

УДК 330.342.24

КОНЦЕПЦИЯ, МОДЕЛЬ, ПРИМЕРЫ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В.А. ВИШНЯКОВ, М.Ю. МАКСАК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 2 апреля 2025

Аннотация. Представлены основные концепции интернета вещей (IoT) в энергетике. IoT позволяет создавать "умные сети" (smart grids), которые обеспечивают более эффективное управление энергопотреблением. Обсуждены ключевые компоненты таких систем. Математическая модель для системы IoT, ориентированной на энергосбережение представлена как задача оптимизации, где целевой функцией является минимизация энергопотребления.

Ключевые слова: IoT, умные сети, энергопотребление, задача оптимизации, структура, энергосбережение.

Введение

Современный мир сталкивается с растущими вызовами в области энергопотребления и управления энергетическими ресурсами. Рост населения, урбанизация и увеличение спроса на электроэнергию требуют внедрения инновационных технологий для оптимизации процессов генерации, распределения и потребления энергии. Одной из таких технологий является интернет вещей (IoT), который позволяет создавать интеллектуальные системы управления энергоснабжением [1]. В данной статье рассматриваются возможности IoT для повышения эффективности электроснабжения, приводятся математическая модель и примеры внедрения таких систем и анализируются их преимущества.

Основные концепции интернета вещей в энергетике

Интернет вещей представляет собой сеть взаимосвязанных устройств, которые собирают, обмениваются и анализируют данные в реальном времени. В контексте энергетики IoT позволяет создавать "умные сети" (smart grids), которые обеспечивают более эффективное управление энергопотреблением. Ключевыми компонентами таких систем являются:

1. Сенсоры и устройства сбора данных: измеряют параметры, такие как напряжение, ток, потребление энергии и состояние оборудования.
2. Системы передачи данных: обеспечивают обмен информацией между устройствами и центрами управления.
3. Аналитические платформы: обрабатывают данные и предоставляют insights для принятия решений.
4. Автоматизированные системы управления: регулируют работу энергосистемы на основе полученных данных.

Преимущества IoT для электроснабжения:

1. Оптимизация энергопотребления: IoT позволяет отслеживать потребление энергии в режиме реального времени и выявлять узкие места. Например, умные счетчики могут предоставлять данные о пиковых нагрузках, что помогает снижать затраты на электроэнергию.
2. Прогнозирование и планирование: Анализ данных, собранных IoT-устройствами, позволяет прогнозировать спрос на энергию и оптимизировать генерацию.

3. Снижение потерь: IoT помогает выявлять утечки энергии и неэффективное использование ресурсов.

4. Повышение надежности: мониторинг состояния оборудования в реальном времени позволяет предотвращать аварии и минимизировать downtime.

Для достижения эффективного энергосбережения требуется разработка математических моделей и структурированных систем, которые позволяют оптимизировать потребление энергии на основе данных, получаемых от IoT-устройств.

Математическая модель энергосбережения

Математическая модель для системы IoT, ориентированной на энергосбережение, может быть представлена как задача оптимизации, где целевой функцией является минимизация энергопотребления при соблюдении определенных ограничений. Рассмотрим пример модели для умного здания, где IoT-устройства управляют освещением, отоплением и кондиционированием воздуха.

Пусть $E(t)$ – общее энергопотребление системы в момент времени t ; $x_i(t)$ – состояние i -го устройства (например, включено/выключено или уровень мощности); $C(t)$ – ограничения, такие как комфортная температура или уровень освещенности.

Целевая функция может быть записана как

$$\text{Min} \sum E(t), (t = 1, T),$$

где T – временной горизонт оптимизации.

Ограничения могут включать

$$C_{\min} \leq C(t) \leq C_{\max},$$

где C_{\min} и C_{\max} – допустимые границы комфортных условий.

Для решения такой задачи могут использоваться методы линейного программирования, генетические алгоритмы или методы машинного обучения, такие как обучение с подкреплением (reinforcement learning), которые адаптивно настраивают параметры системы на основе данных.

Примеры внедрения IoT в энергетике

1. Умные сети в Европе: в странах ЕС активно внедряются smart grids, которые используют IoT для управления распределением энергии. Например, в Германии проект "E - Energy" объединяет более 1000 IoT-устройств, что позволило снизить потери энергии на 15 % [2].

2. Умные города в Китае: в Шэньчжэне внедрена система умного уличного освещения, которая использует IoT для регулирования яркости в зависимости от времени суток и погодных условий. Это позволило сократить энергопотребление на 30 % [3].

3. Промышленные IoT-решения: компания Siemens внедрила IoT-платформу MindSphere для мониторинга энергопотребления на производственных объектах. Это позволило снизить затраты на энергию на 20 % [4].

Несмотря на преимущества, внедрение IoT в энергетике сталкивается с рядом вызовов [5]:

1. Кибербезопасность: увеличение числа подключенных устройств повышает риск кибератак.

