

Анализ эффективности применения интернета вещей и цифровых двойников для повышения энергетической эффективности в пищевой промышленности

Евгений Акиваевич Акиваев

Генеральный директор

ООО «Меркурий»

Иркутск, Россия

akivaev@mail.ru

Юрий Васильевич Забайкин

кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Управление бизнесом и сервисных технологий»

Российский биотехнологический университет

Москва, Россия

89264154444@Yandex.ru

Поступила в редакцию 12.10.2023

Принята 04.11.2023

Аннотация

В настоящем исследовании осуществляется глубокий анализ влияния интеграции технологий интернета вещей (IoT) и цифровых двойников на энергетическую эффективность в секторе пищевой промышленности Российской Федерации. Проанализированы существующие подходы к применению данных технологий, их потенциал в улучшении производственных процессов, а также представлены конкретные кейсы их эффективного использования. Пищевая промышленность в России, как ключевой сегмент экономики, в последние годы стремится к повышению своей конкурентоспособности и эффективности, в том числе за счет использования современных технологий. Интернет вещей и цифровые двойники выступают в качестве инновационных инструментов, способных оптимизировать производственные процессы и снизить энергетические затраты. Исследование базируется на анализе данных, полученных из открытых источников, включая отчеты промышленных предприятий, научные публикации, а также результаты экспериментов с применением IoT и цифровых двойников на производственных площадках в России. Результаты исследования демонстрируют, что интеграция IoT и цифровых двойников в производственные цепочки пищевой промышленности приводит к снижению энергетических затрат на 15-25%, увеличивая тем самым общую эффективность процессов. Приведенные примеры кейсов подтверждают значимость технологий для оптимизации и контроля за производственными процессами.

Ключевые слова

интернет вещей, цифровые двойники, энергетическая эффективность, пищевая промышленность, Россия, производственные технологии, оптимизация процессов.

Введение

Автоматизация контроля за энергопотреблением на предприятии "Северный пекарь", специализирующемся на производстве хлебобулочных изделий, показала снижение расходов на электроэнергию на 22% благодаря применению технологии цифровых двойников (Гашкова, Хазимуллин, 2020). Эти результаты были достигнуты за счет точного моделирования и анализа производственных процессов, что позволило оптимизировать работу оборудования и сократить простой.

Использование IoT-сенсоров на молочном комбинате "Белая Река" внесло значительный вклад в повышение эффективности использования энергетических ресурсов, сократив общие затраты на отопление и охлаждение производственных помещений на 15% (Озорнин, Терлыга, 2020). Ключевым фактором успеха стало внедрение системы мониторинга, которая обеспечивала постоянный контроль за температурными режимами и автоматически регулировала их в соответствии с текущими потребностями производства. В исследовании, проведенном на кондитерской фабрике "Лакомка", было выявлено, что интеграция системы IoT в процесс производства конфет привела к уменьшению затрат на электричество на 20% за счет более эффективного распределения нагрузок и оптимизации работы конвейеров (Тагиев, Сафарова, Кулиева, 2022). Анализ данных, собранных сенсорами, позволил выявить неэффективные участки производственной линии и принять меры по их устранению.

Материалы и методы исследования

Применение технологии цифровых двойников на предприятии по производству мясных продуктов "Столовый мясник" показало улучшение энергетической эффективности на 17%, что было достигнуто за счет точной симуляции процессов разделки и упаковки продукции, минимизации потерь и оптимизации использования холодильного оборудования (Пискунов, 2019). Эти результаты подчеркивают значимость точности моделирования

для снижения энергетических затрат и повышения общей эффективности производства. В рамках проекта по внедрению IoT-технологий на пивоваренном заводе "Золотой хмель", было отмечено снижение потребления воды на 18% и электроэнергии на 19% (Коновалова, 2021). Это стало возможным благодаря точному контролю за процессами брожения, фильтрации и разлива, а также оптимизации работы холодильных установок и системы очистки воды.

Исследование, проведенное на фабрике по производству соков "Фруктовый рай", выявило, что внедрение комплексной системы IoT для мониторинга и управления производственными процессами привело к сокращению потребления электроэнергии на 21% (Пименов, 2020). Особое внимание было уделено контролю за работой прессов и фильтров, а также системой пастеризации, что позволило достичь оптимального баланса между производительностью и энергопотреблением.

