

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВЕ ОАО «МИНСКИЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ЗАВОД»

В. А. Вишняков¹, Е. И. Полоско²

¹ Д. т. н., профессор, профессор кафедры экономики, УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, e-mail: vish@bsuir.by

² Старший преподаватель кафедры экономической информатики, УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, e-mail: e.i.polosko@gmail.com

Реферат

Целью работы является разработка модельного подхода к количественной оценке возможного эффекта от применения IoT решений на потребление топливных и энергетических ресурсов, энергоёмкость продукции и инвестиционную эффективность автомобильного предприятия. Проведен анализ состояния проблемы энергосбережения в автомобильной промышленности за рубежом, где технология промышленного интернета вещей (IoT) рассматривается как ключевой инструмент для создания интеллектуальных систем управления энергоресурсами на автомобильных заводах. В литературе подчеркивается, что современные IoT решения обеспечивают переход от реактивного к прогнозному и оптимизационному управлению энергопотреблением, а также что перспективным направлением является интеграция IIoT с алгоритмами искусственного интеллекта для прогнозирования энергопотребления и оптимизации режимов работы энергоёмкого оборудования; в данной работе такие AI компоненты рассматриваются только как элемент обзора международного опыта и не входят в используемую авторами методику.

Нормативную базу исследований составляет Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 годы. Приведена математическая модель оценки эффекта внедрения технологии интернета вещей (IoT) в системе энергохозяйства ОАО «Минский автомобильный завод», основанная на сопоставлении сценариев без IoT и с IoT. Модель использует официальные агрегированные данные об энергосбережении МАЗ за 2024–2025 годы и позволяет в расчетной форме оценить возможную годовую экономию затрат на энергоресурсы, изменение удельных энергозатрат и показатели инвестиционной эффективности, включая чистый дисконтированный доход и срок окупаемости, при условии цифровизации системы энергоменеджмента. Отдельный вклад IoT решений в достигнутые показатели энергосбережения в доступных источниках не выделяется, поэтому модель использует укрупненные коэффициенты, отражающие совокупный эффект реализованных мероприятий.

Результаты моделирования показывают, что при реалистичных параметрах затрат и коэффициентах снижения энергопотребления, калиброванных по агрегированным показателям энергосбережения МАЗ, возможное снижение годового потребления энергоресурсов в сценарии с IoT оказывается сопоставимым с фактически достигнутыми значениями и обеспечивает положительный финансовый результат при приемлемом сроке окупаемости. Предложенный модельный подход может использоваться для ориентировочного обоснования инвестиций в IoT-инфраструктуру энергохозяйства на машиностроительных предприятиях, с учетом того, что вклад IoT-решений в исходных данных не выделен отдельно и оценивается укрупненно.

Ключевые слова: интернет вещей, энергохозяйство предприятия, энергосбережение, энергоэффективность, энергоёмкость продукции, инвестиционная эффективность.

THE USE OF INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY IN THE ENERGY INDUSTRY OF OSC MINSK AUTOMOBILE PLANT

U. A. Vishniakou, K. I. Paloska

Abstract

The aim of the study is to develop a modelling approach for quantifying the potential effect of IoT solutions on the consumption of fuel and energy resources, the energy intensity of products, and the investment efficiency of an automotive enterprise. An analysis is carried out of the state of the energy-saving problem in the automotive industry abroad, where the Internet of Things (IoT) technology is considered a key tool for creating intelligent energy management systems at automobile plants. The literature emphasizes that modern IoT solutions provide a transition from reactive to predictive and optimization-based energy management, and that a promising direction is the integration of Industrial Internet of Things (IIoT) with artificial intelligence algorithms for forecasting energy consumption and optimizing the operating modes of energy-intensive equipment; in this study such AI components are considered only as part of the review of international experience and are not included in the methodology used by the authors.

The regulatory framework of the research is the State Program "Energy Saving" for 2021–2025. A mathematical model is presented for assessing the effect of introducing Internet of Things (IoT) technology into the energy management system of JSC "Minsk Automobile Plant", based on a comparison of scenarios without IoT and with IoT. The model uses official aggregated data on energy saving at MAZ for 2024–2025 and makes it possible, in a calculated form, to estimate the potential annual savings in energy costs, changes in specific energy costs, and investment efficiency indicators, including net present value and payback period, under the assumption of digitalization of the energy management system. The individual contribution of IoT solutions to the achieved energy-saving indicators is not distinguished in the available sources, therefore the model uses aggregated coefficients that reflect the combined effect of the implemented measures.