2. Стоимость внедрения: развертывание IoT-систем требует значительных инвестиций.

3. Сложность интеграции: совместимость различных устройств и платформ остается проблемой.

Структура системы IoT для энергосбережения

Система IoT для энергосбережения состоит из нескольких ключевых компонентов:

1. Датчики и устройства: сбор данных о температуре, освещенности, влажности и других параметрах.

2. Сеть передачи данных: обеспечение связи между устройствами и центральным сервером (например, через Wi-Fi, Zigbee или LoRaWAN).

3. Центр обработки данных: анализ данных и принятие решений на основе математической модели.

4. Актуаторы: устройства, которые выполняют команды, такие как регулировка температуры или включение/выключение света.

Примером такой системы может служить умное здание, где датчики отслеживают наличие людей в помещении и адаптируют освещение и отопление в реальном времени. Например, если в комнате никого нет, система автоматически снижает энергопотребление.

Рассмотрим пример умного дома, где система IoT управляет энергопотреблением. Датчики движения и освещенности отслеживают активность в помещении. Если в комнате нет людей, система автоматически выключает свет и снижает мощность отопления. Математическая модель оптимизирует энергопотребление, учитывая прогноз погоды и тарифы на электроэнергию. В результате такая система может снизить энергопотребление на 20-30 % [6].

Умная энергетика в Беларуси

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года [7], развитие энергетика будет нацелено на обеспечение стабильного и надежного функционирования системы энергообеспечения всех потребителей, повышение эффективности использования энергоносителей при снижении нагрузки на окружающую среду.

Важным направлением станет обеспечение доступа к надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех потребителей, что соответствует ЦУР 7 Повестки – 2030.

Одна из важнейших задач – экономически и экологически целесообразное развитие энергоисточников, использующих местные виды топлива.

Активизируется работа по диверсификации поставщиков топливноэнергетических ресурсов (ТЭР), для чего предусматривается формирование общих энергетических рынков Евразийского экономического союза и участие во взаимной торговле на них и других международных рынках, а также развитие безуглеродных источников энергии.

Особый акцент будет сделан на оптимальное вовлечение в топливноэнергетический баланс возобновляемых источников энергии, включая их активную интеграцию в энергосистему за счет развития "умных" сетей, применения технологий аккумулирования электрической и тепловой энергии, распространения технологий использования возобновляемых источников энергии для собственных нужд. В этих целях энергоисточники, работающие на традиционных энергоресурсах, будут с учетом экономической целесообразности поэтапно заменяться объектами возобновляемой генерации.

На развитие информационных систем в отечественной энергетике оказывает влияние концепция Smart Grid. Smart Grid ("интеллектуальные сети электроснабжения") – это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надежность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии [8].

В основу концепции Smart Grid положена целостная и всесторонне согласованная система взглядов на роль и место электроэнергетики в настоящем и будущем, целей и требований к ее развитию, подходов к их реализации и созданию необходимого технологического базиса.

На настоящем этапе развития под Smart Grid понимается набор программно-аппаратных средств, которые способствуют повышению эффективности производства, распределения и передачи электроэнергии.

При этом под эффективностью подразумевается:

1. Децентрализация функций генерации и управления потоками электроэнергии и информации в энергетической системе.

2. Снижение затрат на генерацию, распределение и передачу электроэнергии.

3. Оперативное устранение неисправностей.

4. Возможность передачи электроэнергии и информации в двух направлениях, что является важным условием для более интенсивного развития распределенной и возобновляемой энергетики.

Концепция Smart Grid предполагает активную роль потребителя энергии, когда он становится, с одной стороны, активным субъектом разработки и принятия решений по развитию и функционированию энергосистемы, а с другой – объектом управления, обеспечивающим реализацию ключевых требований. Появилось даже новое понятие "Prosumer" (от англ. producer + consumer).

Более того, интеллектуальная сеть должна быть результатом активного взаимодействия государства, энергокомпаний и потребителя, когда всем трем сторонам одинаково не выгодно нарушать общие правила работы внутри сети и при этом каждый участник получает свою экономическую выгоду [9].

По состоянию на апрель 2023 года уровень цифровизации энергетического комплекса Беларуси превышает 60 %. Ключевые направления внедрения технологий автоматизации и цифровизации в отрасли. Среди них - управление электрическими сетями и строительство новых цифровых подстанций.

Подстанция 330 кВ "Могилев" – первая в стране полностью цифровая подстанция такого класса напряжения. Ввод объекта в эксплуатацию позволил повысить надежность электроснабжения Могилевского энергоузла, вдвое сократить размеры площадей под оборудование. Благодаря высокой автоматизации процессов на подстанции не требуется постоянного присутствия персонала. Это существенно сокращает эксплуатационные и трудовые затраты по ее обслуживанию. Автоматизированные системы диспетчерского управления Минских тепловых сетей, контроллерное оборудование, а также автоматизированное рабочее места операторов внедрены в Минской ТЭЦ-3. РУП "Гродноэнерго" оборудовано программным комплексом "АМПЕР-М", который предназначен для автоматизации сбора и обработки информации о энергосбытовой деятельности. РУП "Брестэнерго" внедрило шкаф управления уличным освещением с функцией дистанционного съема показаний потребленной электроэнергии.

