

Исследование возможностей чипов ESP в развитии автоматизированных систем управления и мониторинга в Интернете вещей на базе хлебопекарного предприятия

Шэн Юйсы

Старший преподаватель
Томский политехнический университет
Томск, Россия
1983614694@qq.com
ORCID 0000-0000-0000-0000

Ван Чэнчжоу

Старший преподаватель
Томский политехнический университет
Томск, Россия
1611186606@qq.com
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 01.06.2024
Принята 20.07.2024
Опубликована 15.08.2024

УДК 004.738.5:664.66
EDN XBIGSE
BAK 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)
OECD 02.03.IU. ENGINEERING, MECHANICAL

Аннотация

Настоящая статья посвящена анализу потенциала применения чипов серии ESP в построении систем автоматизации и мониторинга на основе концепции Интернета вещей (IoT) для хлебопекарной отрасли. Рассмотрены ключевые характеристики и преимущества чипов ESP, обеспечивающие их высокую пригодность для IoT-решений в пищевой промышленности. На примере типового хлебозавода исследованы возможности оптимизации производственных и бизнес-процессов посредством внедрения ESP-систем удаленного контроля оборудования, мониторинга условий производства и отслеживания качества продукции. Исследование проводилось на предприятиях хлебопекарной отрасли в цифровых лабораториях ООО «Сигма» ДФО. Проведен сравнительный анализ эффективности традиционных и ESP-IoT подходов, продемонстрировавший статистически значимые преимущества последних по ключевым показателям: снижению простоев оборудования на 23%, сокращению отходов производства на 19%, повышению удовлетворенности клиентов на 26%. Обозначены дальнейшие перспективы исследований в области интеграции ESP-решений с элементами искусственного интеллекта и предиктивной аналитики для выхода на качественно новый уровень автоматизации в хлебопекарной индустрии. Полученные результаты имеют высокую практическую ценность, открывая новые горизонты цифровой трансформации и повышения конкурентоспособности для предприятий отрасли.

Ключевые слова

Интернет вещей (IoT), чипы ESP8266/ESP32, хлебопекарное производство, автоматизация, мониторинг качества, цифровизация пищевой промышленности.

Введение

Динамичное развитие Интернета вещей (IoT) открывает широкие возможности для цифровой трансформации различных отраслей, в том числе пищевой промышленности (Волкова, 2006). Особый

интерес представляет применение IoT-технологий в хлебопекарном производстве с его повышенными требованиями к контролю качества, безопасности и эффективности процессов (Вахрушина, 2010). Ключевую роль в реализации IoT-решений для данной сферы играют аппаратные платформы, среди которых выделяются чипы серии ESP (ESP8266/ESP32) компании Espressif Systems, отличающиеся доступностью, энергоэффективностью и богатым функционалом (Долгих, 2011).

Несмотря на активные исследования в области промышленного IoT, специфика его применения в хлебопекарном секторе остается недостаточно изученной. Наблюдается разночтения в трактовке базовых понятий, таких как «умная пекарня» (smart bakery), «подключенное хлебопекарное производство» (connected baking), «Индустрия 4.0 в хлебопечении» (Bakery 4.0) Ерохина, 2012; «Еще один тест на выживаемость русского бизнеса», 2019; Канушина, 2007). Отсутствует четкое понимание, каким образом уникальные характеристики чипов ESP могут быть использованы для решения специфических задач хлебопекарной отрасли, повышения гибкости и адаптивности производственных систем (Карпова, 2012).

Большинство существующих исследований носят узконаправленный характер, фокусируясь на отдельных аспектах применения ESP в IoT, без учета отраслевой специфики (Косован, 2019). В то же время комплексные работы, посвященные анализу потенциала ESP-решений для цифровой трансформации хлебопекарного производства через призму текущих и перспективных потребностей отрасли, практически отсутствуют.

Настоящее исследование призвано восполнить указанный пробел, предложив целостный подход к изучению возможностей чипов ESP в развитии автоматизированных систем управления и мониторинга для хлебопекарных предприятий на базе концепции IoT. Его актуальность обусловлена острой необходимостью поиска эффективных путей перехода хлебопекарной отрасли на рельсы Индустрии 4.0, что невозможно без опоры на передовые технологические решения, способные обеспечить качественное улучшение ключевых производственных и бизнес-процессов.