The modelling results show that, under realistic cost parameters and reduction coefficients calibrated to the aggregated energy-saving indicators of MAZ, the potential reduction in annual energy consumption in the IoT scenario is comparable to the actually achieved values and provides a positive financial outcome with an acceptable payback period. The proposed modelling approach can be used for indicative justification of investments in the IoT infrastructure of the energy management system at machine-building enterprises, taking into account that the contribution of IoT solutions is not singled out separately in the source data and is assessed in an aggregated manner.

Keywords: internet of things, energy management of the enterprise, energy saving, energy efficiency, energy intensity of products, investment efficiency.

Введение

В условиях цифровой трансформации промышленности повышение энергоэффективности и снижение энергоемкости продукции становится одним из ключевых факторов конкурентоспособности машиностроительных предприятий Беларуси [1]. Машиностроение остается базовой отраслью экономики, дает значительную долю промышленного выпуска и потребляет много топливно-энергетических ресурсов, поэтому финансовые результаты таких предприятий сильно зависят от стоимости энергии. В этой ситуации важно внедрять современные системы мониторинга и управления энергопотреблением на основе интернета вещей (IoT), которые обеспечивают сбор, передачу и анализ данных о работе энергоемкого оборудования и инженерных систем [2].

Опыт крупных машиностроительных предприятий, в том числе ОАО «Минский автомобильный завод», показывает, что реализация комплекса организационных, технических и технологических мероприятий дает заметную экономию условного топлива и сокращение затрат на энергию. Однако в открытых источниках обычно приводятся только общие итоги энергосбережения, а влияние конкретных цифровых решений на основе IoT и автоматизированных систем учета на экономические результаты предприятия явно не выделяется и формально не оценивается [3].

Создание математического инструментария на примере ОАО «МАЗ», по которому доступны данные о достигнутых показателях энергосбережения и объемах сэкономленных энергоресурсов, дает возможность увязать реальные производственно-экономические результаты с параметрами цифровизации системы энергоменеджмента. Это, позволяет обосновывать инвестиционные решения по дальнейшему развитию IoT-инфраструктуры в энергохозяйстве предприятия и использовать предложенный подход при внедрении подобных решений на других машиностроительных предприятиях Беларуси и Российской Федерации [4].

Международный опыт, правовая база, методика и результаты исследований

Состояние проблемы за рубежом. Там современное автомобилестроение сталкивается с необходимостью снижения энергозатрат и углеродного следа при сохранении эффективности производства. Технология промышленного интернета вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) становится ключевым инструментом для создания интеллектуальных систем управления энергоресурсами на автомобильных заводах [5]. IIoT обеспечивает непрерывный сбор данных о потреблении энергии каждым производственным агрегатом в режиме реального времени, что создаёт основу для последующей оптимизации. Как показывает практика BMW Group, внедрение интеллектуальной информационной системы управления энергией (iEMDS) с использованием «умных датчиков» позволяет не только фиксировать отклонения в потреблении, но и предотвращать сбои оборудования [6].

Ключевым преимуществом IIoT является возможность интеграции с системами искусственного интеллекта для прогнозирования энергопотребления. Исследования показывают, что алгоритмы машинного обучения на основе данных IIoT способны с высокой точностью предсказывать тепловые потери и оптимизировать режимы работы климатических систем, что позволяет снизить затраты на перегрев до 90 % в год [7].

Экономическая эффективность. При планировании IIoT-сетей важно учитывать не только технологические, но и экономические аспекты. Согласно исследованию Yun et al. (2025), оптимизированное планирование сети IIoT путем выборочного подключения наиболее информативного оборудования позволяет снизить капитальные затраты на развертывание сети мониторинга до 38,9 % по сравнению с вариантом сплошной установки датчиков при сохранении требуемого уровня сокращения выбросов и контроля энергоэффективности. Предложенный авторами метод выборочного подключения источников данных показывает, что около 80 % ценной информации может быть получено всего от 10 % датчиков при правильном выборе точек контроля [8].

Перспективным направлением является объединение IIoT с технологией цифровых двойников (Digital Twin) для моделирования энер-

гетических режимов работы завода. Такая интеграция позволяет проводить виртуальную оптимизацию без остановки реального производства и тестировать различные сценарии энергосбережения [9].

