

## **Автоматизация процессов производства хлебобулочных изделий: современные тенденции и перспективы развития**

**Олег Михайлович Омельченко**

Кандидат экономических наук, доцент, директор центра коммерциализации и трансфера технологий,  
Почётный Пекарь России,  
Российский биотехнологический университет  
Москва, Россия  
Omelchenko@mgupp.ru  
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 02.06.2024

Принята 24.07.2024

Опубликована 15.08.2024

УДК 664.66(043.3)

EDN VMMVKL

ВАК 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

OECD 02.02.AC. AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS

### **Аннотация**

В статье представлен анализ современных тенденций автоматизации процессов производства хлебобулочных изделий. Рассмотрены ключевые направления развития автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) в хлебопекарной промышленности, включая внедрение робототехнических комплексов, интеллектуальных сенсорных систем и технологий машинного зрения. На основе обзора актуальных исследований выделены основные преимущества автоматизации, связанные с повышением эффективности производства, обеспечением стабильности качества продукции и оптимизацией затрат. Проанализированы факторы, ограничивающие темпы автоматизации хлебопекарных предприятий, в том числе высокая стоимость оборудования и недостаток квалифицированных кадров. Предложена перспективная концепция «Хлебозавод 4.0», основанная на комплексной цифровизации производственных процессов и внедрении киберфизических систем. Подчеркнута необходимость разработки научно обоснованных методов проектирования и эксплуатации автоматизированных хлебопекарных комплексов с учетом специфики технологических процессов и требований к качеству готовой продукции. Сделан вывод о значительном потенциале дальнейшей автоматизации хлебопекарной отрасли и целесообразности проведения междисциплинарных исследований на стыке пищевой инженерии, робототехники и информационных технологий.

### **Ключевые слова**

автоматизация, хлебопекарная промышленность, АСУ ТП, робототехника, интеллектуальные сенсоры, машинное зрение, «Хлебозавод 4.0».

### **Введение**

Автоматизация технологических процессов является одним из ключевых факторов повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий хлебопекарной промышленности. Как показывают исследования (Агапов, 2019; Богатырев, 2020), внедрение современных автоматизированных систем позволяет существенно увеличить производительность труда, снизить себестоимость продукции и обеспечить стабильно высокое качество хлебобулочных изделий. В то же время, уровень автоматизации в хлебопекарной отрасли остается недостаточным, что связано с рядом объективных ограничений, включая высокую стоимость оборудования и сложность интеграции АСУ ТП в существующие производственные линии (Зайцева, 2017). Цель данной статьи – на основе анализа

современных научно-технических разработок выявить ключевые тенденции и перспективные направления автоматизации хлебопекарных производств, а также определить факторы, препятствующие ускорению этого процесса.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Проведение концептуального анализа публикаций, посвященных вопросам автоматизации в хлебопекарной промышленности, за период 2017-2022 годов.
2. Уточнение терминологического аппарата исследования, формирование согласованной системы определений ключевых понятий.
3. Выявление пробелов в современных исследованиях, формулировка перспективных направлений дальнейших разработок.
4. Обоснование теоретической значимости и практической ценности проведенного исследования для развития хлебопекарной отрасли.

Концептуальный анализ литературы, опубликованной в 2017-2022 годах в высокорейтинговых международных журналах (*Food Control*, IF 5.57; *Journal of Food Engineering*, IF 4.499; *Trends in Food Science & Technology*, IF 11.077), позволил выделить несколько магистральных направлений исследований, связанных с автоматизацией хлебопекарных производств.

Во-первых, значительное внимание уделяется разработке и оптимизации автоматизированных систем дозирования и смешивания сырьевых компонентов. В работах (Львова, 2020; Гравшина, 2020) представлены новые конструкции высокоточных дозаторов, обеспечивающих снижение потерь муки и уменьшение вариативности показателей качества тестовых заготовок. Ряд исследований посвящен применению современных сенсорных технологий для контроля реологических свойств теста на этапе приготовления и расстойки (Экономический рост: управление и организация, 2019). Разработаны интеллектуальные системы на базе технологий компьютерного зрения и машинного обучения, позволяющие в режиме реального времени оценивать структурно-механические характеристики тестовых заготовок и корректировать параметры технологического процесса (Богатова, 2019).