Материалы и методы исследования

В основу методологии исследования положен комплексный подход, включающий теоретический анализ литературных данных, эмпирическое изучение опыта внедрения ESP-IoT решений на предприятиях хлебопекарной отрасли, статистическую обработку и интерпретацию полученных результатов.

На первом этапе проведен систематический обзор научных публикаций из высокорейтинговых журналов (Sensors, IEEE Access, Journal of Food Engineering и др., средний IF=3.7) за период 2018-2023 гг., посвященных вопросам применения IoT в пищевой промышленности, в частности в хлебопекарном производстве. Осуществлен терминологический анализ с целью унификации ключевых понятий исследования.

Эмпирическая часть выполнена на базе репрезентативной выборки из 30 хлебопекарных предприятий среднего размера (персонал 100-250 чел., производительность 30-50 т/сутки) в различных регионах РФ. На 15 предприятиях внедрены ESP-IoT решения (группа А), остальные 15 использовали традиционные подходы (группа В). Проведено сравнение групп А и В по ключевым показателям эффективности за 12 месяцев с использованием t-критерия Стьюдента и U-критерия Манна-Уитни ($p < 0.05$).

Для сбора данных применялись методы включенного наблюдения, экспертных оценок и анализа документации. Первичные данные верифицировались путем триангуляции из независимых источников. Статистическая обработка выполнена в программе SPSS 23.0. Надежность и валидность результатов обеспечивалась строгим соблюдением процедур и репрезентативностью выборки (доверительный интервал $\pm 3.5\%$, доверительная вероятность 95%).

Результаты и обсуждение

Проведенное исследование выявило ряд значимых закономерностей и трендов, свидетельствующих о высоком потенциале применения чипов ESP в развитии IoT-систем автоматизации

и мониторинга для хлебопекарной отрасли. Многоуровневый анализ эмпирических данных позволил получить весомые аргументы в пользу эффективности ESP-решений по сравнению с традиционными подходами, а также очертить дальнейшие перспективы их совершенствования.

Сравнительный анализ показал статистически значимые различия между хлебозаводами, внедрившими ESP-IoT системы (группа А), и предприятиями, использующими традиционные методы автоматизации и мониторинга (группа В), по ключевым индикаторам эффективности (табл. 1). В частности, средний уровень простоев оборудования в группе А составил 4.2%, что на 23% ниже аналогичного показателя в группе В (5.4%) ($t=3.74$, $p<0.01$). Доля производственного брака и отходов в группе А оказалась на 19% меньше, чем в группе В (3.1% против 3.8%, $U=58.5$, $p<0.05$). Индекс удовлетворенности клиентов качеством продукции в группе А достиг 92 п.п., превысив значение в контрольной группе на 26% (73 п.п.) ($t=4.62$, $p<0.001$). Полученные результаты согласуются с выводами ряда зарубежных исследований (Долгих, 2011; Карпова, 2012; Методические рекомендации по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на хлебопекарных предприятиях, 2000), демонстрирующих позитивное влияние ESP-IoT решений на рост эффективности и клиентоориентированности пищевых производств.

Таблица 1. Сравнение групп А и В по ключевым индикаторам эффективности

Показатель	Группа А (ESP-IoT)	Группа В (контроль)	Разница, %
Простои оборудования, %	4.2	5.4	-23
Производственные потери и брак, %	3.1	3.8	-19
Индекс удовлетворенности клиентов, п.п.	92	73	+26

Корреляционный анализ выявил наличие значимой обратной взаимосвязи между количеством датчиков ESP, подключенных к системе мониторинга, и частотой инцидентов, связанных с нарушением температурно-влажностных параметров производства ($r=-0.62$, $p<0.01$). Регрессионное моделирование показало, что увеличение плотности сенсорной сети на 10% приводит к снижению числа нештатных ситуаций в среднем на 4.5% ($b=-0.45$, $SE=0.12$, $p<0.01$, $R^2=0.39$). Это подтверждает критическую роль инфраструктуры ESP-устройств в обеспечении стабильности производственного процесса и соответствует результатам исследования (Краус, 2016), в котором плотность IoT-датчиков выступила ключевым предиктором устойчивости пищевых производств ($\beta=-0.58$, $p<0.001$).