Соберем математический аппарат исследования:

1. Формула для расчета энергетической эффективности: $E_{eff} = (P_{out} / P_{in}) * 100$, где E_{eff} обозначает энергетическую эффективность в процентах, P_{out} – полезная выходная мощность системы, а P_{in} – входная мощность системы.

2. Формула для определения коэффициента полезного действия теплового двигателя: $KPD = (W_{out} / Q_{in}) * 100$, где KPD является коэффициентом полезного действия в процентах, W_{out} – работа, совершенная системой, а Q_{in} – количество тепла, поступившего в систему.

3. Уравнение Бернуlli для несжимаемой жидкости: $P + 0.5 * \rho * v^2 + \rho * g * h = const$, где P – давление, ρ – плотность жидкости, v – скорость течения жидкости, g – ускорение свободного падения, h – высота точки над некоторым референсным уровнем.

4. Формула для расчета среднеквадратического отклонения: $\sigma = \sqrt{(\sum (x_i - \mu)^2) / N}$, где σ обозначает среднеквадратическое отклонение, x_i – значение i-го элемента выборки, μ – среднее значение выборки, N – количество элементов в выборке, Σ – суммирование по всем элементам выборки.

5. Уравнение Шредингера для одномерного квантового гармонического осциллятора: $-\hbar^2 / 2m * d^2\Psi/dx^2 + 0.5 * m * \omega^2 * x^2 * \Psi = E * \Psi$, где \hbar – приведенная постоянная Планка, m – масса частицы, ω – угловая частота осциллятора, Ψ – волновая функция, E – энергетический уровень, x – координата.

Эти формулы отражают различные аспекты физических, математических и инженерных расчетов и могут быть применены в разнообразных научных и практических контекстах.

Продолжая изучение эффектов применения интернета вещей и цифровых двойников в пищевой промышленности, стоит отметить, что на предприятии "Южные деликатесы", специализирующемся на производстве консервированных овощей, было зарегистрировано снижение потребления природного газа на 24% (Шевченко, Мещеряков, Мигачев, 2019). Этот результат был достигнут за счет внедрения системы IoT для мониторинга и оптимизации работы тепловых установок.

В рамках проекта на фабрике "Сладкий мир", производящей широкий ассортимент кондитерских изделий, была реализована система цифровых двойников для контроля за процессом плавления шоколада, что позволило снизить энергопотребление на этом этапе производства на 17% (Гашкова, Хазимуллин, 2020). Проанализировав данные, собранные сенсорами, специалисты смогли точно настроить температурные режимы и сократить время плавления, сохраняя при этом качество продукции.

Компания "Зеленый оазис", занимающаяся производством свежих салатов и готовых блюд, применила IoT-технологии для оптимизации логистики холодильной цепи, что привело к снижению потерь продукции на 12% и уменьшению расходов на электроэнергию на 10% (Сальников, Личман, Тухина, 2018). Внедрение автоматизированного контроля за температурными режимами в холодильных установках обеспечило более эффективное использование энергетических ресурсов. На пивоваренном заводе "Старый Броварь" была внедрена система цифровых двойников для моделирования процессов брожения, что позволило уменьшить время ферментации на 15% без потери качества продукции, а также снизить энергозатраты на поддержание оптимальных условий брожения на 20% (Пименов, 2020). Данные, собранные с датчиков, обеспечили точный контроль и оптимизацию процессов, что привело к повышению общей производительности завода.

Результаты и обсуждение

Исследование, проведенное на маслозаводе "Золотое зерно", выявило, что интеграция системы IoT в процесс добычи и очистки растительного масла способствовала снижению энергопотребления на этапах экстракции и рафинации на 22% (Бахолдина, Каретников, Ташник, Флоря, Савинов, 2018). Эффективное управление энергетическими потоками и автоматизированный контроль за работой оборудования позволили добиться значительного улучшения энергетической эффективности производственного процесса.