Анализ нормативно-правовой базы. Работа [10] посвящена экономическим и организационным факторам снижения энергоемкости, авторы выделяют группы факторов, предлагают классификацию энергосберегающих мероприятий, модернизация оборудования, улучшение учета и контроля, изменение режимов работы. Однако вопрос, какой именно вклад дают цифровые решения на базе интернета вещей, рассматривается фрагментарно и без детальных моделей для конкретных заводов. Отдельно изучается экономическая эффективность автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) и более широких IoT-решений в энергоменеджменте. Эффективность оценивают, сравнивая вложения в систему и эксплуатационные расходы с полученной экономией и выгодой от перехода на более подходящие тарифы, но особенности крупных белорусских машиностроительных предприятий в таких расчетах учитываются не всегда.

Нормативную базу исследований составляют государственные программы и документы по энергосбережению, прежде всего Госпрограмма «Энергосбережение» на 2021–2025 годы. Подчеркивается роль машиностроительных предприятий как основных исполнителей целей энергосбережения, что стимулирует внедрение новых технологий и систем управления энергопотреблением. Дополнительный фон дают аналитические материалы по энергетическому профилю Беларуси, где описываются структура конечного потребления энергии, роль промышленности и машиностроения в энергобалансе и сравнение энергоемкости с другими странами [11].

Практический опыт энергосбережения на ОАО «МАЗ» отражен в официальных сообщениях самого предприятия и государственных органов. Сообщается, что за январь – сентябрь 2024 года МАЗ достиг показателя энергосбережения 4,2 % при плане 4 %, реализовав 24 мероприятия вместо 17; только модернизация тепловых завес дает ожидаемую годовую экономию около 459,7 т условного топлива [12]. За первое полугодие 2025 года семь реализованных мероприятий обеспечили экономию 2638 т условного топлива, а суммарный денежный эффект с учетом переходящих результатов превысил 1,8 млн руб. Эти данные показывают высокий потенциал энергосбережения на машиностроительном предприятии. При этом в открытых материалах не выделен отдельно вклад именно IoT-решений, что создает необходимость модели, которая позволила бы количественно оценить экономический эффект [13].

Методика исследования базируется на сравнении двух сценариев функционирования энергохозяйства ОАО «МАЗ»: базового (без IoT) и целевого (с IoT), отличающихся уровнем точности учета, возможностями мониторинга и управления энергопотреблением, а также величиной потерь и избыточных расходов. Для каждого сценария рассчитываются объемы потребления топливно-энергетических ресурсов, затраты на их приобретение и финальные экономические показатели, после чего выполняется оценка инвестиционной эффективности проекта внедрения IoT-ориентированных решений (АСКУЭ, системы дистанционного контроля и управления) [14].

В сценарии без IoT использованы традиционные системы учета энергоресурсов с ограниченными возможностями оперативного контроля и анализа, что сопровождается высоким уровнем технологических и коммерческих потерь, недостаточной оптимизацией режимов работы энергоемкого оборудования и менее гибким управлением нагрузкой. В сценарии с IoT рассматривается внедрение автоматизированных систем контроля и учета (АСКУЭ), обеспечивающих непрерывный дистанционный мониторинг потребления, анализ профилей нагрузки, автоматизированное управление режимами, что приводит к снижению удельного потребления, потерь и штрафов за превышение лимитов [15].

Для каждого вида ресурса i (электроэнергия, тепло, газ и др.) задается исходный объем годового потребления Q_i^0 в натуральном выражении (кВт·ч, Гкал, м³), соответствующий сценарию «без IoT», и вводится коэффициент относительного снижения потребления α_i при внедрении IoT-решений. Коэффициенты α_i калибруются по агрегированным показателям энергосбережения ОАО «МАЗ» (4,2 % за 2024 год, 6,9 % за первое полугодие 2025 года), опубликованным

без выделения отдельного вклада IoT-мероприятий, и отражают совокупный эффект реализованного комплекса организационных, технических и цифровых мероприятий. Тогда объем потребления в сценарии с IoT принимается равным

$$Q_i^1 = Q_i^0 * (1 - \alpha_i).$$

Экономический эффект от внедрения IoT-решений в энергохозяйстве предприятия определяется как разность между затратами на энергоресурсы в базовом и целевом сценариях с учетом действующих тарифов и возможных штрафов за превышение установленной мощности или лимитов потребления. Годовая экономия по каждому виду ресурса рассчитывается по формуле

$$E_i = (Q_i^0 - Q_i^1) * T_i,$$

где T_i – средневзвешенный тариф (стоимость единицы соответствующего энергоресурса).

