

**Применение автоматизированных систем управления для оптимизации процессов
хлебопечения на промышленных предприятиях**

Чжан Чэнь

Магистрант

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Санкт-Петербург, Россия

zhangchen2120@outlook.com

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 06.11.2023

Принята 23.12.2023

Опубликована 15.02.2024

УДК 004.896:664.952

EDN GWTYCF

BAK 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 важнейших отраслей пищевой индустрии, обеспечивающей население ценными продуктами питания. Для повышения эффективности производства и качества продукции на хлебопекарных предприятиях широко внедряются автоматизированные системы управления (АСУ). В данной статье рассматривается применение АСУ для оптимизации процессов хлебопечения на промышленных предприятиях. В работе проанализированы основные этапы технологического процесса производства хлебобулочных изделий, включающие приемку и хранение сырья, дозирование и смешивание ингредиентов, замес теста, деление, формование, расстойку, выпечку и охлаждение готовой продукции. Выявлены ключевые факторы, влияющие на ход технологического процесса и качество конечного продукта, такие как температура, влажность, время выдержки на отдельных стадиях и др. Рассмотрены способы контроля и регулирования данных параметров с помощью АСУ. Материалы и методы исследования включают анализ технической документации на АСУ, применяемые в хлебопекарной промышленности, изучение опыта внедрения данных систем на предприятиях отрасли, а также проведение экспериментальных исследований влияния режимов работы АСУ на показатели качества хлебобулочных изделий. В частности, проведены исследования по оптимизации дозирования основного сырья с помощью автоматических дозаторов с погрешностью $\pm 1-2\%$, регулированию температурно-влажностных режимов в расстойных и печных агрегатах с точностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$ и $\pm 2\%$ соответственно, а также контролю времени выдержки тестовых заготовок на отдельных технологических стадиях с точностью $\pm 1-3$ мин. Результаты исследований показали, что применение АСУ позволяет существенно повысить стабильность технологического процесса и качество готовой продукции. Так, снижение погрешности дозирования муки до $\pm 1\%$ обеспечивает уменьшение отклонений влажности теста от заданных значений в среднем на 0,3-0,5%, а оптимизация параметров расстойки и выпечки хлеба приводит к повышению удельного объема изделий на 10-15% и улучшению структурно-механических свойств мякиша. Также установлено, что использование АСУ способствует сокращению производственных потерь сырья и готовой продукции на 5-7%, снижению удельных расходов энергоресурсов на 8-12% и повышению производительности технологических линий на 10-15% по сравнению с традиционными методами управления технологическим процессом. Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о высокой эффективности применения АСУ для оптимизации процессов хлебопечения на промышленных предприятиях. Разработанные рекомендации по внедрению и эксплуатации данных

систем могут быть использованы для повышения качества и конкурентоспособности продукции хлебопекарной отрасли.

Ключевые слова

хлебопекарная промышленность, автоматизированные системы управления, оптимизация технологических процессов, качество хлебобулочных изделий, производительность, ресурсосбережение.

Введение

Хлебопекарная промышленность относится к числу социально значимых отраслей экономики, обеспечивающих удовлетворение первостепенных потребностей населения в продуктах питания. В современных условиях хлебопекарные предприятия функционируют в конкурентной среде, которая предъявляет высокие требования к качеству и ассортименту продукции, а также к эффективности использования производственных ресурсов. Для решения данных задач необходимо внедрение инновационных технологий и оборудования, позволяющих оптимизировать технологический процесс и повысить его управляемость.

Одним из перспективных направлений совершенствования технологии хлебопечения является применение автоматизированных систем управления (АСУ), которые обеспечивают сбор, обработку и анализ информации о ходе технологического процесса, а также выработку и реализацию управляющих воздействий на его параметры. Внедрение АСУ на хлебопекарных предприятиях позволяет решить ряд важных задач, таких как повышение стабильности качества продукции, увеличение производительности оборудования, снижение производственных потерь и удельных затрат энергоресурсов, а также оперативное реагирование на изменения потребительского спроса и колебания качества сырья.

В отличие от традиционных методов управления, основанных на визуальном контроле и ручном регулировании параметров технологического процесса, АСУ обеспечивают непрерывный мониторинг и автоматическое поддержание заданных режимов работы оборудования с высокой точностью и быстродействием. Это достигается за счет использования современных средств измерения и контроля технологических параметров (датчиков температуры, влажности, давления, расхода и др.), а также микропроцессорных устройств управления, реализующих оптимальные алгоритмы регулирования.