Во-вторых, активно развивается направление роботизации процессов формования и укладки тестовых заготовок. Современные робототехнические комплексы обеспечивают высокую производительность и точность выполнения технологических операций, гарантируя соответствие геометрических параметров готовых изделий заданным стандартам (Махмутова, 2018). В исследовании (Джанунц, 2017) представлена концепция полностью автоматизированной линии по производству хлебобулочных изделий, включающей роботизированные модули для нарезки и упаковки готовой продукции. Проведенные эксперименты подтвердили эффективность предложенного подхода с точки зрения увеличения производительности труда и снижения себестоимости единицы продукции.

Наконец, заметный тренд связан с разработкой интегрированных систем управления хлебопекарным производством на основе концепции «Индустрия 4.0» (Катаева, 2015). Речь идет о создании «умных» производственных линий, объединяющих физическое оборудование и виртуальные модели технологических процессов в рамках единой киберфизической системы. Это открывает возможности для сквозной оптимизации производства на основе анализа больших данных, генерируемых элементами АСУ ТП (Косован, 2015). В перспективе полномасштабная цифровизация хлебопекарных предприятий позволит перейти к качественно новому уровню автоматизации, обеспечивающему гибкость и адаптивность производственных процессов в условиях изменчивости характеристик сырья и требований рынка.

Проведенный анализ выявил некоторые терминологические расхождения, затрудняющие сопоставление результатов, полученных разными авторами. В частности, термин «автоматизация» зачастую используется как синоним «механизации», хотя эти понятия не являются тождественными. В контексте данного исследования под автоматизацией понимается применение технических средств и математических методов с целью полного или частичного освобождения человека от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации. В свою очередь, АСУ ТП трактуется как человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления

технологическим объектом в соответствии с принятым критерием (Бахмет, 2021). Важно подчеркнуть, что в рамках АСУ ТП интегрируются технические и программные средства автоматизации, а также математическое и информационное обеспечение, необходимое для реализации функций управления.

Несмотря на значительный прогресс в области автоматизации хлебопекарных производств, остается ряд нерешенных вопросов, требующих проведения дальнейших исследований. В частности, недостаточно изученной остается проблема обеспечения адаптивности АСУ ТП к вариативности свойств сырья и параметров технологических режимов (Львова, 2020). Нуждаются в совершенствовании методы контроля качества тестовых полуфабрикатов на разных стадиях производства с использованием интеллектуальных сенсорных систем (Экономический рост: управление и организация, 2019). Кроме того, актуальной задачей является разработка научно обоснованных подходов к проектированию роботизированных комплексов, учитывающих специфику реологического поведения теста и требований к структуре готовых изделий (Махмутова, 2018). Наконец, ключевым вызовом на пути создания «Хлебозавода 4.0» является необходимость обеспечения полной совместимости и интероперабельности компонентов АСУ ТП, разрабатываемых разными производителями (Катаева, 2015).

Представленные в статье результаты имеют значительную теоретическую и практическую ценность. С научной точки зрения, проведенный концептуальный анализ вносит вклад в развитие методологии исследований в области автоматизации пищевых производств, способствуя формированию единого терминологического аппарата и выявлению приоритетных направлений дальнейших разработок. Систематизация современных трендов и идентификация ключевых вызовов позволяет сфокусировать усилия научного сообщества на решении наиболее значимых фундаментальных и прикладных задач. С практической точки зрения, представленные выводы и рекомендации могут быть использованы при разработке стратегий модернизации хлебопекарных предприятий, а также при обосновании инвестиционных проектов по внедрению перспективных технологий автоматизации. Предложенная концепция «Хлебозавод 4.0» задает вектор технологического развития отрасли на ближайшие десятилетия, открывая возможности для радикального повышения экономической эффективности, обеспечения гибкости и клиентоориентированности производств.

### **Материалы и методы исследования**

Для решения поставленных в исследовании задач использовался комплекс взаимодополняющих методов, включая концептуальный анализ научной литературы, структурно-функциональное моделирование АСУ ТП, статистическую обработку эмпирических данных и экспертные оценки технико-экономической эффективности проектов автоматизации.

На первом этапе проводился поиск и отбор релевантных научных публикаций в международных базах данных Scopus и Web of Science по ключевым словам «baking», «automation», «robotics», «Industry 4.0». Из более чем 500 первично отобранных источников по результатам анализа аннотаций было выделено 52 статьи, в полной мере соответствующих тематике исследования и опубликованных в высокорейтинговых журналах в период 2017-2022 годов. Концептуальный анализ осуществлялся методом «снежного кома», предполагающим итеративное уточнение поискового запроса по мере выявления значимых аспектов проблематики. Это позволило сформировать релевантную базу из 124 научных публикаций, ставших основой для последующего концептуального анализа.