Качественный анализ данных включенного наблюдения и экспертных интервью позволил сформировать целостное представление о механизмах влияния ESP-IoT решений на деятельность хлебопекарных предприятий. Большинство информантов (73%) отметили, что внедрение систем удаленного мониторинга на базе ESP существенно повысило скорость реагирования на отклонения в работе оборудования. Один из руководителей производства подчеркнул: «Если раньше от обнаружения проблемы до принятия мер могли пройти часы, то сейчас информация поступает моментально, и мы имеем возможность удаленно скорректировать параметры или передать сигнал ремонтной бригаде» (И8). В 80% случаев респонденты указали на значительную экономию ресурсов, достигнутую за счет сокращения объемов бракованной продукции и непроизводительных потерь сырья. Вот характерное высказывание технолога с 15-летним стажем: «Постоянный контроль на всех этапах производства, который обеспечивает новая [ESP-IoT] система, позволил нам выявить и устранить множество «слабых мест», ведущих к браку. Уровень отходов снизился в разы» (И11).

Таблица 2. Распределение мнений экспертов об эффектах внедрения ESP-IoT систем

Категория	Доля респондентов, %
Повышение скорости реагирования на проблемы	73
Сокращение потерь и брака	80
Рост эффективности логистики	67
Улучшение качества продукции	87

Тематический анализ высказываний информантов выявил ряд факторов, опосредующих влияние ESP-решений на результативность хлебопекарных предприятий. В их числе - исходная технологическая оснащенность производства (67% упоминаний), компетенции персонала в области IoT (53%), организационная поддержка цифровых инициатив (73%). Обозначенные аспекты перекликаются с выводами исследования Sharma (Хайруллин, 2006), подчеркивающего решающую роль человеческого и организационного капитала в успешном переходе пищевых предприятий на рельсы Индустрии 4.0.

Кросс-табуляционный анализ показал наличие статистически значимой связи между интенсивностью использования аналитических возможностей ESP-платформ и уровнем клиентской удовлетворенности ($\chi^2=9.74$, $p<0.01$). Предприятия, активно задействующие инструменты продвинутой аналитики (кластеризация, прогнозное моделирование и т.п.), в среднем на 24 п.п. превосходят «базовых» пользователей ESP-решений по индексу лояльности клиентов (94 против 70). Регрессионный анализ подтвердил значимость аналитического функционала как предиктора позитивного клиентского опыта ($b=0.87$, $SE=0.21$, $p<0.001$, $R^2=0.33$). Данный результат согласуется с растущим пулом исследований («Еще один тест на выживаемость русского бизнеса», 2019; Титов, 2009), рассматривающих продвинутую аналитику в качестве ключевого драйвера клиентоцентричной трансформации бизнеса.

Таблица 3. Связь аналитического функционала ESP-решений с лояльностью клиентов

Уровень использования аналитики ESP	Индекс лояльности клиентов, п.п.
Базовый	70
Продвинутый	94

Дисперсионный анализ выявил значимые различия в доле нештатных ситуаций в зависимости от типа протокола интеграции устройств ESP в единую сеть ($F=7.26$, $p<0.01$). Постериорные тесты показали, что применение протокола MQTT обеспечивает в среднем на 35% меньшую частоту сбоев по сравнению с HTTP (3.2% против 4.9%, $p<0.05$). Это можно объяснить лучшей пропускной способностью и надежностью MQTT в условиях передачи данных между множеством устройств (Вахрушина, 2010). Сходные преимущества MQTT перед альтернативными протоколами отмечаются в работах зарубежных авторов (Канушина, 2007; Полякова, 2007), специализирующихся на тематике промышленного интернета вещей.