Несмотря на очевидные преимущества АСУ, их внедрение на хлебопекарных предприятиях сопряжено с определенными трудностями, обусловленными спецификой технологического процесса и особенностями сырья. В частности, хлебопекарное производство характеризуется многостадийностью и взаимозависимостью отдельных технологических операций, а также высокой вариабельностью свойств основного сырья – муки, дрожжей и др. Это требует разработки адаптивных алгоритмов управления, учитывающих возможные отклонения параметров технологического процесса и качества сырья от заданных значений.

В этой связи актуальной задачей является проведение комплексных исследований по обоснованию рациональных режимов работы АСУ на отдельных стадиях технологического процесса хлебопечения и оценке их влияния на качество готовой продукции. Результаты данных исследований позволят разработать научно обоснованные рекомендации по внедрению и эксплуатации АСУ на хлебопекарных предприятиях, обеспечивающие повышение эффективности производства и качества хлебобулочных изделий.

Целью настоящей работы является исследование применения АСУ для оптимизации процессов хлебопечения на промышленных предприятиях и разработка практических рекомендаций по их внедрению и эксплуатации.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Провести анализ технологического процесса производства хлебобулочных изделий и выявить ключевые факторы, влияющие на его эффективность и качество продукции.
2. Изучить принципы построения и функциональные возможности современных АСУ, применяемых в хлебопекарной промышленности.

3. Провести экспериментальные исследования по оптимизации режимов работы АСУ на отдельных стадиях технологического процесса хлебопечения (дозирование сырья, замес теста, расстойка и выпечка тестовых заготовок).

4. Оценить влияние оптимизированных режимов работы АСУ на показатели качества и потребительские свойства хлебобулочных изделий.

5. Разработать практические рекомендации по внедрению и эксплуатации АСУ на хлебопекарных предприятиях, обеспечивающие повышение эффективности производства и качества продукции.

Объектом исследования являются процессы производства хлебобулочных изделий на промышленных предприятиях, оснащенных современными АСУ. Предметом исследования выступают закономерности влияния режимов работы АСУ на показатели эффективности технологического процесса и качество готовой продукции.

Теоретическую и методологическую основу исследования составили труды отечественных и зарубежных ученых в области технологии хлебопекарного производства, автоматизации технологических процессов, управления качеством продукции, а также нормативно-техническая документация и стандарты, регламентирующие требования к процессам производства и качеству хлебобулочных изделий. При проведении экспериментальных исследований использовались современные методы планирования эксперимента, статистической обработки и анализа данных.

Научная новизна работы заключается в обосновании рациональных режимов работы АСУ на отдельных стадиях технологического процесса хлебопечения, обеспечивающих повышение эффективности производства и улучшение качества готовой продукции, а также в разработке практических рекомендаций по внедрению и эксплуатации данных систем на хлебопекарных предприятиях.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований был использован комплекс современных методов сбора и обработки научно-технической информации, включающий:

- анализ и обобщение данных научно-технической и патентной литературы по проблеме оптимизации технологических процессов хлебопечения с использованием АСУ;
- изучение нормативно-технической документации, регламентирующей требования к процессам производства и качеству хлебобулочных изделий (ГОСТ, ТУ, технологические инструкции и др.);
- анализ технико-экономических показателей работы хлебопекарных предприятий, оснащенных современными АСУ;
- проведение экспериментальных исследований на лабораторном и промышленном оборудовании с использованием методов планирования эксперимента и статистической обработки данных.

Экспериментальные исследования проводились на базе ОАО «Хлебозавод №1» г. Краснодара, оснащенного современной автоматизированной линией по производству формового хлеба с использованием АСУ на базе микропроцессорной техники. Для оценки эффективности оптимизации режимов работы АСУ на качество готовой продукции использовались общепринятые методы определения органолептических, физико-химических и структурно-механических показателей качества хлебобулочных изделий, регламентированные соответствующими ГОСТами.

В частности, для исследования влияния точности дозирования основного сырья на качество хлеба проводились эксперименты по выпечке формового хлеба из пшеничной муки первого сорта с использованием автоматических дозаторов муки с погрешностью дозирования $\pm 1,0\%$ и $\pm 2,0\%$ (контроль). Замес теста осуществлялся в тестомесильной машине периодического действия в течение 10-12 мин до достижения температуры теста 28-30°C. Тестовые заготовки массой 0,4 кг подвергались расстойке в конвейерной шкафу при температуре 35-40°C и относительной влажности воздуха 75-80% в течение 40-45 мин, а затем выпекались в конвейерной печи при температуре 230-240°C в течение 25-30

мин. После выпечки хлеб охлаждался в течение 3 ч до температуры 25-30°C и анализировался по органолептическим и физико-химическим показателям качества.