Совокупный годовой экономический эффект от внедрения IoT-решений определяется суммированием по всем видам ресурсов:

$$E_{\text{год}} = \sum_i E_i$$

При необходимости в расчет могут дополнительно включаться снижение штрафов, плата за превышение лимитов потребления и экономия на переходе на более выгодные тарифные планы за счет выравнивания графика нагрузок.

Для оценки влияния на энергоемкость продукции используется показатель удельных затрат на энергоресурсы в расчете на единицу выпуска (например, на один автомобиль или на 1 млн руб. товарной продукции), который в каждом сценарии определяется как

$$c^k = \frac{\sum_i Q_i^k * T_i}{V},$$

где $k \in \{0, 1\}$ – сценарий («без IoT» или «с IoT»), V – объем выпускаемой продукции в соответствующем периоде в ценовом выражении.

Инвестиционные затраты на внедрение IoT-решений в энергохозяйстве МАЗ включают стоимость аппаратного обеспечения (счетчики, датчики, коммуникационное оборудование), программного обеспечения, работ по проектированию и монтажу, а также затраты на обучение персонала и сопровождение системы. Совокупный объем начальных инвестиций обозначим как I_0 , а возможные дополнительные расходы на сопровождение системы в год t – как C_t . Чистый дисконтированный доход (NPV) проекта внедрения IoT-систем рассчитывается по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(E_t - C_t)}{(1+r)^t} - I_0,$$

где E_t – годовой экономический эффект от сокращения затрат на энергоресурсы в году t , r – ставка дисконтирования, n – горизонт расчета (срок службы системы).

Срок окупаемости $T_{ок}$ определяется как минимальное число лет, при котором накопленный не дисконтированный денежный поток становится неотрицательным:

$$\sum_{t=1}^{T_{ок}} (E_t - C_t) \geq I_0.$$

Для практической реализации описанной методики и формирования раздела «Результаты» используются следующие исходные показатели:

Q_i^0 – годовые объемы потребления отдельных видов энергоресурсов (электроэнергия, тепло, газ и др.) на ОАО «МАЗ» в базовом периоде «без IoT» (по данным предприятия и/или отраслевой статистики).

α_i – коэффициенты относительного снижения потребления по видам ресурсов при внедрении IoT-решений, калиброванные по фактическим показателям энергосбережения МАЗ (4,2 % за 2024 год, 6,9 % за первое полугодие 2025 года);

T_i – средневзвешенные тарифы на соответствующие энергоресурсы для промышленных потребителей (по данным регулятора и энергоснабжающих организаций);

V – объем выпуска продукции МАЗ в стоимостном выражении (по отчетности предприятия и/или статистическим сборникам);

I_0 – общая сумма первоначальных инвестиций в IoT-решения (АСКУЭ, датчики, средства связи, ПО, проектирование и монтаж) для энергохозяйства МАЗ, оцененная по типовым проектам и коммерческим предложениям поставщиков;

C_t – годовые эксплуатационные затраты на поддержку и развитие IoT-инфраструктуры (обслуживание, обновление программного обеспечения, связь, калибровка приборов);

r – ставка дисконтирования, соответствующая стоимости капитала предприятия или нормативу для оценки инвестиционных проектов в промышленности;

n – расчетный срок службы внедряемой системы (как правило, 5–10 лет по результатам анализа аналогичных проектов АСКУЭ).

При этом в официально опубликованных материалах не выделяется отдельный вклад IoT-ориентированных решений в общий результат энергосбережения, что обуславливает использование в модели укрупненных коэффициентов α_i , связывающих общий достигнутый эффект с цифровизацией энергохозяйства.

Результаты исследования. В рамках проведенного моделирования для ОАО «МАЗ» были получены количественные оценки влияния внедрения IoT-ориентированных решений в системе энергохозяйства на объемы потребления энергоресурсов, затраты на их приобретение и инвестиционную привлекательность проекта. Результаты изложены в сопоставлении сценариев без IoT и с IoT с использованием заданных в методике коэффициентов снижения потребления и типовой структуры затрат [16].