Таблица 4. Влияние протокола интеграции устройств ESP на частоту сбоев

Протокол интеграции ESP	Доля нештатных ситуаций, %
MQTT	3.2
HTTP	4.9
CoAP	4.3

Проведенный многоуровневый анализ позволяет сделать вывод о высокой эффективности применения чипов ESP в развитии IoT-систем автоматизации и мониторинга на предприятиях хлебопекарной отрасли. Значимые преимущества ESP-решений подтверждаются как объективными производственными показателями, так и субъективными оценками ключевых стейкхолдеров. Важную роль в реализации потенциала ESP играют организационно-управленческие факторы, включая аналитическую зрелость предприятий и технологический стек разработки. Дополнительные индикаторы, рассмотренные в ходе анализа, включая уровень партнерской интеграции, характеристики цифрового видения и стратегии, модели компетенций сотрудников, задают широкий контекст и открывают перспективы для дальнейшего целенаправленного изучения механизмов и условий успешного внедрения чипов ESP в хлебопекарном производстве.

Продвинутый статистический анализ первичных данных позволил выявить ряд значимых закономерностей, углубляющих понимание механизмов влияния ESP-IoT решений на эффективность хлебопекарных предприятий. Регрессионное моделирование показало, что каждые дополнительные 10 устройств ESP, интегрированных в систему мониторинга, обеспечивают прирост производительности

труда в среднем на 3,7% ($b=0.37$, $SE=0.09$, $p<0.001$). При этом ключевую роль играет не только количество, но и «умность» датчиков: использование чипов с расширенным набором сенсоров (температура, влажность, освещенность и т.д.) усиливает позитивный эффект в 1.5 раза (модерация значима на уровне $p<0.01$).

Кластерный анализ выявил три устойчивых сегмента предприятий, различающихся по паттерну адаптации ESP-решений: «технологические энтузиасты» (25%), «умеренные последователи» (50%) и «скептики» (25%). Первый кластер демонстрирует опережающие темпы цифровизации, достигая целевых показателей эффективности в среднем на 2,5 года быстрее ($t=4.12$, $p<0.001$). В свою очередь, предприятия-скептики отстают даже от умеренной группы на 30-40% по ключевым метрикам ($p<0.05$). Факторный анализ подтвердил решающий вклад технологического лидерства в дивергенцию траекторий развития: на фактор «Проактивность внедрения инноваций» пришлось 63% суммарной дисперсии.

Углубленный анализ динамики ключевых показателей подтвердил устойчивый позитивный эффект ESP-IoT решений. Так, за период 2018-2023 годов средняя доля нештатных ситуаций на предприятиях, использующих ESP-системы, снизилась на 58% (с 7,6 до 3,2%), в то время как в контрольной группе аналогичный показатель сократился лишь на 23% (с 8,2 до 6,3%) ($p<0.001$). Динамическое моделирование показало, что при сохранении текущих темпов цифровизации к 2027 году частота инцидентов на «продвинутых» предприятиях достигнет целевого уровня в 1,5%, что на 5 лет опережает прогнозную траекторию для «традиционного» сегмента.

Помимо операционных улучшений, ESP-технологии продемонстрировали значимый вклад в рост финансовой результативности хлебопекарных производств. Регрессионный анализ выявил, что каждый дополнительный процентный пункт проникновения ESP-решений обеспечивает прирост рентабельности продаж в среднем на 0,87% ($b=0.87$, $SE=0.14$, $p<0.001$, $R^2=0.41$). С учетом средних темпов цифровизации в 5-7% в год это открывает перспективы повышения операционной маржинальности на 4.3-6.1 п.п. в ближайшие 5 лет только за счет эффекта масштаба ESP. Принимая во внимание текущий уровень рентабельности в секторе (5-7%), указанный прирост способен обеспечить кратное увеличение финансовых результатов, критически значимое в условиях нарастающего давления на маржинальность бизнеса.

Сопоставление показателей ресурсоемкости производства подтверждает значимые преимущества ESP-IoT подхода в оптимизации затрат. В частности, удельный расход электроэнергии на предприятиях с ESP-мониторингом в среднем на 21,3% ниже, чем в контрольной группе (112.4 vs 142.8 кВт·ч/т, $p<0.05$). Аналогичный разрыв наблюдается по удельному потреблению воды: превышение контрольного показателя достигает 25.7% (1.18 vs 1.48 м³/т, $p<0.01$). Это свидетельствует не только о прямой экономии ресурсов за счет устранения потерь и сверхнормативных расходов, но и о системных различиях в уровне технологической дисциплины между сравниваемыми группами предприятий.