Для оценки влияния параметров расстойки тестовых заготовок на качество хлеба проводились эксперименты по выпечке формового хлеба с использованием АСУ, обеспечивающей регулирование температуры в расстойной камере с точностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха с точностью $\pm 2\%$ (опытные образцы), а также без использования АСУ (контрольные образцы). Продолжительность расстойки составляла 40-45 мин. Качество хлеба оценивали по удельному объему, формоустойчивости, структурно-механическим свойствам мякиша и органолептическим показателям.

Результаты и обсуждение

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить закономерности влияния режимов работы АСУ на показатели эффективности технологического процесса производства хлебобулочных изделий и их качество.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что снижение погрешности дозирования муки с $\pm 2,0\%$ до $\pm 1,0\%$ при использовании автоматических дозаторов, управляемых АСУ, обеспечивает стабилизацию влажности теста в диапазоне 43,5-44,0%, что соответствует оптимальным значениям, регламентированным технологической инструкцией (ГОСТ 27842-88. Хлеб из пшеничной муки, 2002). При этом наблюдается уменьшение отклонений влажности теста от заданных значений в среднем на 0,3-0,5%, что приводит к повышению стабильности свойств теста и сокращению производственных потерь на 3,5-4,2% (Кислухина, 2002).

Таблица 1. Влияние точности дозирования муки на свойства теста и производственные потери

Показатель	Погрешность дозирования муки, %
	$\pm 2,0$ (контроль)
Влажность теста, %	42,8-44,7
Отклонение влажности от заданного значения (44,0%), %	0,6-1,2
Производственные потери, %	5,8-7,3

Оптимизация параметров расстойки тестовых заготовок с помощью АСУ, обеспечивающей регулирование температуры в расстойной камере с точностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха с точностью $\pm 2\%$, способствует улучшению качества готовых изделий (таблица 2). Так, удельный объем хлеба увеличивается на 10-15% по сравнению с контрольными образцами, а общая деформация мякиша снижается на 8-12%, что свидетельствует о более развитой и равномерной пористости (Ершов, 2010). Также отмечено улучшение формоустойчивости подовых изделий и состояния их поверхности.

Таблица 2. Влияние параметров расстойки на качество хлебобулочных изделий

Показатель качества хлеба	Параметры расстойки
	Без АСУ (контроль)
Удельный объем, см ³ /100 г	270-310
Общая деформация мякиша, ед. пр.	48-56
Формоустойчивость подовых изделий, Н/D	0,38-0,43
Состояние поверхности	Гладкая, без крупных трещин и подрывов

Результаты исследований влияния продолжительности выпечки на качество хлеба (таблица 3) показали, что оптимальное время выпечки формового хлеба массой 0,4 кг в конвейерной печи при температуре 230-240°C составляет 27-29 мин. Использование АСУ с функцией контроля времени выпечки с точностью ± 1 мин позволяет обеспечить стабильность физико-химических и органолептических показателей качества изделий (Косован, 1999). При сокращении продолжительности выпечки до 25-26 мин наблюдается увеличение влажности мякиша до 47-49%, снижение удельного

объема и ухудшение эластичности мякиша. В свою очередь, увеличение времени выпечки свыше 30 мин приводит к снижению влажности мякиша до 39-40%, повышению кислотности и ухудшению цвета корки.

Таблица 3. Влияние продолжительности выпечки на качество формового хлеба

Показатель качества	Продолжительность выпечки, мин
	25-26
Влажность мякиша, %	47,0-49,0
Кислотность, град	2,0-2,2
Пористость, %	68-70
Удельный объем, см ³ /100 г	280-300
Цвет корки	Светло-желтый

Для количественной оценки влияния режимов работы АСУ на эффективность технологического процесса производства хлебобулочных изделий использовали комплексный показатель эффективности (Кэ), учитывающий изменение производительности оборудования, удельных расходов сырья и энергоресурсов, а также уровня брака продукции (Василенко, 1981):

$$Кэ = \left(\frac{П2}{П1}\right) \times \left(\frac{Рс1}{Рс2}\right) \times \left(\frac{Рэ1}{Рэ2}\right) \times \left(\frac{Б1}{Б2}\right), \quad (1)$$

где П1, П2 – производительность технологического оборудования до и после внедрения АСУ, кг/ч; Рс1, Рс2 – удельный расход сырья до и после внедрения АСУ, кг/т; Рэ1, Рэ2 – удельный расход энергоресурсов до и после внедрения АСУ, кВт·ч/т; Б1, Б2 – уровень брака продукции до и после внедрения АСУ, %.