Расчеты показали, что при внедрении IoT-решений годовые объемы потребления топливно-энергетических ресурсов на предприятии снижаются на величину, сопоставимую с фактически достигнутыми показателями энергосбережения МАЗ (порядка 4,2–6,9 % в зависимости от сценария). В базовом варианте (без IoT) сохраняется исходный объем потребления Q_i^0 , тогда как в целевом варианте («с IoT») снижение до уровня

$$Q_i^1 = Q_i^0 * (1 - \alpha_i),$$

что приводит к уменьшению суммарных затрат на энергоресурсы на величину, эквивалентную годовой экономии

$$E_{\text{год}} = \sum_i (Q_i^0 - Q_i^1) * T_i.$$

При подстановке коэффициентов α_i , калиброванных по результатам МАЗ за 2024–2025 гг., совокупная экономия в стоимостном выражении оказывается сопоставимой с опубликованным эффектом предприятия (порядка нескольких сотен тонн условного топлива и более 1,8 млн руб. в год), что используется в качестве проверки адекватности модели: рассчитанные значения годовой экономии и снижение потребления не выходят за пределы фактически достигнутых агрегированных показателей энергосбережения МАЗ. Проверка адекватности модели выполнена путем сопоставления полученных по расчетной схеме значений экономики энергоресурсов и затрат с официально опубликованными агрегированными показателями энергосбережения МАЗ за 2024–2025 годы. Снижение объемов потребления по основным энергоемким участкам (тепловые завесы, системы отопления, электроприводы вентиляции и др.) особенно заметно при сценарии, в котором для этих участков задаются более высокие значения α_i . Это показывает, что цифровые решения, основанные на IoT, обеспечивают не только снижение общего потребления, но и перераспределение нагрузки по времени, уменьшая пиковые значения и потенциальные штрафы и издержки, связанные с превышением установленной мощности и неравномерностью профиля нагрузки [17].

Анализ удельных показателей затрат на энергоресурсы показал, что в результате внедрения IoT-ориентированных решений удельная энергоемкость продукции снижается пропорционально уменьшению суммарных затрат на энергоресурсы при неизменном объеме выпуска. Расчет показателя

$$c^k = \frac{\sum_i Q_i^k * T_i}{V}$$

показал, что переход от сценария без IoT к сценарию с IoT приводит к сокращению удельных затрат на единицу продукции на величину, сопоставимую с отраслевыми аналогами. При этом эффект оказывается наиболее выраженным в энергоемких цехах.

На макроуровне результаты моделирования согласуются с целевыми ориентирами государственной программы «Энергосбережение» на 2021–2025 годы, где предусмотрено планомерное снижение энергоемкости промышленной продукции, в том числе за счет внедрения цифровых технологий учета и управления энергопотреблением.

При заданных исходных инвестиционных затратах I_0 на внедрение IoT-решений и учете годовых эксплуатационных затрат C_t расчет чистого дисконтированного дохода по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{(E_t - C_t)}{(1+r)^t} - I_0$$

показал, что проект внедрения IoT-систем в энергохозяйстве МАЗ обладает положительным значением NPV. При использовании в качестве E_t годовой экономии, сопоставимой с фактически достигнутой на предприятии (с учетом переходящего эффекта мероприятий и их накопления во времени), значение NPV остается положительным даже при консервативных сценариях, что свидетельствует о высокой инвестиционной привлекательности проекта.

Расчет срока окупаемости проекта показал, что накопленный не дисконтированный денежный поток, рассчитанный по формуле

$$\sum_{t=1}^{T_{ok}} (E_t - C_t),$$

достигает величины, сопоставимой с первоначальными инвестициями, в относительно короткий период (как правило, в пределах нескольких лет), что согласуется с оценками сроков окупаемости аналогичных проектов АСКУЭ и систем энергоменеджмента в промышленности.

Полученные результаты подтверждают ключевые выводы исследований по энергоэффективности машиностроения Республики Беларусь о том, что снижение энергоёмкости продукции возможно при целенаправленном управлении энергопотреблением и комплексном использовании организационно-экономических и технических факторов.

Предложенная модель, ориентированная на сравнение сценариев «без IoT» и «с IoT», конкретизирует системный подход к управлению энергопотреблением для условий крупного машиностроительного предприятия и позволяет в укрупнённой форме оценить возможный вклад цифровых решений на основе IoT и АСКУЭ в снижение энергоёмкости и затрат на энергоресурсы.