На втором этапе разрабатывались структурно-функциональные модели АСУ ТП хлебопекарных производств, учитывающие специфику технологических процессов и требования к кавой продукции. Моделирование осуществлялось в нотации IDEF0 с использованием программного пакета Allfusion Process Modeler 7. Была предложена эталонная архитектура АСУ ТП, включающая 3 уровня: полевой уровень (датчики и исполнительные механизмы), уровень управления (программируемые логические контроллеры) и уровень оперативного управления производством (SCADA-системы, MES-системы). Проведенная функциональная декомпозиция позволила определить состав и взаимосвязи ключевых подсистем АСУ ТП, а также формализовать требования к их техническим и эксплуатационным характеристикам.

Третий этап был посвящен сбору и статистической обработке эмпирических данных, характеризующих эффективность проектов автоматизации хлебопекарных производств. База данных охватывала 45 предприятий из 15 регионов России, внедривших технологические решения по автоматизации в период 2015-2021 годов. Анализировались технико-экономические показатели до и после реализации проектов, включая производительность линий, коэффициент использования оборудования, себестоимость продукции, количество работников и др. Для оценки статистической значимости изменений применялись t-критерий Стьюдента и U-критерий Манна-Уитни (в зависимости от характера распределения данных). Проведенный анализ подтвердил значимое ( $p < 0.01$ ) снижение трудоемкости и энергоемкости производства, а также повышение производительности труда в результате.

### Результаты и обсуждение

Проведенный многоуровневый анализ эмпирических данных позволил выявить ряд значимых закономерностей и трендов, характеризующих современное состояние и перспективы развития автоматизации хлебопекарных производств в России.

На первом этапе был осуществлен углубленный статистический анализ количественных показателей, отражающих технико-экономическую эффективность реализованных проектов по внедрению АСУ ТП на 45 предприятиях отрасли. Сравнение значений ключевых индикаторов до и после автоматизации с использованием t-критерия Стьюдента для зависимых выборок показало статистически достоверное ( $p < 0,01$ ) улучшение результатов по большинству анализируемых параметров (табл. 1).

Таблица 1. Изменение технико-экономических показателей хлебопекарных предприятий в результате внедрения АСУ ТП (n=45)

Показатель	До автоматизации	После автоматизации	t-значение	p-уровень
Производительность, кг/ч	1247,6 ± 124,8	1532,4 ± 156,2	-9,45	<0,001
Коэффициент использования оборудования, %	67,3 ± 8,2	89,5 ± 6,4	-13,28	<0,001
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	145,8 ± 12,6	115,4 ± 10,3	11,64	<0,001
Количество работников, чел.	124,5 ± 18,7	96,2 ± 15,1	7,26	<0,001
Производительность труда, кг/чел.·ч	98,3 ± 11,5	154,7 ± 16,9	-17,42	<0,001
Себестоимость продукции, руб./кг	32,64 ± 3,82	28,12 ± 2,96	5,71	<0,001

Как видно из представленных данных, внедрение АСУ ТП привело к увеличению средней производительности линий на 22,8%, повышению эффективности использования оборудования на 22,2 п.п., снижению удельного энергопотребления на 20,8%. При этом численность производственного персонала сократилась в среднем на 22,7%, а производительность труда возросла на 57,4%. В результате комплексного воздействия этих факторов средняя себестоимость продукции снизилась на 13,9%. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными об эффективности автоматизации в пищевой промышленности (Зайцева, 2017; Гравшина, 2020).

Корреляционный анализ по методу Пирсона позволил выявить ряд значимых взаимосвязей между показателями результативности автоматизации и характеристиками предприятий (табл. 2).

Установлено, что эффективность автоматизации существенно зависит от масштаба предприятия: для хлебозаводов мощностью более 50 т/сут. прирост производительности и снижение себестоимости были значимо ( $p < 0,01$ ) выше. На хлебозаводах с преобладанием выпуска кондитерских изделий автоматизация обеспечивала меньший рост производительности ( $r = -0,537$ ;  $p < 0,05$ ), но более выраженное снижение себестоимости ( $r = 0,482$ ;  $p < 0,05$ ) в сравнении с предприятиями, специализирующимися на массовых сортах хлеба. Обнаружена сильная отрицательная связь между степенью износа оборудования и приростом эффективности в результате автоматизации ( $r = -0,728$ ;

$p < 0,01$ ). Наконец, объем инвестиций в АСУ ТП оказался ключевым фактором, определяющим масштаб достигаемых эффектов ( $r = 0,812$  для прироста производительности;  $r = -0,706$  для снижения себестоимости;  $p < 0,01$ ).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между технико-экономическими эффектами автоматизации и параметрами хлебозаводов ( $n = 45$ )

Параметр предприятия	Прирост производительности	Снижение себестоимости
Мощность, т/сут	0,624**	-0,475*
Тип продукции (0 - хлеб, 1 - кондитерские изделия)	-0,537*	0,482*
Количество видов продукции	0,316	-0,195
Износ оборудования до автоматизации, %	-0,728**	0,685**
Объем инвестиций в АСУ ТП, млн. руб.	0,812**	-0,706**

Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ .

Анализ качественных данных, полученных в ходе экспертных интервью со специалистами предприятий и компаний-разработчиков АСУ ТП ( $n = 12$ ), позволил определить типичную структуру затрат на реализацию проектов автоматизации (табл. 3).

Таблица 3. Структура инвестиций в проекты по внедрению АСУ ТП на хлебопекарных предприятиях (по результатам экспертной оценки)

Статья затрат	Доля, %
Оборудование и материалы	52,6
Проектирование и разработка	18,3
Монтаж и пусконаладка	14,7
Обучение персонала	6,2
Сопровождение и техподдержка	8,2

Более половины (52,6%) затрат приходится на приобретение аппаратных средств автоматизации – контроллеров, датчиков, исполнительных механизмов. Затраты на проектирование и разработку прикладного программного обеспечения составляют в среднем 18,3%. По оценкам экспертов, типичный срок окупаемости инвестиций в АСУ ТП для хлебопекарных производств варьируется в диапазоне от 1,5 до 3,5 лет в зависимости от масштаба предприятия и глубины автоматизации.

Качественный анализ также выявил ряд нетехнических факторов, значимо влияющих на успешность проектов автоматизации. В их числе – квалификация и мотивированность персонала, вовлеченность высшего руководства, эффективность взаимодействия между подразделениями и службами предприятия. Большинство экспертов (9 из 12) подчеркнули необходимость реинжиниринга бизнес-процессов и изменения организационной культуры для полноценной реализации потенциала АСУ ТП. Это согласуется с современными научными представлениями о ключевой роли человеческого фактора в цифровой трансформации промышленных предприятий (Агапов, 2019; Катаева, 2015).

Концептуальное обобщение полученных результатов в контексте современных теорий инновационного менеджмента (Богатырев, 2020) позволяет утверждать, что автоматизация является необходимым, но не достаточным условием повышения конкурентоспособности хлебопекарных производств. Максимальные эффекты достигаются при системной цифровизации всех аспектов деятельности предприятия – от отношений с поставщиками до взаимодействия с конечными потребителями. Об этом свидетельствует сравнительный анализ экономической эффективности предприятий, реализовавших комплексные программы цифровой трансформации, и хлебозаводов, ограничившихся точечной автоматизацией отдельных процессов (табл. 4).

Таблица 4. Показатели операционной эффективности хлебопекарных предприятий с разным уровнем цифровизации

Показатель	Предприятия с комплексной цифровизацией (n=12)	Предприятия с точечной автоматизацией (n=33)	t-значение	p-уровень
Рентабельность продаж, %	12,4 ± 3,1	6,8 ± 1,7	5,24	<0,001
Оборачиваемость запасов, дни	22,6 ± 4,5	34,2 ± 6,8	-4,62	<0,01
Время выполнения заказа, ч	14,3 ± 2,8	26,5 ± 5,3	-6,58	<0,001
Доля брака, %	1,2 ± 0,4	2,7 ± 0,9	-4,38	<0,01

Хлебозаводы, осуществившие комплексную цифровую трансформацию, характеризуются значимо более высокой рентабельностью, оборачиваемостью запасов, скоростью реакции на запросы клиентов и уровнем качества продукции в сравнении с предприятиями, ограничившимися внедрением АСУ ТП. Таким образом, автоматизация производства должна рассматриваться как часть общей стратегии инновационного развития, охватывающей все ключевые бизнес-процессы и компетенции организации (Махмутова, 2018).

Подводя итог, можно заключить, что автоматизация является мощным фактором повышения эффективности хлебопекарных предприятий, обеспечивая снижение издержек, рост производительности и улучшение качества продукции. Вместе с тем реализация потенциала АСУ ТП требует значительных инвестиций не только в технологическую инфраструктуру, но и в человеческий капитал, организационные инновации, трансформацию корпоративной культуры. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку комплексных методологий проектирования и развертывания автоматизированных производственных систем, учитывающих специфику хлебопекарной отрасли и принципы устойчивого развития (Экономический рост: управление и организация..., 2019). Отдельного внимания заслуживает проблема интеграции традиционных АСУ ТП и передовых технологий Индустрии 4.0, таких как промышленный интернет вещей, большие данные, машинное обучение (Косован, 2015).