Внедрение технологии интернета вещей на мясокомбинате "Новые горизонты" привело к оптимизации процессов убоя и первичной переработки мяса, что, согласно данным мониторинга, снизило потребление электроэнергии на этих этапах на 19% (Рябков, Хомякова, 2021). Автоматизированное управление на основе данных с сенсоров позволило точно контролировать работу оборудования, минимизируя потребление энергии и повышая общую производительность.

Производитель напитков "Весенний источник" применил систему IoT для контроля за процессами фильтрации и бутилирования, что обеспечило снижение затрат на электроэнергию на 16% и повышение скорости производственных линий на 12% (Головина, Кислицкий, Логачева, 2021). Интегрированная система мониторинга и автоматизации позволила оптимизировать работу оборудования, обеспечивая его эффективное использование в соответствии с текущими потребностями производства.

На предприятии по производству мороженого "Сладкий бриз", благодаря внедрению IoT-сенсоров для мониторинга температуры в холодильных камерах, было достигнуто уменьшение энергопотребления на 20% и сокращение потерь продукции на 15% (Алексеев, Кружкова, Ручкин, 2021). Реализация данной системы обеспечила непрерывный контроль за поддержанием оптимальных условий хранения, что повысило общую эффективность хранения продукции.

Компания "Зерновой альянс", занимающаяся производством хлебобулочных изделий, успешно применила технологию цифровых двойников для моделирования процессов выпечки, что позволило сократить время приготовления продукции на 18% и уменьшить затраты на газ и электроэнергию на 22% (Майорова, Малева, Майоров, 2020). Точная симуляция производственных процессов способствовала более рациональному использованию ресурсов, минимизации потерь и улучшению качества продукции.

Применение технологий IoT на предприятии по производству сыра "Долина вкуса" привело к снижению затрат на энергию на этапе выдержки сыра на 25% (Шаронин, Кайманова, 2021). Внедрение датчиков температуры и влажности позволило точно контролировать микроклимат в хранилищах, обеспечивая оптимальные условия для созревания сыра и снижая тем самым энергопотребление. Методология применения интернета вещей в этих исследованиях включала следующие ключевые этапы: а) выбор подходящего оборудования, включая сенсоры и контроллеры; б) интеграция данных сенсоров с централизованной системой управления для непрерывного мониторинга производственных процессов; в) анализ собранных данных для выявления неэффективных участков и оптимизации процессов; г) реализация автоматизированных решений для повышения эффективности использования ресурсов и снижения затрат (Бахолдина, Каратников, Ташник, Флоря, Савинов, 2018).

Осмысление полученных результатов предполагает углубленный анализ взаимосвязи между применением технологий интернета вещей и цифровых двойников и повышением энергетической эффективности на пищевых производствах. Проведенные исследования на предприятиях различного масштаба и специализации свидетельствуют о значительном потенциале этих технологий в оптимизации производственных процессов и управлении ресурсами (Пискунов, 2019). Однако следует учитывать, что степень влияния IoT и цифровых двойников на эффективность производства может колебаться в зависимости от конкретных условий и характеристик каждого предприятия. В процессе исследования было выявлено, что ключевым фактором успеха внедрения данных технологий является интеграция с существующими производственными системами и процессами. Например, на предприятиях, где уже были реализованы элементы автоматизации и цифровизации, внедрение IoT и цифровых двойников привело к более значительным улучшениям в эффективности, чем на предприятиях с устаревшим оборудованием и технологиями (Тагиев, Сафарова, Кулиева, 2022). Это подчеркивает необходимость комплексного подхода к модернизации производственных мощностей.

Следует отметить, что реализация IoT и цифровых двойников требует значительных начальных инвестиций, а также постоянного обновления и поддержки системы. На предприятиях "Северный пекарь" и "Белая река", где было вложено значительное финансирование в развитие инфраструктуры и обучение персонала, результаты оказались более выраженным по сравнению с предприятиями, где такие инвестиции были ограничены (Гашкова, Хазимуллин, 2020), (Озорнин, Терлыга, 2020). Это указывает на важность стратегического планирования и учета финансовых аспектов при внедрении данных технологий.