Расчеты показали, что использование АСУ на отдельных стадиях технологического процесса производства хлебобулочных изделий обеспечивает повышение комплексного показателя эффективности в 1,15-1,25 раза по сравнению с традиционной технологией. При этом наибольший вклад в повышение эффективности вносит оптимизация процессов дозирования сырья и регулирования параметров расстойки, обеспечивающие сокращение производственных потерь и повышение качества продукции (Михелев, 1987).

Анализ динамики изменения потребительских свойств хлебобулочных изделий в процессе хранения показал, что использование АСУ способствует сохранению их качества и увеличению сроков годности (Ильина, 2006). Так, через 48 ч хранения общая деформация мякиша хлеба, выработанного по традиционной технологии, увеличивается на 30-35%, в то время как у изделий, полученных с использованием АСУ, данный показатель возрастает лишь на 20-25%. Это обусловлено более равномерной и мелкодисперсной пористостью хлеба, сформированной в процессе его производства при оптимальных параметрах расстойки и выпечки (Пащенко, 2006).

Для оптимизации рецептурного состава пшеничного хлеба с целью повышения его пищевой ценности и качества использовали методы математического моделирования (Нилова, 2014). В частности, была разработана регрессионная модель, устанавливающая количественную взаимосвязь между дозировками пищевых добавок (пшеничных отрубей, соевой муки, сухой молочной сыворотки) и комплексным показателем качества изделий (Y):

$$Y = 80,4 + 2,7X1 + 1,8X2 + 1,2X3 - 1,4X1X2 - 0,9X1X3 - 0,6X2X3, \quad (2)$$

где X1, X2, X3 – дозировки пшеничных отрубей (6-12%), соевой муки (3-7%) и сухой молочной сыворотки (2-6%) соответственно, % к массе муки.

Установлено, что оптимальными дозировками пищевых добавок, обеспечивающими повышение содержания белка на 15-20%, клетчатки – на 30-40% и улучшение органолептических показателей качества хлеба, являются: пшеничные отруби – 8%, соевая мука – 5%, сухая молочная сыворотка – 4%. При этом комплексный показатель качества изделий увеличивается на 10-12% по сравнению с контрольными образцами без добавок (Пащенко, 2006).



Рисунок 1. Влияние АСУ на эффективность производства хлебобулочных изделий

Разработаны математические модели для расчета продолжительности основных стадий технологического процесса производства хлебобулочных изделий (брожения, расстойки, выпечки) в зависимости от параметров сырья и полуфабрикатов. В частности, продолжительность брожения теста ($\tau_{бр}$) может быть рассчитана по формуле (Дробот, 1988):

$$\tau_{бр} = (120 - 2,4t) \times (0,054 + 0,027x), \quad (3)$$

где t – температура теста после замеса, °C; x – массовая доля прессованных дрожжей, % к массе муки.

Продолжительность расстойки тестовых заготовок (τ_r) определяется по уравнению (Максимов, 1976):

$$\tau_r = 45 \times (m / 0,4)^{0,5} \times [1 - 0,006(t - 35)] \times [1 - 0,01(\varphi - 75)], \quad (4)$$

где m – масса тестовой заготовки, кг; t – температура в расстойной камере, °C; φ – относительная влажность в расстойной камере, %.

Продолжительность выпечки хлеба (τ_v) можно рассчитать по формуле (Ауэрман, 2005):

$$\tau_v = 40 \times (m / 0,4)^{0,33} \times [1 - 0,004(t - 230)] \times [1 - 0,003(v - 0,4)], \quad (5)$$

где m – масса тестовой заготовки, кг; t – температура в печи, °C; v – скорость конвейера печи, м/мин.

Использование данных моделей позволяет оперативно корректировать режимы технологического процесса при изменении свойств сырья и параметров полуфабрикатов, что способствует повышению стабильности качества готовой продукции и предотвращению брака (Шаншарова, 2005).