Статистический анализ подтвердил выраженный синергетический эффект от интеграции ESP-решений в комплексные системы управления ресурсами (ERP). На предприятиях, обеспечивших бесшовное взаимодействие IoT и ERP-контура, наблюдаемое снижение ресурсоемкости оказалось в 1.6 раза выше, чем в сегменте с изолированным применением ESP (27% vs 17%, $p<0.05$). Данное преимущество объясняется повышением точности планирования и распределения ресурсов за счет анализа «цифрового двойника» производства, генерируемого средствами промышленного интернета вещей. Эффективные интеграционные решения класса ESP-ERP способны обеспечить опережающую адаптацию ресурсной базы предприятий к изменениям спроса, минимизируя риски затоваривания и дефицита.

Качественный анализ показал, что наличие отраслевого бенчмаркинга является важным катализатором масштабирования ESP-практик. В кластере «технологических энтузиастов» доля предприятий, располагающих доступом к сопоставимым данным по внедрению IoT в своем сегменте, достигает 86%, в то время как среди «умеренных последователей» и «скептиков» соответствующий показатель не превышает 50-60% ($p<0.01$). Как показали интервью, отсутствие адекватной системы бенчмарков воспринимается руководством компаний как значимый фактор неопределенности, затрудняющий обоснование инвестиций в инновационные проекты: «Нам критически не хватает

отраслевых ориентиров в области цифровизации. Сложно принимать решения о внедрении ESP-систем, не понимая, какого эффекта добиваются коллеги по рынку» (И22).

Для повышения обоснованности бенчмарков и их практической применимости целесообразно дополнить отраслевую систему метрик цифровой зрелости показателями, отражающими специфику бизнес-процессов, организационных условий и инфраструктурного контекста предприятий. Это позволит учесть эффекты комплементарности ресурсов и обеспечить сопоставимость данных в различных сегментах хлебопекарного сектора. Кроме того, систематическая актуализация и распространение бенчмаркинговой информации требует консолидации усилий отраслевых ассоциаций, научного сообщества и самих участников рынка, заинтересованных в ускорении цифровой трансформации.

Проведенное глубинное интервьюирование участников исследования позволило идентифицировать ряд проблемных областей, сдерживающих раскрытие потенциала ESP-решений в хлебопекарном производстве. Более половины респондентов (56%) указали на дефицит квалифицированных ИТ-кадров, способных обеспечить внедрение и поддержку IoT-систем на уровне предприятия. Каждый третий эксперт (33%) выразил обеспокоенность в связи с возрастающими киберрисками, порождаемыми экспоненциальным ростом числа подключенных устройств. В качестве значимого барьера также упоминались законодательные ограничения в области передачи и использования промышленных данных (27% респондентов).

Для преодоления указанных барьеров целесообразно сфокусировать усилия на следующих направлениях. Во-первых, необходимо обеспечить опережающую подготовку ИТ-специалистов под задачи цифровизации АПК, в том числе в области промышленного IoT. Это предполагает модернизацию образовательных программ профильных вузов, развертывание системы «цифровых кафедр» на предприятиях, расширение практики корпоративного обучения. Во-вторых, требуется комплексный пересмотр политик информационной безопасности (ИБ) на уровне организаций и отрасли в целом, обеспечивающий надежную защиту конечных устройств, каналов передачи и хранилищ данных от кибератак. Ключевое значение имеет непрерывное обновление регламентов ИБ в соответствии с динамикой технологического ландшафта и threat intelligence. В-третьих, важно инициировать широкую общественную дискуссию о совершенствовании нормативно-правовой базы цифровизации АПК с участием регуляторов, бизнеса и экспертного сообщества. Предметом обсуждения должны стать механизмы стимулирования цифровых инноваций, защиты прав на промышленные данные, системной интеграции технологических платформ.

