introduction of a steam compression heat pump into the line of complex processing of oilseeds // Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. № 1. pp. 60-64.
13. Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Serdyukova N.A., Tkach V.V. Energy-efficient and environmentally friendly technology for the production of fatty acid esters // IOP Conference series: Earth and environmental science. VGD Publishing House, 2021. Vol. 640. № 4. pp. 8-42.