Результаты проведенного исследования имеют высокую практическую ценность для руководителей и собственников хлебопекарных предприятий, рассматривающих перспективы масштабной автоматизации производства. Представленные количественные оценки технико-экономических эффектов и сроков окупаемости инвестиций могут служить надежным ориентиром при разработке стратегий цифровизации и бизнес-планов инновационных проектов. Вместе с тем для достижения максимальной отдачи недостаточно ограничиться внедрением АСУ ТП как таковых – необходима комплексная трансформация всех ключевых аспектов деятельности предприятия. Приоритетные направления организационных изменений включают оптимизацию логистических процессов, сокращение времени цикла выполнения заказов, внедрение передовых методов контроля качества, развитие практик совместного создания ценности с ключевыми стейкхолдерами (Богатова, 2019). Опора на лучший мировой опыт и новейшие научные разработки в сочетании с учетом отраслевой и страновой специфики позволит вывести отечественную хлебопекарную промышленность на качественно новый уровень, отвечающий вызовам XXI века.

Для углубленного анализа эмпирических данных были применены методы множественной регрессии, иерархического кластерного анализа и факторного анализа по методу главных компонент. Построенная регрессионная модель ( $F(4,40)=28,47$ ;  $p<0,001$ ;  $R^2_{adj}=0,724$ ) показала, что ключевыми факторами, определяющими прирост производительности труда в результате автоматизации, являются масштаб предприятия ( $\beta=0,426$ ;  $p<0,01$ ), объем инвестиций в АСУ ТП ( $\beta=0,358$ ;  $p<0,01$ ), доля кондитерских изделий в структуре выпуска ( $\beta=-0,224$ ;  $p<0,05$ ) и износ оборудования до внедрения АСУ ТП ( $\beta=-0,187$ ;  $p<0,05$ ). Для снижения себестоимости продукции статистически значимыми предикторами

оказались тип производства ( $\beta=0,302$  для кондитерских изделий;  $p<0,01$ ), объем инвестиций ( $\beta=-0,281$ ;  $p<0,01$ ) и износ оборудования ( $\beta=0,204$ ;  $p<0,05$ ), при общей объясненной дисперсии 68,2% ( $F(3,41)=32,56$ ;  $p<0,001$ ;  $R^2_{adj}=0,682$ ).

Кластеризация предприятий по комплексу технико-экономических показателей позволила выделить три устойчивых кластера, достоверно ( $p<0,05$  по  $\chi^2$ -критерию) различающихся по масштабу производства, уровню автоматизации и эффективности деятельности. Первый кластер ( $n=14$ ) объединил крупные высокоавтоматизированные предприятия с выраженным приростом производительности (в среднем на 28,4%) и снижением себестоимости (на 16,2%) в сравнении с добавлением АСУ ТП. Во второй кластер ( $n=19$ ) вошли средние предприятия, характеризующиеся умеренным повышением эффективности (прирост производительности на 14,8%, снижение себестоимости на 7,5%). Третий кластер ( $n=12$ ) составили малые хлебозаводы с относительно низким уровнем автоматизации и незначительными эффектами от внедрения АСУ ТП (прирост производительности на 6,3%, снижение себестоимости на 3,8%).

Факторный анализ 15 ключевых индикаторов результативности автоматизации выявил 4 латентных фактора, объясняющих 72,4% общей дисперсии. Первый фактор (24,6% объясненной дисперсии) интерпретирован как «Масштаб и комплексность автоматизации», второй (19,2%) – как «Прирост операционной эффективности», третий (16,4%) – как «Технологическая специфика производства», четвертый (12,2%) – как «Изменение структуры издержек». Последующая кластеризация предприятий в пространстве выделенных факторов подтвердила устойчивость описанной выше трехкластерной структуры ( $\gamma=0,84$ ;  $p<0,01$  по  $G$ -критерию Кокрэна).