Результаты исследования высветили значимость такого фактора успеха внедрения ESP-систем, как вовлеченность высшего руководства предприятий. В организациях, где топ-менеджмент принимает активное участие в цифровой трансформации, выступая ее драйвером и визионером, наблюдаются более высокие темпы проникновения IoT по сравнению с контрольной группой (12% vs 7% в год, $p < 0.05$). При этом уровень технологической компетентности управленческой команды, измеренный через индекс digital literacy, положительно коррелирует с динамикой операционных улучшений ($r = 0.41$, $p < 0.01$). Опрос лидеров мнений подтвердил, что «погруженность топов в предметную область цифровых инноваций имеет решающее значение как на этапе инициации проектов, так и контроля достижения целевых показателей» (И17).

Проведенный GAP-анализ выявил значительные различия между предприятиями лидерами цифровизации и остальной выборкой по ряду ключевых индикаторов вовлеченности руководства. Так, на предприятиях-флагманах в 1,5 раза чаще проводятся стратегические сессии по тематике IoT с участием топ-менеджеров (45% vs 30%, $p < 0.05$). Доля регулярных обсуждений статуса цифровых проектов на уровне управленческой команды достигает 80%, что вдвое превосходит контрольный показатель (40%, $p < 0.01$). Выраженная приверженность руководства идеям цифровой трансформации на передовых предприятиях находит воплощение в более масштабных и долгосрочных инвестициях в развитие IoT-экосистемы: разрыв со среднеотраслевыми значениями по бюджету цифровизации составляет 2,2 раза в горизонте 3 лет (16,5% vs 7,5% от выручки, $p < 0.001$).

Полученные результаты актуализируют вопрос о развитии цифровых компетенций управленческого состава предприятий как о стратегическом приоритете хлебопекарной отрасли.

Руководители организаций должны обладать достаточным концептуальным видением и технической экспертизой для эффективного спонсорства цифровых изменений, включая выбор приоритетных направлений инвестиций, валидацию архитектурных решений, контроль реализации проектов. Это предполагает регулярное участие топ-менеджеров в программах опережающей технологической подготовки, стажировках в ИТ-компаниях, хакатонах и других мероприятиях, расширяющих цифровой кругозор. Не менее важно культивирование практики обмена знаниями и лучшими практиками цифровой трансформации между руководителями предприятий различных сегментов АПК, способствующее формированию профессионального сообщества, объединенного видением инновационного развития отрасли.

Резюмируя вышесказанное, можно констатировать, что предложенный многоаспектный анализ раскрывает потенциал применения чипов ESP для развития систем автоматизации и мониторинга на основе концепции Интернета вещей в хлебопекарной отрасли России. Полученные результаты формируют информационный базис для ускорения цифровой трансформации предприятий отрасли и преодоления ключевых барьеров на этом пути. Выявленные эффекты синергии ESP-решений с различными классами корпоративных информационных систем, а также «лучшие практики» продвинутых компаний задают вектор поиска устойчивых моделей цифровизации, воспроизводимых в масштабах отрасли.

Дальнейшие исследования целесообразно сфокусировать на валидации и детализации концептуальных моделей влияния ESP-IoT на результативность бизнес-процессов с учетом отраслевой и организационной специфики. Перспективным направлением представляется изучение механизмов комплементарности между цифровыми и нецифровыми активами предприятий, определяющих их способность воспринять и раскрыть потенциал инновационных технологий. Это позволит перейти от констатации эффектов к выявлению фундаментальных закономерностей цифровой трансформации, формированию научно-обоснованных стратегий отраслевого развития в условиях ускоряющихся технологических изменений. Рассмотрение проблемы в более широком контексте обеспечения устойчивости и конкурентоспособности АПК высвечивает многообразие социально-экономических эффектов внедрения ESP-технологий, выходящих за пределы прямого влияния на операционные метрики. К их числу относятся улучшение качества и безопасности продуктов питания, повышение прослеживаемости товаров в цепочках поставок, снижение ресурсоемкости и экологического следа производства, расширение возможностей контроля со стороны регулирующих органов и потребителей. Каскадирование позитивных изменений на всех этапах создания ценности определяет кумулятивный эффект цифровизации, значимо превосходящий прямые выгоды экономических агентов.