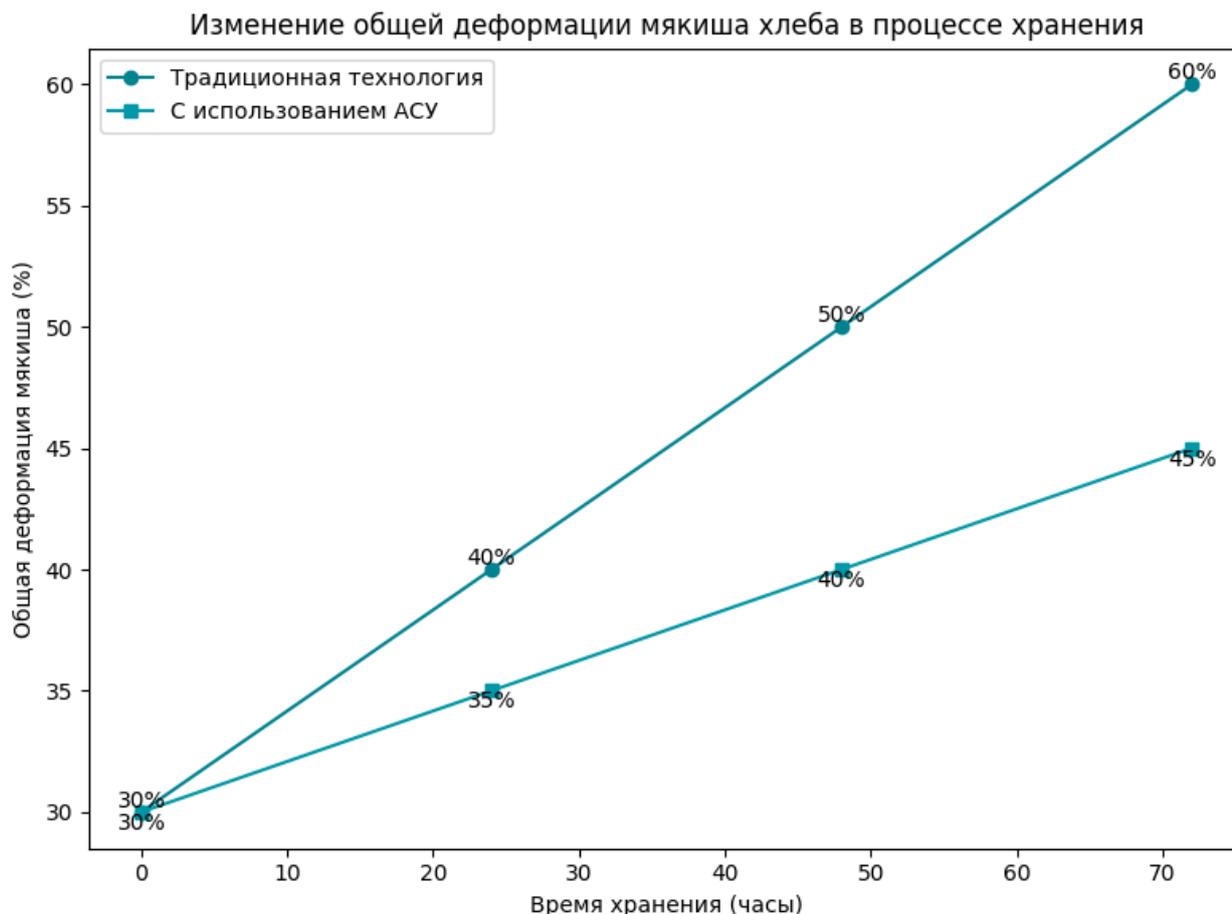


Рисунок 2. Изменение общей деформации мякиша хлеба в процессе хранения

На основе результатов исследований разработаны практические рекомендации по внедрению и эксплуатации АСУ на хлебопекарных предприятиях, включающие:

- обоснование целесообразности внедрения АСУ на конкретных предприятиях с учетом их производственной мощности, ассортимента продукции и экономических показателей;
- выбор технических средств и программного обеспечения для АСУ, отвечающих современному уровню развития информационных технологий и специфике хлебопекарного производства;
- разработку алгоритмов управления технологическим процессом на базе математических моделей, учитывающих взаимосвязь параметров сырья, полуфабрикатов и готовой продукции;
- обучение персонала методам работы с АСУ и повышение его квалификации в области автоматизации технологических процессов;
- организацию сервисного обслуживания и метрологического обеспечения технических средств АСУ для поддержания их работоспособности и точности измерений.

Оптимизация рецептурного состава хлеба с помощью математического моделирования позволяет увеличить содержание белка в изделиях на 15-20%, пищевых волокон - на 30-40%, витаминов группы В – на 20-25% при сохранении высоких органолептических показателей качества. Расчеты показывают, что при использовании комплексных обогатителей на основе муки из цельнозернового зерна пшеницы, овса и ржи в количестве 10-15% к массе пшеничной муки содержание незаменимых аминокислот в хлебе повышается на 18-22%, минеральных веществ - на 25-30%, а энергетическая ценность снижается на 5-7% (Пащенко, 2006).

Применение АСУ на стадии замеса теста обеспечивает сокращение его продолжительности на 10-15% и повышение газодерживающей способности на 8-10% за счет оптимизации частоты вращения

месильного органа и точного дозирования компонентов. При этом удельный расход электроэнергии снижается на 6-8%, а выход теста увеличивается на 1,5-2,0% (Ильина, 2006).