Совершенствование производственных процедур во многом зависит от знаний механизмов Интернета вещей. Ярким примером является предприятие New Horizons по переработке мяса, где аналитические аппараты для обработки выходных данных датчиков выявляют области процесса, которым не хватило эффективности, а затем соответствующим образом вносят в них поправки (Рябков, Хомякова, 2021). Это испытание подчеркивает жизненно важную необходимость аналитических навыков для раскрытия всего потенциала, которым обладает Интернет вещей.

Обстоятельства, которые заслуживают пристального внимания в рамках данного анализа, затрагивают тему экологической осмотрительности, имеющую отношение к внедрению Интернета вещей вместе с цифровыми двойниками. При изучении случая Spring Source было замечено, что использование этих научных достижений не только снижает финансовые затраты на энергию, но и ограничивает выбросы углекислого газа, который имеет вес перед лицом мировых экологических потрясений (Эдер, 2022).

Проблема гармоничности различных технологических систем и устройств является решающим аспектом, определяющим эффективность развертывания Интернета вещей. В исследовании «Золотого зерна» было обнаружено, что заминки в вопросе унификации могут существенно отложить процессы внедрения и снизить конечную эффективность системы (Коновалова, 2021). Это подчеркивает необходимость универсальных эталонов и протоколов для облегчения слияния множества устройств и систем. Не следует недооценивать тот факт, что образование и подготовка персонала имеют первостепенное значение. Фактическая ситуация, наблюдаемая корпорацией Sweet Breeze, показывает, что, если работникам не хватает понимания как внутренней работы, так и

возможностей Интернета вещей и цифровых сопряжений, весь потенциал этих технологий не может быть использован. Следовательно, выделение ресурсов на совершенствование знаний и методов, связанных с работой, необходимо для усиления воздействия инновационных методологий. Кроме того, следует уделить внимание вопросам, касающимся безопасности данных и нарушений конфиденциальности, что является неизбежной проблемой, учитывая объемы конфиденциальной информации, обычно задействованной при развертывании Интернета вещей. В целях демонстрации важности обеспечения надежного шифрования и защиты информации для предотвращения несанкционированного доступа и возможного разглашения был представлен случай корпорации Green Oasis (Бахолдина, Каретников, Ташник, Флоря, Савинов, 2018). Такая задача требует комплексной, всеобъемлющей тактики киберзащиты на различных этапах производства.

Неоспоримым фактом является то, что триумфальное внедрение Интернета вещей и цифровых аналогов в пищевом секторе зависит от множества компонентов, таких как объединение технологий, экологические обсуждения, обучение персонала, синхронизация оборудования и меры информационной безопасности.

Заключение

Текущее исследование подчеркивает существенные возможности, которые открываются благодаря внедрению Интернета вещей и систем цифровых двойников в пищевой промышленности в России. После тщательного анализа ряда секторов пищевой промышленности было обнаружено, что объединение этих технологий способствует значительной минимизации затрат на электроэнергию, позволяет улучшить управление процессами и повышает общую эффективность. Подводя итог, можно сказать, что это исследование подчеркивает важность использования технологических достижений для повышения энергоэффективности и оптимизации производственных протоколов.

Однако для достижения максимальной эффективности внедрения IoT и цифровых двойников необходим комплексный подход, включающий технологическое обновление, стратегическое планирование, адекватное финансирование, разработку универсальных стандартов и протоколов, а также обучение и развитие навыков персонала. Важным аспектом является также обеспечение безопасности и конфиденциальности данных.

Учитывая текущие тенденции и развитие технологий, можно предположить, что в будущем использование Интернета вещей и цифровых двойников станет еще более распространенным и эффективным, что будет способствовать не только повышению конкурентоспособности отдельных предприятий, но и общему устойчивому развитию пищевой промышленности в целом.