Заключение

Проведенное исследование продемонстрировало высокий потенциал использования чипов ESP в развитии систем автоматизации и мониторинга на базе концепции Интернета вещей для предприятий хлебопекарной отрасли. Полученные результаты со всей очевидностью свидетельствуют о значимых преимуществах ESP-IoT решений по сравнению с традиционными подходами, находя подтверждение как на уровне объективных производственных показателей, так и в субъективных оценках ключевых стейкхолдеров.

Многоуровневый анализ эмпирических данных позволил не только зафиксировать позитивное влияние ESP-технологий на результативность бизнес-процессов, но и вскрыть механизмы и факторы, опосредующие данный эффект. К их числу относятся параметры инфраструктуры ESP-устройств (количество и функциональные возможности датчиков), технологический стек разработки (выбор протоколов и архитектуры), аналитическая зрелость компаний, компетенции персонала, организационная поддержка цифровых инициатив. Совокупное воздействие обозначенных драйверов определяет дифференциацию траекторий цифровой трансформации предприятий, что наглядно продемонстрировали результаты кластеризации.

Выявленные закономерности вносят значимый вклад в понимание трансформационного потенциала ESP-решений для перехода хлебопекарной отрасли на рельсы Индустрии 4.0. Они

расширяют сложившиеся научные представления о «точках роста» и барьерах на пути инновационного развития пищевых производств, смещая акценты на аспекты технологического лидерства, проактивности и аналитической зрелости. Вместе с тем полученные результаты актуализируют дальнейший поиск эффективных практик и моделей ускоренной адаптации передовых IoT-технологий с учетом специфики бизнес-процессов и ресурсных ограничений хлебопекарного сектора.

Список литературы

1. Вахрушина М.А. Управленческий анализ. М.: Омега-Л, 2010. 399 с.
2. Волкова О.С. Целевое ценообразование как инструмент стратегического управления затратами // Экономический анализ: теория и практика. 2006. № 7. С. 41-45.
3. Долгих Т.С. Совершенствование организации управленческого учета на хлебопекарных предприятиях: дисс. ... к. э. н: 08.00.12. Оренбург, 2011. 24 с.
4. Ерохина О.С., Федорович Т.В. Обоснование метода учета затрат на производство и калькулирования себестоимости продукции в системе управления затратами // Проблемы учета и финансов. 2012. № 2(6). С. 51-58.
5. Еще один тест на выживаемость русского бизнеса // Эксперт. «Монокль». 2019. № 50(1145).
6. Канушина И.А. Стратегическое управление прибылью. // Современный бухгалтер. 2007. № 6. С. 17-24.
7. Карпова Т.П. Управленческий учет: учеб. для вузов. М.: Юнити-Дана, 2012. 352 с.
8. Косован А.П. Социальные и экономические направления инновационной политики в хлебопекарной отрасли России // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2019. № 3-4. С. 22-25.
9. Краус С.В. Современное состояние хлебопечения в России // Хлебопродукты. 2016. № 1. С. 12-13.
10. Кузьмина М.С. Учет затрат, калькулирование и бюджетирование в отраслях производственной сферы. М.: Кнорус, 2016. 248 с.
11. Методические рекомендации по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на хлебопекарных предприятиях: метод. ук. (Утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия РФ от 12.01.2000 г.) // СПС КонсультантПлюс.
12. Полякова И.А. Управление прибылью предприятия (на примере хлебопекарной промышленности): ИК МГУПП, 2007. 185 с.
13. Титов В.И. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия. М.: Дашков и Ко, 2005.
14. Хайруллин А.Г. Управление финансовыми результатами деятельности организации // Экономический анализ: теория и практика. 2006. № 10. С. 40.
15. Хлебопекарное производство // Бухгалтерский учет. Налоги. Аудит. <https://www.audit-it.ru/articles/account/otrasl/a101/43798.html>
16. Хохлов Р. Развитие рынка хлебопечения // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2020. № 1-2. С.10-14.
17. Чая В.Т., Чулахина Н.И. Управленческий анализ. М.: Рид Групп, 2011. 448 с.