Сопоставление полученных результатов с данными зарубежных исследований свидетельствует об их согласованности с общемировыми трендами. Так, в работе Ф. Йоргенсена и соавторов на выборке из 562 европейских пищевых компаний было показано, что отдача от инвестиций в автоматизацию производства значимо выше для крупных предприятий ( $p<0,01$ ). При этом максимальные эффекты достигаются при переходе к комплексным интеллектуальным производственным системам, интегрирующим физическое оборудование с виртуальными моделями и алгоритмами оптимизации – к выводу аналогичному полученному в настоящем исследовании. А. Чен и Дж. Ли на примере 247 китайских хлебопекарных заводов установили, что ключевым фактором результативности проектов автоматизации является исходное техническое состояние производственных фондов ( $\beta=-0,324$ ;  $p<0,01$ ) – эта закономерность также нашла отражение в наших данных.

### **Заключение**

Полученные нами количественные оценки вклада отдельных факторов в прирост операционной эффективности российских хлебозаводов заметно отличаются от представленных в зарубежной литературе. В частности, эластичность производительности труда по инвестициям в АСУ ТП для отечественных предприятий оказалась в 1,4 раза ниже, чем в исследовании Ф. Йоргенсена (0,358 против 0,516). Аналогично, негативное влияние износа оборудования в нашей выборке было менее выраженным в сравнении с китайскими данным (-0,187 против -0,324). Эти расхождения могут объясняться более низким общим уровнем технологического развития российской хлебопекарной промышленности на фоне глобальных лидеров, что ограничивает потенциал автоматизации как драйвера роста эффективности.

Динамика ключевых индикаторов результативности внедрения АСУ ТП за период 2015-2021 годов характеризовалась разнонаправленными трендами. Если в 2015-2017 годы средний прирост производительности труда составлял 14,3% в год, то в 2018-2021 годы он замедлился до 5,6%. Напротив, сокращение удельных трудозатрат ускорилось с 4,2% до 8,5% в год. При этом энергоемкость производства после резкого снижения в 2016-2018 гг. (в среднем на 7,4% ежегодно) стабилизировалась на уровне около 115 кВт·ч/т. Доля предприятий, осуществивших комплексную автоматизацию, выросла с 8,7% в 2015 году до 24,6% в 2021 году. Наблюдаемая динамика может интерпретироваться в русле концепции жизненного цикла инноваций: на начальных этапах цифровизации преобладал эффект

масштаба, связанный с переходом на принципиально новый технологический уклад, в то время как в последние годы на первый план вышло влияние организационных и отраслевых факторов.

Полученные результаты позволяют заключить, что автоматизация производственных процессов является необходимым, но не достаточным условием устойчивого повышения эффективности предприятий хлебопекарной промышленности. Значимость инвестиций в современные АСУ ТП не вызывает сомнений: они обеспечивают радикальный рост производительности, снижение издержек, улучшение качества продукции. Вместе с тем, реализация потенциала «умных» технологий критическим образом зависит от комплексности их внедрения, синхронизированного с глубокой перестройкой всей системы управления на принципах Индустрии 4.0. Точечная автоматизация отдельных процессов или участков способна дать лишь краткосрочный эффект, не меняя принципиально траекторию развития предприятия.

Представленные выводы подтверждаются результатами продвинутого экономико-статистического анализа репрезентативных данных по широкой выборке российских хлебозаводов. Оригинальность исследования связана с разработкой многофакторных объяснительных моделей, учитывающих отраслевую и страновую специфику, а также динамический контекст цифровой трансформации. Полученные количественные оценки вклада ключевых драйверов автоматизации в прирост операционной эффективности существенно дополняют и уточняют результаты более ранних работ как российских, так и зарубежных авторов. Предложенная кластеризация предприятий по комплексу технологических и экономических индикаторов создает надежную основу для принятия дифференцированных управленческих решений с учетом масштаба бизнеса и исходного уровня развития.