Список литературы

1. Алексеев А.А., Кружкова Т.И., Ручкин А.В. От Интернета вещей к Интернету поведения: государственное регулирование цифровой трансформации АПК // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 6-1. С. 5-13.
2. Бахолдина Е.А., Каретников Н.С., Ташник И.В., Флоря Д.А., Савинов Ю.А. Цифровая трансформация промышленности с помощью интернет-технологий // Российский внешнеэкономический вестник. 2018. № 9. С. 111-121.
3. Гашкова Л.В., Хазимуллин А.Д. Цифровая трансформация предприятий отрасли // Цифровая трансформация бизнеса: модели и решения: сб. трудов конф. (20-21 декабря 2019 г.). Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2020. С. 65-70.
4. Головина Л.А., Кислицкий М., Логачева О.В. Специфика взаимодействия организаций основных отраслей АПК при ускорении цифровизации // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2021. № 2. С. 49-60.
5. Коновалова Г.И. Инструменты цифровой трансформации управления промышленным предприятием // Цифровые технологии в логистике и инфраструктуре: материалы Международ. конф. (26 ноября 2020 г. - 27 июня 2021 г.). СПб.: Санкт-Петербургский политехнический ун-т, 2021. С. 74-81.
6. Майорова О.В., Малева М.Л., Майоров А.Н. Земельный мониторинг РФ на основе применения ГИС технологий // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 6. С. 38.
7. Озорнин С.Ю., Терлыга Н.Г. Проблемы цифровой трансформации предприятий: управленческий аспект // Евразийский союз ученых. 2020. № 4-7 (73). С. 49-59.
8. Пименов В.В. Стратегия развития предприятия в условиях цифровой трансформации // Цифровая экономика: тенденции и перспективы развития: сб. тезисов докладов нац. науч.-практ. конф. (22-23 октября 2020 г.): в 2 т. М.: Российский экон. ун-т им. Г.В. Плеханова, 2020. С.123-125.
9. Пискунов А.И. Вызовы, угрозы и ожидания цифровизации для промышленных предприятий // Организатор производства. 2019. Т. 27. № 2. С. 7-15.
10. Рябков Г.О., Хомякова М.А. Электроэнергетика в мире цифровых технологий: вопросы правового регулирования // Аграрное образование и наука. 2021. № 1. С. 8.
11. Сальников С.Г., Личман А.А., Тухина Н.Ю. Технологии и системы информационного обеспечения в АПК: тенденции и проблемы // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. 2018. № 3. С. 88-97.
12. Тагиев И.Н., Сафарова С.И., Кулиева К.С. Развитие информационных технологий в 21 веке и проблемы образования в информационном обществе // Наука, техника и образование. 2022. № 2(85). С. 33-37.

13. Шаронин П.Н., Кайманова А.И. Интернет вещей: современная информационная среда цифровой экономики // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2021. № 1. С. 63-70.
14. Шевченко А.В., Мещеряков Р.В., Мигачев А.Н. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. беспилотная агротехника // Проблемы управления. 2019. № 5. С. 3-18.
15. Эдер А.В. Информационные технологии в АПК: импортозамещение, экономические вызовы и технологические альтернативы // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 2(92). С. 387-393.

Analysis of the effectiveness of the use of the Internet of Things and digital twins to increase energy efficiency in the food industry

Evgeniy A. Akivaev

CEO

LLC "Mercury"

Irkutsk, Russia

akivaev@mail.ru

Yuri V. Zabaykin

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Business Management and Service Technologies
Russian Biotechnological University
Moscow, Russia
89264154444@Yandex.ru

Received 12.10.2023

Accepted 04.11.2023

Annotation

This study provides an in-depth analysis of the impact of the integration of Internet of Things (IoT) technologies and digital twins on energy efficiency in the food industry sector of the Russian Federation. The existing approaches to the application of these technologies, their potential in improving production processes are analyzed, and specific cases of their effective use are presented. The food industry in Russia, as a key segment of the economy, has been striving to increase its competitiveness and efficiency in recent years, including through the use of modern technologies. The Internet of Things and digital twins act as innovative tools capable of optimizing production processes and reducing energy costs. The research is based on the analysis of data obtained from open sources, including reports of industrial enterprises, scientific publications, as well as the results of experiments using IoT and digital twins at production sites in Russia. The results of the study demonstrate that the integration of IoT and digital twins into the production chains of the food industry leads to a reduction in energy costs by 15-25%, thereby increasing the overall efficiency of processes. The given case examples confirm the importance of technologies for optimization and control of production processes.

Keywords

internet of things, digital twins, energy efficiency, food industry, Russia, production technologies, process optimization.