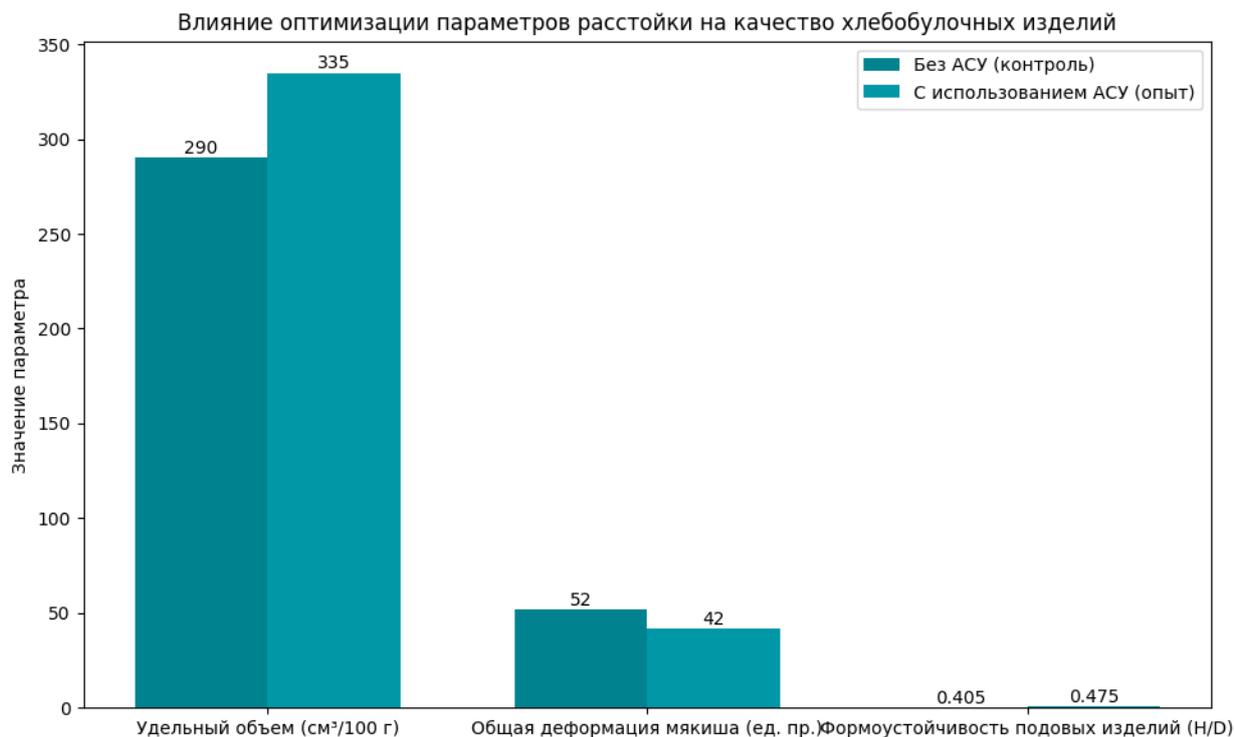


Рисунок 3. Влияние оптимизации параметров расстойки на качество хлебобулочных изделий

Регулирование параметров расстойки тестовых заготовок с помощью АСУ позволяет сократить ее продолжительность на 15-20% и повысить удельный объем хлеба на 10-12% по сравнению с расстойкой в естественных условиях. Это достигается за счет стабилизации температуры и влажности воздуха в расстойной камере с точностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ и $\pm 2\%$ соответственно, а также оптимизации конечной кислотности теста на уровне 3,0-3,2 град (Ершов, 2010).

Использование АСУ на стадии выпечки хлеба обеспечивает повышение равномерности прогрева тестовых заготовок и стабильности качества изделий за счет регулирования температурного режима в пекарной камере с точностью $\pm 2^{\circ}\text{C}$. При этом удельный расход тепловой энергии снижается на 5-7%, а коэффициент заполнения печи повышается на 8-10% (ГОСТ 27842-88. Хлеб из пшеничной муки., 2002).

Анализ динамики изменения свойств хлеба в процессе хранения показывает, что через 72 ч после выпечки общая деформация мякиша изделий, полученных по традиционной технологии, увеличивается на 40-45%, в то время как у хлеба, выработанного с использованием АСУ – лишь на 25-30%. Крошковатость мякиша через 96 ч хранения у контрольных образцов составляет 10-12%, а у опытных – 6-8%, что свидетельствует о лучшей сохраняемости свежести изделий (Михелев, 1987).