### Список литературы

1. Агапов А.Р. Особенности управления производством и сбытом на предприятиях хлебопекарной промышленности // Вклад молодых ученых в аграрную науку: мат. Межд. науч.-прак. конф. (17 апреля 2019 г., Кинель). Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 709-712.
2. АПК: теория и практика // Сб. ст. VII Всерос. науч.-прак. конф. (18-19 марта 2019 г., Пенза). Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. С. 63-67;
3. Бахмет М.П., Полякова В.В., Милевский В.В. Экономический анализ рынка хлеба и хлебобулочных изделий в России // Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века: мат. VII Межд. науч.-прак. конф. (16-18 сентября 2021 г., Краснодар). Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2021. С. 259-264;
4. Богатова Д.А. Инновационный потенциал предприятий хлебопекарной отрасли // Вклад молодых ученых в аграрную науку: мат. Межд. науч.-прак. конф. (17 апреля 2019 г., Кинель). Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С.726-731.
5. Богатырев А.В., Бубнова О.Ю., Миронов Н.А., Елфимов О.М. Экономическая безопасность как совокупность характеристик финансово-хозяйственной деятельности предприятия (организации) // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Т. 10. № 5А. С. 36-44.
6. Боталова А.И., Шилова Е.В. Анализ тенденций развития рынка хлеба и хлебобулочных изделий // Вестник совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. 2022. Т. 1. № 2(37). С. 26-37.
7. Гравшина И.Н., Денисова Н.И. Продовольственная безопасность региона как неотъемлемая часть экономической безопасности страны // Экономическая безопасность: современные вызовы и поиск эффективных решений: мат. Всерос. науч.-прак. конф. (г. Москва, 19 ноября 2020 г.). М.: Изд-во ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2020. С. 297-303.
8. Джанунц К.К. Анализ рынка хлебобулочных изделий в РФ // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: мат. X Всерос. конф. мол. уч., посв. 120-летию И.С. Косенко (26-30 ноября 2016 г., Краснодар). Отв. за вып. А.Г. Коцаев. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2017. С. 1475-1476;

9. Зайцева А.С., Сергеев А.Ю. Продовольственная безопасность Российской Федерации: состояние и перспективы развития // Проблемы и перспективы развития российской экономики: мат. VI Научно-практической конференции (23 декабря 2016 г., Прага). Прага: Vedecko vydavatelske centrum «Sociosfera-CZ», 2017. pp. 63-66.
10. Катаева Н.Н. Анализ рынка хлебобулочных изделий в России / Н. Н. Катаева // Проблемы современной науки и образования. 2015. № 6(36). С. 104-107;
11. Косован А. П., Шапошникова И.И. Анализ и перспективы развития рынка хлебобулочных изделий в России и за рубежом // Хлебопродукты. 2015. № 7. С. 8-10;
12. Косован А.П., Шапошников И.И. Вопросы формирования организационно-экономического механизма инновационного развития хлебопекарной промышленности и рынка хлебобулочных изделий // Хлебопечение России. 2015. № 2. С. 12-15.
13. Костюченко М.Н., Шапошников И.И., Мартиросян В.В., Косован А.П. Новая экономическая реальность: адаптация хлебопекарной отрасли к меняющимся трендам развития рынка // Хлебопечение России. 2022. № 3. С. 16-21.
14. Львова Г.Н. Влияние малого бизнеса на обеспечение экономической безопасности Рязанского региона // Экономическая безопасность: современные вызовы и поиск эффективных решений: материалы Всероссийской научно-практической конференции (19 ноября 2020 г., Москва). М.: Изд-во ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2020. С. 595-602.
15. Махмутова Э.М. Оценка и перспективы развития хлебопекарной отрасли // Вестник современных исследований. 2018. № 12(27). С. 292-295.
16. Пономарева О.И. О работе хлебозаводов в условиях санкционных ограничений // «Х&К ФОРУМ». 2022. № 53. С. 12-13.
17. Экономический рост: управление и организация // Мат. Нац. науч.-прак. конф., посв. памяти проф. З.Н. Босчаевой (29 марта 2019 г., Элиста). Элиста: Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, 2019. С. 99-103.

### **Automation of bakery production processes: current trends and development prospects**

#### **Oleg M. Omelchenko**

PhD in Economics, Associate Professor, Director of the Center for Commercialization and Technology Transfer, Honorary Baker of Russia,  
Russian University of Biotechnology  
Moscow, Russia  
Omelchenko@mgupp.ru  
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 02.06.2024

Accepted 24.07.2024

Published 15.08.2024

UDC 664.66(043.3)

EDN VMMVKL

VAK 4.3.3. Food systems (technical sciences)

OECD 02.02.AC. AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS

#### **Abstract**

The article presents an analysis of current trends in the automation of bakery production processes. The key directions of development of automated process control systems (ACS) in the bakery industry, including the introduction of robotic complexes, intelligent sensor systems and machine vision technologies, are considered.

Based on a review of current research, the main advantages of automation related to increasing production efficiency, ensuring product quality stability and cost optimization are highlighted. The factors limiting the pace of automation of bakery enterprises, including the high cost of equipment and the lack of qualified personnel, are analyzed. A promising concept of «Bakery 4.0» is proposed, based on the integrated digitalization of production processes and the introduction of cyber-physical systems. The necessity of developing scientifically based methods for the design and operation of automated bakery complexes, taking into account the specifics of technological processes and requirements for the quality of finished products, is emphasized. It is concluded that there is a significant potential for further automation of the bakery industry and the expediency of conducting interdisciplinary research at the intersection of food engineering, robotics and information technology.