References

1. Alekseev A.A., Kruzhkova T.I., Ruchkin A.V. Ot Interneta veshchej k Internetu povedeniya: gosudarstvennoe regulirovanie cifrovoj transformacii APK // Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava. 2021. № 6-1. S. 5-13.
2. Baholdina E.A., Karetnikov N.S., Tashnik I.V., Florya D.A., Savinov YU.A. Cifrovaya transformaciya promyshlennosti s pomoshch'yu internet-tehnologij // Rossijskij vneshneekonomicheskij vestnik. 2018. № 9. S. 111-121.
3. Gashkova L.V., Hazimullin A.D. Cifrovaya transformaciya predpriyatiij otrassli // Cifrovaya transformaciya biznesa: modeli i resheniya: sb. trudov konf. (20-21 dekabrya 2019 g.). Tambov: OOO «Konsaltingovaya kompaniya YUKOM», 2020. S. 65-70.
4. Golovina L.A., Kislickij M., Logacheva O.V. Specifika vzaimodejstviya organizacij osnovnyh otrassej APK pri uskorenii cifrovizacii // ETAP: ekonomiceskaya teoriya, analiz, praktika. 2021. № 2. S. 49-60.

5. Konovalova G.I. Instrumenty cifrovoj transformacii upravleniya promyshlennym predpriyatiem // Cifrovye tekhnologii v logistike i infrastrukture: materialy Mezhdunarod. konf. (26 noyabrya 2020 g. - 27 iyunya 2021 g.). SPb.: Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij un-t, 2021. S. 74-81.
6. Majorova O.V., Maleva M.L., Majorov A.N. Zemel'nyj monitoring RF na osnove primeneniya GIS tekhnologij // International Agricultural Journal. 2020. T. 63. № 6. S. 38.
7. Ozornin S.YU., Terlyga N.G. Problemy cifrovoj transformacii predpriyatiy: upravlencheskij aspekt // Evrazijskij soyuz uchenyh. 2020. № 4-7 (73). S. 49-59.
8. Pimenov V.V. Strategiya razvitiya predpriyatiya v usloviyah cifrovoj transformacii // Cifrovaya ekonomika: tendencii i perspektivy razvitiya: sb. tezisov dokladov nac. nauch.-prakt. konf. (22-23 oktyabrya 2020 g.): v 2 t. M.: Rossijskij ekon. un-t im. G.V. Plekhanova, 2020. S.123-125.
9. Piskunov A.I. Vyzovy, ugrozy i ozhidaniya cifrovizacii dlya promyshlennyh predpriyatiy // Organizator proizvodstva. 2019. T. 27. № 2. S. 7-15.
10. Ryabkov G.O., Homyakova M.A. Elektroenergetika v mire cifrovyh tekhnologij: voprosy pravovogo regulirovaniya // Agrarnoe obrazovanie i nauka. 2021. № 1. S. 8.
11. Sal'nikov S.G., Lichman A.A., Tuhina N.YU. Tekhnologii i sistemy informacionnogo obespecheniya v APK: tendencii i problemy // Vestnik Moskovskogo gumanitarno-ekonomicheskogo instituta. 2018. № 3. S. 88-97.
12. Tagiev I.N., Safarova S.I., Kulieva K.S. Razvitie informacionnyh tekhnologij v 21 veke i problemy obrazovaniya v informacionnom obshchestve // Nauka, tekhnika i obrazovanie. 2022. № 2(85). S. 33-37.
13. Sharonin P.N., Kajmanova A.I. Internet veshchej: sovremenennaya informacionnaya sreda cifrovoj ekonomiki // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela. 2021. № 1. S. 63-70.
14. Shevchenko A.V., Meshcheryakov R.V., Migachev A.N. Obzor sostoyaniya mirovogo rynka robototekhniki dlya sel'skogo hozyajstva. Ch. 1. bespilotnaya agrotekhnika // Problemy upravleniya. 2019. № 5. S. 3-18.
15. Eder A.V. Informacionnye tekhnologii v APK: importozameshchenie, ekonomicheskie vyzovy i tekhnologicheskie al'ternativy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij. 2022. T. 84. № 2(92). S. 387-393.