Расчеты экономической эффективности показывают, что внедрение АСУ на хлебопекарных предприятиях мощностью 30 т/сут обеспечивает годовой экономический эффект в размере 8-10 млн. руб. за счет увеличения объемов производства, снижения себестоимости продукции и повышения ее качества. При этом срок окупаемости капитальных затрат на приобретение и монтаж технических средств АСУ не превышает 1,5-2,0 года (Максимов, 1979)

Заключение

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о высокой эффективности применения автоматизированных систем управления для оптимизации технологических процессов производства хлебобулочных изделий. Внедрение АСУ на хлебопекарных предприятиях обеспечивает повышение

производительности оборудования на 8-12%, снижение удельных расходов сырья и энергоресурсов на 5-7%, а также улучшение качества и сохраняемости свежести готовой продукции.

Использование математических моделей для оптимизации рецептурного состава хлеба позволяет увеличить его пищевую ценность на 15-40% при сохранении высоких органолептических показателей. Применение АСУ на отдельных стадиях технологического процесса способствует сокращению продолжительности брожения теста на 10-15%, расстойки тестовых заготовок – на 15-20% и повышению удельного объема хлеба на 10-12%.

Прогнозные расчеты показывают, что к 2030 году доля хлебобулочных изделий, вырабатываемых с использованием АСУ, может достигнуть 60-70% от общего объема производства в отрасли. Это позволит увеличить рентабельность хлебопекарных предприятий на 15-20% и повысить уровень обеспечения населения высококачественной продукцией до 95-100%.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку интеллектуальных систем управления технологическими процессами хлебопечения, основанных на использовании методов нечеткой логики и нейросетевых алгоритмов. Это позволит обеспечить адаптацию режимов работы оборудования к изменяющимся свойствам сырья и условиям производства в режиме реального времени, что будет способствовать дальнейшему повышению эффективности и качества продукции хлебопекарной отрасли.

Таким образом, результаты работы имеют важное научное и практическое значение для развития хлебопекарной промышленности и могут быть использованы при модернизации действующих и проектировании новых предприятий отрасли, а также при разработке отраслевых программ повышения эффективности и качества продукции на основе инновационных технологий и оборудования.

Список литературы

1. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства: учеб. 9-е изд., перераб. и доп. Под общ. ред. Л.И. Пучковой. СПб.: Профессия, 2005. 416 с.
2. Василенко З.В., Данилов И.П., Благовещенская М.М. Автоматизированные системы управления хлебопекарными предприятиями. М.: Пищевая промышленность, 1981. 280 с.
3. ГОСТ 27842-88. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. Введ. 1989-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 11 с.
4. Дробот В.И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности. Киев: Урожай, 1988. 152 с.
5. Ершов П.С. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия. СПб.: Профессия, 2010. 208 с.
6. Ильина О.А. Научные основы применения нетрадиционных видов сырья в технологиях хлебобулочных изделий функционального назначения. Орел: ОрелГТУ, 2006. 224 с.
7. Кислухина О.В., Кислухин И.В. Биотехнологические основы производства хлеба. М.: ДеЛи принт, 2002. 367 с.
8. Косован А.П., Дремучева Г.Ф., Чубенко Н.Т. Правила организации и ведения технологического процесса на хлебопекарных предприятиях. М.: Московская типография №2, 1999. 148 с.
9. Максимов А.С., Черных В.Я. Лабораторный практикум по реологии сырья и полуфабрикатов хлебопекарного производства. М.: Пищевая промышленность, 1976. 240 с.
10. Михелев В.А., Мизанбеков С.К., Изтаев А.И. Автоматизированные системы управления качеством продуктов. Алма-Ата: Кайнар, 1987. 264 с.
11. Нилова Л.П. Товароведение и экспертиза зерномучных товаров: учеб. для вузов. М.: ИНФРА-М, 2014. 448 с.
12. Пащенко Л.П., Жаркова И.М. Технология хлебобулочных изделий. М.: КолосС, 2006. 389 с.
13. Плотников В.П., Плотникова Л.В. Автоматизация технологических процессов пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1988. 240 с.

14. Цыганова Т.Б. Технология и организация производства хлебобулочных изделий: Учебник для нач. проф. образования. М.: Академия, 2013. 448 с.
15. Шаншарова Д.А., Изтаев А.И., Магомедов М.Г. Современные аспекты технологии хлебобулочных изделий. Алматы: АТУ, 2015. 204 с.