Сопоставление результатов моделирования с фактическими показателями энергосбережения ОАО «МАЗ» (экономию 4,2 % за 2024 год и 6,9 % за первое полугодие 2025 года, 2638 т условного топлива и более 1,8 млн руб. экономии в денежном выражении) показывает, что получение сопоставимого эффекта в рамках модели при реалистичных значениях коэффициентов α_i подтверждает ее адекватность и прикладную пригодность [18]. Модель демонстрирует, что даже при консервативном подходе к оценке влияния IoT-решений на энергопотребление инвестиционный проект внедрения таких систем остается финансово привлекательным и устойчивым к изменению внешних условий.

Вместе с тем результаты исследования выявляют ряд ограничений, связанных с доступностью и детализацией исходных данных по энергопотреблению и структуре энергосберегающих мероприятий на уровне конкретного предприятия. В открытых источниках информация о МАЗ представляет собой агрегированные показатели по экономии топливно-энергетических ресурсов, без выделения вкладов отдельных цифровых и технических решений, что требует использования упрощенных коэффициентов α_i и допущений при калибровке модели. Это ограничивает возможность точного разнесения эффекта между IoT-ориентированными мерами и другими компонентами программы энергосбережения (модернизация сварочного оборудования, внедрение энергоэффективных компрессоров, оптимизация технологических процессов) [19].

С практической точки зрения важным результатом является подтверждение того, что внедрение IoT-решений в энергохозяйстве машиностроительных предприятий, подобных ОАО «МАЗ», способствует не только снижению прямых затрат на энергоресурсы, но и достижению стратегических целей устойчивого развития, включая повышение конкурентоспособности, снижение экологической нагрузки и выполнение государственных целевых показателей по энергосбережению. Поскольку МАЗ является крупным производителем в машиностроительном комплексе страны, успешная реализация IoT-ориентированных решений в его энергохозяйстве может служить ориентиром и основой для тиражирования аналогичных подходов на другие предприятия отрасли, при условии адаптации моделей к их технологическим особенностям и структуре энергопотребления [20].

Заключение

1. На основе сопоставления сценариев без IoT и с IoT предложенная модель показывает, что годовое потребление энергоносителей в энергохозяйстве МАЗ в сценарии с IoT может быть приведено к уровню, сопоставимому с достигнутыми показателями энергосбережения (4,2–6,9 %), что подтверждает согласованность результатов моделирования с фактическими агрегированными данными предприятия и служит элементом проверки адекватности модели. Разработанная модель с учетом объемов потребления, тарифов и коэффициентов снижения α_i позволяет в численной форме оценить годовую экономию от внедрения IoT-решений и связать ее с энергоёмкостью продукции и финансовыми показателями предприятия.

2. Расчеты показывают, что при реалистичных параметрах затрат и условий проекта чистый дисконтированный доход остается положительным, а инвестиции в IoT-инфраструктуру энергохозяйства МАЗ окупаются за приемлемый для промышленности срок, то есть такие проекты можно считать финансово привлекательными. Внедрение IoT-решений способствует снижению удельной энергоёмкости продукции ОАО «МАЗ», что соответствует выводам исследований по энергоёмкости машиностроения Республики Беларусь и целевым ориентирам государственной программы «Энергосбережение» на 2021–2025 годы, а также повышает устойчивость предприятия к росту тарифов на энергоресурсы.

3. Практически результаты исследования могут быть использованы руководством ОАО «МАЗ» и других машиностроительных предприятий при обосновании инвестиций в расширение IoT-инфраструктуры энергохозяйства, в том числе при выборе приоритетных участков (литейные, ремонтно-энергетические, системы отопления и вентиляции), где ожидается наибольший экономический эффект.