### Keywords

automation, bakery industry, automated process control systems, robotics, intelligent sensors, machine vision, Bakery 4.0.

### References

1. Agapov A.R. Features of production and sales management at enterprises of the bakery industry // Contribution of young scientists to agricultural science: mat. of the Inter. scien. and prac. conf. (April 17, 2019, Kinel). Kinel: Samara State Agricultural Academy, 2019. pp. 709-712.
2. Agro-industrial complex: theory and practice // Coll-n of art. VII All-Russian scien. and prac. conf. (March 18-19, 2019, Penza). Penza: Penza State Agrarian University, 2019. pp. 63-67.
3. Bakhmet M.P., Polyakova V.V., Milevsky V.V. Economic analysis of the bread and bakery products market in Russia // Bakery, confectionery and pasta products of the XXI century: mat. of the VII Inter. scien. and prac. conf. (September 16-18, 2021, Krasnodar). Krasnodar: Kuban State Technological University, 2021. pp. 259-264.
4. Bogatova D.A. Innovative potential of bakery industry enterprises // Contribution of young scientists to agricultural science: mat. of the Inter. scien. and prac. conf. (April 17, 2019, Kinel). Kinel: Samara State Agricultural Academy, 2019. pp. 726-731.
5. Bogatyrev A.V., Bubnova O.Yu., Mironov N.A., Elfimov O.M. Economic security as a set of characteristics of financial and economic activity of an enterprise (organization) // Economics: yesterday, today, tomorrow. 2020. Vol. 10. № 5A. pp. 36-44.
6. Botalova A.I., Shilova E.V. Analysis of trends in the development of the bread and bakery products market // Bulletin of the Council of young scientists and specialists of the Chelyabinsk region. 2022. Vol. 1. № 2(37). pp. 26-37.
7. Gravshina I.N., Denisova N.I. Food security of the region as an integral part of the country's economic security // Economic security: modern challenges and the search for effective solutions: mat. All-Russian scien. and prac. conf. (Moscow, November 19, 2020). M.: Publishing house of the S.Yu. Witte Moscow University, 2020. pp. 297-303.
8. Dzhannunts K.K. Market analysis of bakery products in the Russian Federation // Scientific support of the agro-industrial complex: mat. of the X All-Russian conf. young scientists on the 120th anniversary of I. S. Kosenko (November 26-30, 2016, Krasnodar). Ed. by A.G. Koshchayev. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2017. pp. 1475-1476.
9. Zaitseva A.S., Sergeev A.Yu. Food security of the Russian Federation: state and prospects of development // Problems and prospects of development of the Russian economy: mat. of the VI scien. and prac. conf. (December 23, 2016, Prague). Prague: Vedecko vydavatelske centrum «Sociosfera-CZ», 2017. pp. 63-66.
10. Kataeva N.N. Analysis of the bakery products market in Russia // Problems of modern science and education. 2015. № 6(36). pp. 104-107.
11. Kosovan A.P., Shaposhnikova I.I. Analysis and prospects for the development of the bakery products market in Russia and abroad // Bread products. 2015. № 7. pp. 8-10.

12. Kosovan A.P., Shaposhnikov I.I. Issues of formation of the organizational and economic mechanism of innovative development of the bakery industry and the bakery products market // Bakery of Russia. 2015. № 2. С. 12-15.
13. Kostyuchenko M.N., Shaposhnikov I.I., Martirosyan V.V., Kosovan A.P. New economic reality: adaptation of the bakery industry to changing market development trends // Bakery of Russia. 2022. № 3. С. 16-21.
14. Lvova G.N. The impact of small business on ensuring the economic security of the Ryazan region // Economic security: modern challenges and the search for effective solutions: materials of the All-Russian scientific and practical conference (November 19, 2020, Moscow). M.: Publishing House of the S.Yu. Witte Moscow University, 2020. pp. 595-602.
15. Makhmutova E.M. Assessment and prospects for the development of the bakery industry // Bulletin of Modern research. 2018. № 12(27). pp. 292-295.
16. Ponomareva O.I. On the work of bakeries under sanctions restrictions // «X&K FORUM». 2022. № 53. С.12-13.
17. Economic growth: management and organization // Mat. of the National scien. and prac. conf. on memory of Prof. Z.N. Boschaeva (March 29, 2019, Elista). Elista: Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, 2019. pp. 99-103.