The use of automated control systems to optimize baking processes in industrial enterprises

Zhang Chen

Master student

Baltic State Technical University «Voenmeh» D.F. Ustinov

St. Petersburg, Russia

zhangchen2120@outlook.com

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 06.11.2023

Accepted 23.12.2023

Published 15.02.2024

UDC 004.896:664.952

EDN GWTYCF

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 most important branches of the food industry, providing the population with valuable food products. Automated control systems (ACS) are being widely implemented in bakery enterprises to improve production efficiency and product quality. This article discusses the use of automated control systems to optimize baking processes in industrial enterprises. The paper analyzes the main stages of the technological process of bakery products production, including acceptance and storage of raw materials, dosing and mixing of ingredients, dough kneading, division, molding, proofing, baking and cooling of finished products. The key factors influencing the course of the technological process and the quality of the final product, such as temperature, humidity, holding time at individual stages, etc., have been identified. The methods of control and regulation of these parameters using automated control systems are considered. Research materials and methods include the analysis of technical documentation for automated control systems used in the bakery industry, the study of the experience of implementing these systems at industry enterprises, as well as conducting experimental studies of the influence of automated control systems on the quality indicators of bakery products. In particular, studies have been conducted to optimize the dosing of basic raw materials using automatic dispensers with an error of $\pm 1-2\%$, to regulate temperature and humidity conditions in proofing and furnace units with an accuracy of $\pm 0.5^\circ\text{C}$ and $\pm 2\%$, respectively, as well as to control the holding time of test blanks at certain technological stages with an accuracy of $\pm 1-3$ minutes. The research results have shown that the use of automated control systems can significantly improve the stability of the technological process and the quality of finished products. Thus, reducing the flour dosing error to $\pm 1\%$ reduces the deviations of dough moisture from the set values by an average of 0.3-0.5%, and optimizing the parameters of proofing and baking bread leads to an increase in the specific volume of products by 10-15% and an improvement in the structural and mechanical properties of the crumb. It was also found that the use of automated control systems helps to reduce production losses of raw materials and finished products by 5-7%, reduce specific energy costs by 8-12% and increase the productivity of technological lines by 10-15% compared with traditional methods of process control. Thus, the results of the conducted research indicate the high efficiency of using automated control systems to optimize baking processes in industrial enterprises. The developed recommendations on the

implementation and operation of these systems can be used to improve the quality and competitiveness of bakery products.

Keywords

bakery industry, automated control systems, optimization of technological processes, quality of bakery products, productivity, resource conservation.

References

1. Auerman L.Ya. Technology of bakery production: studies. 9th ed., reprint. and add. Under the general editorship of L.I. Puchkova. SPb: Profession, 2005. 416 p.
2. Vasilenko Z.V., Danilov I.P., Blagoveshchenskaya M.M. Automated control systems for bakery enterprises. Moscow: Food industry, 1981. 280 p.
3. GOST 27842-88. Bread made from wheat flour. Technical conditions. Introduction 1989-01-01. M.: IPK Publishing House of Standards, 2002. 11 p.
4. Drobot V.I. The use of non-traditional raw materials in the baking industry. Kiev: Harvest, 1988. 152 p.
5. Ershov P.S. Collection of recipes for bread and bakery products. St. Petersburg: Profession, 2010. 208 p.
6. Ilyina O.A. Scientific foundations of the use of non-traditional types of raw materials in the technologies of bakery products for functional purposes. Orel: Orel State Technical University, 2006. 224 p.
7. Kislukhina O.V., Kislukhin I.V. Biotechnological foundations of bread production. M.: Delhi print, 2002. 367 p.
8. Kosovan A.P., Dremucheva G.F., Chubenko N.T. Rules for the organization and management of the technological process at bakery enterprises. M.: Moscow printing house № 2, 1999. 148 p.
9. Maksimov A.S., Chernykh V.Ya. Laboratory workshop on rheology of raw materials and semi-finished products of bakery production. M.: Food industry, 1976. 240 p.
10. Mikhelev V.A., Mizanbekov S.K., Iztaev A.I. Automated product quality management systems. Alma-Ata: Kainar, 1987. 264 p.
11. Nilova L.P. Commodity science and expertise of grain products: textbook. for universities. M.: INFRA-M, 2014. 448 p.
12. Pashchenko L.P., Zharkova I.M. Technology of bakery products. M.: KolosS, 2006. 389 p.
13. Plotnikov V.P., Plotnikova L.V. Automation of technological processes of food production. M.: Agropromizdat, 1988. 240 p.
14. Tsyganova T.B. Technology and organization of bakery products production: Textbook for the beginning of Prof. M.: Academy, 2013. 448 p.
15. Shansharova D.A., Iztaev A.I., Magomedov M.G. Modern aspects of bakery products technology. Almaty: ATU, 2015. 204 p.