Всего в стране 1,4 тыс. подстанций с элементами цифровизации, шесть – полностью цифровых. "Умные" электрические сети в автоматическом режиме оперативно реагируют на изменения различных параметров и позволяют осуществлять бесперебойное электроснабжение с высокой экономической эффективностью. Пилотные проекты по внедрению технологии Smart Grid реализованы в Борисовском, Бобруйском, Лиознинском, Пинском районах электрических сетей.

Внедрение современных IT-решений – это и дополнительные возможности по предоставлению качественно новых услуг потребителям. В электроэнергетике для автоматизации учета электрической энергии электронные счетчики бытовых абонентов объединяются в автоматизированную систему "АСКУЭ-быт" с последующей интеграцией в ЕРИП. Это дает возможность бытовым потребителям рассчитываться за электрическую энергию по тарифам, дифференцированным по временным периодам, а также снижать свои расходы. К настоящему времени заменено уже более 4 млн счетчиков на электронные – это 90,6 % от их общего количества [10].

Заключение

1. Интернет вещей открывает новые возможности для повышения эффективности электроснабжения. Благодаря IoT можно оптимизировать энергопотребление, снизить потери и повысить надежность энергосистем. Однако для успешного внедрения необходимо учитывать такие факторы, как кибербезопасность и стоимость реализации. Примеры из Европы, Китая и промышленного сектора демонстрируют, что IoT уже сегодня приносит значительные преимущества в управлении энергетическими ресурсами.

2. Математические модели и структурированные системы IoT играют ключевую роль в эффективном энергосбережении. Они позволяют оптимизировать энергопотребление, снижая затраты и уменьшая воздействие на окружающую среду. Примеры внедрения таких систем, такие

как умные здания, демонстрируют их высокую эффективность и потенциал для широкого применения.

CONCEPT, MODEL, EXAMPLES OF INTERNET OF THINGS SYSTEMS FOR EFFICIENT POWER SUPPLY

U.A. VISHNIAKOU, M.Yu MAKSAK

Abstract. The basic concepts of the Internet of Things (IoT) in the energy sector are presented. IoT allows to create "smart grids" that provide more efficient energy management. The key components of such systems are discussed. The mathematical model for an energy-saving IoT system is presented as an optimization problem, where the objective function is to minimize energy consumption. Keywords:

Keywords: IoT, smart grids, energy consumption, optimization problem, structure, energy saving.

Список литературы

1. Вишняков В. А. Технология блокчейн в образовании и ИТ-медицине: модели, алгоритмы, программные средства: [монография] / В. А. Вишняков, Д. А. Качан. – Минск: РИВШ, 2023. – 184 с.
2. European Commission. (2021). Smart Grids and IoT: A European Perspective. Brussels.
3. Zhang Y., Li X., & Wang H. (2022). IoT-based Smart Lighting Systems in Shenzhen: A Case Study. *Journal of Smart Cities*, 7(2), 45-60.
4. Siemens. (2023). MindSphere: IoT Platform for Energy Management. Siemens White Paper.
5. International Energy Agency. (2020). The Role of IoT in Energy Efficiency. IEA Reports.
6. Saylim Z. A., Zaman N. (2020). A review on smart home present state and challenges: linked to context-awareness internet of things (IoT). *Wireless Networks*, 26(5), 3641-3656.
7. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года [Электронный ресурс]/Сайт Министерства экономики Беларуси. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf> – Дата доступа: 29.03.2025.
8. Государственная программа "Энергосбережение" на 2021 – 2025 годы [Электронный ресурс] / Сайт "Госстандарт". – Режим доступа: <https://gosstandart.gov.by/approved-state-program-energy-saving-for-2021-2025-years>. – Дата доступа: 29.03.2025.
9. Оганезов И. А. Перспективные решения "Интеллектуальных сетей электроснабжения" Smart Grid на сельских территориях Республики Беларусь / И. А. Оганезов, Н. В. Щербина, А. В. Буга // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня : сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции, Минск, 11-12 мая 2022 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2022. – С. 124–133.
10. Минэнерго: уровень цифровизации энергетического комплекса Беларуси превышает 60% [Электронный ресурс] / Сайт "БелТА". – Режим доступа: <https://belta.by/economics/view/minenergo-uroven-tsifrovizatsii-energeticheskogo-kompleksa-belarusi-prevyshaet-60-561987-2023/>. – Дата доступа: 29.03.2025.