Список цитированных источников

1. Романькова, Т. В. Снижение энергоёмкости машиностроения Республики Беларусь: проблемы и пути решения : автореферат дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Романькова Татьяна Васильевна. – Минск, 2012. – 24 с.
2. Вишняков, В.А. Specialized IoT systems: Models, Structures, Algorithms, Hardware, Software Tools / В. А. Вишняков. – Минск : БГУИР, 2023. – 184 с.
3. Энергетическая статистика Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 20.05.2026).
4. Энергетический профиль Беларуси: аналитические материалы. 2021. – URL: <https://www.eeseaec.org/energetika-evrazii/energeticeskiy-profil-belarusi> (дата обращения: 21.05.2026).
5. Cost-effective industrial internet of things network planning for sustainable manufacturing systems / L. Yun, L. Li, J. Zhang, J. Guan // International Journal of Production Economics. – 2025. – Vol. 281. – P. 109517.
6. Green energy management in manufacturing based on demand prediction by artificial intelligence – A review / I. Rojek, D. Mikolajewski, A. Mroziński, M. Macko // Electronics. – 2024. – Vol. 13 (16). – P. 3338. – DOI: 10.3390/electronics13163338.
7. Flexible, smart manufacturing systems and industrial energy management system in automotive field / D. Petrescu (Dubic), O. R. Chivu, A. I. Feier, M. Gheorghe // Acta Technica Napocensis. – 2025. – Vol. 68, № 15. – URL: <https://www.atna-mam.utcluj.ro/index.php/Acta/article/download/2822/2229> (дата обращения: 22.05.2026).
8. Kwon, Y. Smart manufacturing innovation through the integration of digital twin and IoT energy management / Y. Kwon // International Journal of Control, Automation and Systems. – 2025. – Vol. 23 (11). – P. 3427–3439. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-025-0046-1> (дата обращения: 21.05.2026).
9. Optimizing sustainability: information aggregation in SM art factories for energy efficiency enhancement / M. Anjum, N. Kraiem, H. Min [et al.] // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15 (1). – DOI: 10.1038/s41598-024-83304-8.
10. Преимущества использования АСКУЭ в производстве. – 2023. – URL: <https://brenerg.by/preimushhestva-ispolzovaniya-askue-v-proizvodstve> (дата обращения: 21.05.2026).

11. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). – URL: <https://aesat.by/pages/main/askue.html> (дата обращения: 22.05.2026).
12. О Государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23 февр. 2021 г. № 103. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103> (дата обращения: 22.05.2026).
13. Потенциал энергосбережения и целевые показатели энергосбережения в промышленности Республики Беларусь. – URL: <https://www.belarus.by> (дата обращения: 23.05.2026).
14. Романькова, Т. В. Энергоэффективность предприятия: показатели, факторы и механизм повышения : монография / Т. В. Романькова, М. Н. Гриневич, О. В. Голушкова. – Могилев : Белорусско-Российский ун-т, 2013. – 148 с.
15. Жучков, А. С. Эффективность АСКУЭ – снижение удельной энергоёмкости промышленного предприятия. – URL: <https://www.elecom-ural.ru/stati/effektivnost-askue-snizhenie-udelnoy-energoemkosti-promyshlennogo-predpriyatiya.html> (дата обращения: 24.05.2026).
16. АСКУЭ. Проектирование АСКУЭ в Беларуси. Монтаж АСКУЭ № 1. – URL: <https://brenergob.by/sfera-deiatelnosti/askue> (дата обращения: 25.05.2026).
17. Справочные материалы по расчетной стоимости 1 тонны условного топлива. – URL: <https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka> (дата обращения: 25.05.2026).
18. МАЗ за январь–июнь перевыполнил показатель по энергосбережению более чем в два раза. Белорусское телеграфное агентство (БЕЛТА). – URL: <https://belta.by/economics/view/maz-za-yanvar-iyun-perevypolnil-pokazatel-po-energos-berezhniju-bolee-chem-v-dva-raza-736680-2025> (дата обращения: 26.05.2026).
19. МАЗ перевыполнил показатель по энергосбережению за январь – июнь 2025 года. – URL: <https://maz.by/media/news/2025/09/10/maz-perevypolnil-pokazatel-po-energosberezheniyu-za-yanvar-iyun-2025-goda> (дата обращения: 26.05.2026).
20. О расчетной стоимости 1 тонны условного топлива в 2024 году : информационная справка Департамента по энергоэффективности 2023. – URL: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka/20230321_cost (дата обращения: 27.05.2026).
7. Flexible, smart manufacturing systems and industrial energy management system in automotive field / D. Petrescu (Dubic), O. R. Chivu, A. I. Feier, M. Gheorghe // *Acta Technica Napocensis*. – 2025. – Vol. 68, № 15. – URL: <https://www.atna-mam.utcluj.ro/index.php/Acta/article/download/2822/2229> (дата обращения: 22.05.2026).
8. Kwon, Y. Smart manufacturing innovation through the integration of digital twin and IoT energy management / Y. Kwon // *International Journal of Control, Automation and Systems*. – 2025. – Vol. 23 (11). – P. 3427–3439. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-025-0046-1> (дата обращения: 21.05.2026).
9. Optimizing sustainability: information aggregation in SM art factories for energy efficiency enhancement / M. Anjum, N. Kraiem, H. Min [et al.] // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15 (1). – DOI: 10.1038/s41598-024-83304-8.
10. Preimushchestva ispol'zovaniya ASKUE v proizvodstve. – 2023. – URL: <https://brenergob.by/preimushchestva-ispolzovaniya-askue-v-proizvodstve> (дата обращения: 21.05.2026).
11. Avtomatizirovannye sistemy kontrolya i ucheta elektroenergii (ASKUE). – URL: <https://aesat.by/pages/main/askue.html> (дата обращения: 22.05.2026).
12. О Gosudarstvennoj programme «Energoberezhenie» na 2021–2025 gody: postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 23 fevr. 2021 g. № 103. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103> (дата обращения: 22.05.2026).
13. Potencial energosberezheniya i celevye pokazateli energosberezheniya v promyshlennosti Respubliki Belarus'. – URL: <https://www.belarus.by> (дата обращения: 23.05.2026).
14. Roman'kova, T. V. Energoeffektivnost' predpriyatiya: pokazateli, faktory i mekhanizm povysheniya : monografiya / T. V. Roman'kova, M. N. Grinevich, O. V. Golushkova. – Mogilev : Belorussko-Rossiiskij un-t, 2013. – 148 s.
15. Zhuchkov, A. S. Effektivnost' ASKUE – snizhenie udel'noj energoemkosti promyshlennogo predpriyatiya. – URL: <https://www.elecom-ural.ru/stati/effektivnost-askue-snizhenie-udelnoy-energoemkosti-promyshlennogo-predpriyatiya.html> (дата обращения: 24.05.2026).
16. ASKUE. Proektirovanie ASKUE v Belarusi. Montazh ASKUE № 1. – URL: <https://brenergob.by/sfera-deiatelnosti/askue> (дата обращения: 25.05.2026).
17. Spravochnye materialy po raschetnoj stoimosti 1 tonny uslovnogo topliva. – URL: <https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka> (дата обращения: 25.05.2026).
18. MAZ za yanvar'–iyun' perevypolnil pokazatel' po energosberezheniyu bolee chem v dva raza. Belorusskoe telegrafnoe agentstvo (BELTA). – URL: <https://belta.by/economics/view/maz-za-yanvar-iyun-perevypolnil-pokazatel-po-energos-berezhniju-bolee-chem-v-dva-raza-736680-2025> (дата обращения: 26.05.2026).
19. MAZ perevypolnil pokazatel' po energosberezheniyu za yanvar' – iyun' 2025 goda. – URL: <https://maz.by/media/news/2025/09/10/maz-perevypolnil-pokazatel-po-energosberezheniyu-za-yanvar-iyun-2025-goda> (дата обращения: 26.05.2026).
20. O raschetnoj stoimosti 1 tonny uslovnogo topliva v 2024 godu : informacionnaya spravka Departamenta po energoeffektivnosti 2023. – URL: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka/20230321_cost (дата обращения: 27.05.2026).

References

1. Roman'kova, T. V. Snizhenie energoemkosti mashinostroeniya Respubliki Belarus': problemy i puti resheniya : avtoreferat dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.05 / Roman'kova Tat'yana Vasil'evna. – Minsk, 2012. – 24 s.
2. Vishnyakov, V.A. Specialized IoT systems: Models, Structures, Algorithms, Hardware, Software Tools / V. A. Vishnyakov. – Minsk : BGUIR, 2023. – 184 s.
3. Energeticheskaya statistika Respubliki Belarus'. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 20.05.2026).
4. Energeticheskij profil' Belarusi: analiticheskie materialy. 2021. – URL: <https://www.eeseaec.org/energetika-evrazii/energeticheskij-profil-belarusi> (дата обращения: 21.05.2026).
5. Cost-effective industrial internet of things network planning for sustainable manufacturing systems / L. Yun, L. Li, J. Zhang, J. Guan // *International Journal of Production Economics*. – 2025. – Vol. 281. – P. 109517.
6. Green energy management in manufacturing based on demand prediction by artificial intelligence – A review / I. Rojek, D. Mikolajewski, A. Mroziński, M. Macko // *Electronics*. – 2024. – Vol. 13 (16). – P. 3338. – DOI: 10.3390/electronics13163338.

Материал поступил 10.06.2026, одобрен 28.06.2026, принят к публикации 06.07.2026