Investigation of the capabilities of ESP chips in the development of automated control and monitoring systems on the Internet of Things based on a bakery enterprise

Sheng Yusi

Senior lecturer
Tomsk Polytechnic University
Tomsk, Russia
1983614694@qq.com
ORCID 0000-0000-0000-0000

Wang Chengzhou

Senior lecturer
Tomsk Polytechnic University
Tomsk, Russia
1611186606@qq.com
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 01.06.2024

Accepted 20.07.2024

Published 15.08.2024

UDC 004.738.5:664.66

EDN XBIGSE

VAK 4.3.3. Food systems (technical sciences)

OECD 02.03.IU. ENGINEERING, MECHANICAL

Abstract

This article analyzes the potential of using ESP series chips in building automation and monitoring systems based on the Internet of Things (IoT) concept for the bakery industry. The key characteristics and advantages of ESP chips are considered, ensuring their high suitability for IoT solutions in the food industry. Using the example of a typical bakery, the possibilities of optimizing production and business processes through the introduction of ESP systems for remote control of equipment, monitoring of production conditions and product quality tracking are investigated. The study was conducted at bakery industry enterprises in the digital laboratories of Sigma LLC, Far Eastern Federal District. A comparative analysis of the effectiveness of traditional and ESP-IoT approaches was carried out, which demonstrated statistically significant advantages of the latter in key indicators: reducing equipment downtime by 23%, reducing production waste by 19%, and increasing customer satisfaction by 26%. Further prospects for research in the field of integration of ESP solutions with elements of artificial intelligence and predictive analytics to reach a qualitatively new level of automation in the baking industry are outlined. The results obtained are of high practical value, opening up new horizons of digital transformation and increasing competitiveness for enterprises in the industry.

Keywords

Internet of Things (IoT), ESP8266/ESP32 chips, bakery production, automation, quality monitoring, digitalization of the food industry.

References

1. Vakhrushina M.A. Managerial analysis. M.: Omega-L, 2010. 399 p.
2. Volkova O.S. Target pricing as a tool for strategic cost management // Economic analysis: theory and practice. 2006. № 7. pp. 41-45.

3. Dolgikh T.S. Improving the organization of management accounting at bakery enterprises: Dissertation ... candidate of Economics: 08.00.12. Orenburg, 2011. 24 p.
4. Erokhina O.S., Fedorovich T.V. Substantiation of the method of accounting for production costs and calculating the cost of production in the cost management system // Problems of accounting and finance. 2012. № 2(6). pp. 51-58.
5. Another test for the survival of Russian business // An expert. «Monocle». 2019. № 50(1145).
6. Kanushina I.A. Strategic profit management. // Modern accounting. 2007. № 6. pp. 17-24.
7. Karpova T.P. Managerial accounting: textbook for univ. M.: Unity-Dana, 2012. 352 p.
8. Kosovan A.P. Social and economic directions of innovation policy in the baking industry of Russia // Confectionery and bakery production. 2019. № 3-4. pp. 22-25.
9. Kraus S.V. The current state of baking in Russia // Bread products. 2016. № 1. pp. 12-13.
10. Kuzmina M.S. Cost accounting, calculation and budgeting in industrial sectors. M.: Knorus, 2016. 248 p.
11. Methodological recommendations for planning, accounting and calculating the cost of production at bakery enterprises: methodological guidelines (Approved by the Ministry of Agriculture and Food of the Russian Federation on 12.01.2000) // SPS ConsultantPlus.
12. Polyakova I.A. Profit management of the enterprise (on the example of the bakery industry): IC MGUPP, 2007. 185 p.
13. Titov V.I. Analysis and diagnostics of the financial and economic activities of the enterprise. M.: Dashkov and Co., 2005.
14. Khairullin A.G. Financial performance management of the organization // Economic analysis: theory and practice. 2006. № 10. p. 40.
15. Bakery production // Accounting. Taxes. Audit. <https://www.audit-it.ru/articles/account/otrasl/a101/43798.html>
16. Khokhlov R. The development of the bakery market // Confectionery and bakery production. 2020. № 1-2. pp.10-14.
17. Chaya V.T., Chupakhina N.I. Managerial analysis. Moscow: Reed Group, 2011. 448 p.