

УДК 622

## К ВОПРОСУ О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ИНТЕРНЕТА ЭНЕРГИИ

Устюжанина А.С., студент гр. МЭб-201, IV курс

Научный руководитель: Паскарь И.Н., старший преподаватель

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

За последние несколько лет наибольшее развитие в электроэнергетике России происходит благодаря технологиям цифровизации. Одно из направлений цифровизации энергетики – IoT-технологии (Internet of Things), основанные на телеметрии и телеуправлении. Они используются в отрасли для создания «умных» сетей и «Смарт Гридов» (Smart Grids) с помощью датчиков и сенсоров, подключенных к общему облачному или онлайн-сервису.

Мониторинг сетей в режиме онлайн, сохранение данные на облачных сервисах, определение степени опасности дальнейшего использования объекта, а также необходимость вмешательства в работу установки ремонтных служб – все это позволяет делать система телеуправления. Такие умные системы на основе телеметрии позволяют снизить технологические риски, повысить точность учета и распределения ресурса. Например, в Москве уже работает сеть для сбора данных о потреблении электроэнергии домохозяйствами на основе подключенных к специализированной беспроводной сети адаптированных счетчиков.

Больше половины всех промышленных предприятий страны уже используют IoT-технологии (интернет вещей). В ближайшие три года ожидается рост оборота рынка IoT в Российской Федерации, с 9,3 млрд руб. до 270 млрд руб. Катализатором развития станет запуск сетей 5G, которые больше всего подходят для передачи больших данных в облачных системах. [3]

Благодаря внедрению таких инноваций, в планах получить экономический эффект к 2025 году, около 2,8 трлн руб. в нескольких отраслях экономики РФ. Из них 532 млрд руб. – в электроэнергетике, 375 млрд руб. – в городской среде. [4]

Технологии интернета вещей повышают не только безопасность работы системы, но и эффективность работы электроэнергетики как отрасли промышленности. К тому же, благодаря IoT-технологиям представляется возможным оптимизировать расходы и пристимулировать развитие альтернативных источников энергии (таких как ВИЭ).

Телеметрия и телеуправление на объектах энергетики позволяют в несколько раз ускорить передачу информации какой-либо аварийной ситуации, что позволяет в свою очередь увеличить время, отведенное на устранение неполадок. Программно-технические комплексы (ПТК) различного назначения, локальные системы автоматического управления (САУ) для котельных и насосных станций, базирующиеся на технологиях

«Интернета вещей», позволяют бороться с потерями ресурса в сетях, а также обеспечивают стабильность энергообеспечения. [5]

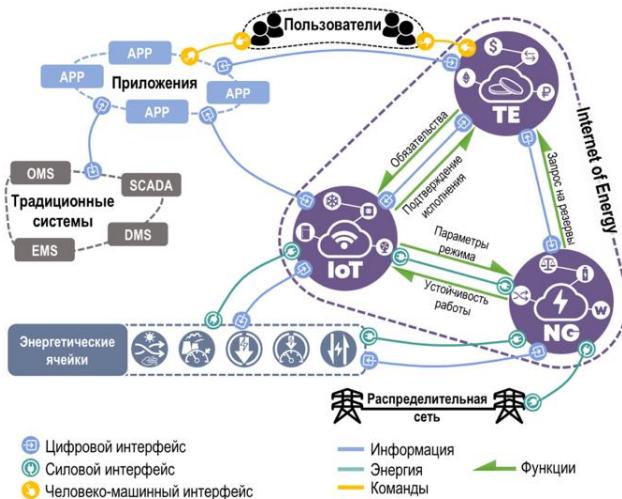


Рис. 1. Архитектура «Интернета вещей» [7]

«Интернет энергии» (IoE) — микроэнергосистема (или микрогрид), участниками которой являются производители и потребители энергии, которые могут обмениваться энергией между собой. У такой микроэнергосистемы архитектура отличается от традиционной, так как представляет собой децентрализованную систему. Управление осуществляется интеллектуальной системой за счет энергетических трансакций. Энергетическая трансакция — взаимодействие субъектов микроэнергосистемы (или микрогрида), который состоит из трех слоев энергоинформационного обмена: финансово-договорного, информационно-управляющего и физического (электрического).

Без внедрения системы «Интернета энергии» энергия может теряться при перемещении по линиям, поскольку они не могут передавать ее эффективно.

Технология умных систем позволяет пользователям интегрировать системы связи, контролировать мощность и электрические потоки, измерять использование, следить за исправностью своих систем и автоматизировать свои энергосистемы, среди прочего. Интеллектуальные сети позволяют пользователям принимать более эффективные бизнес-решения и делать прогнозы на будущее.

9 ноября 2019 года в Центре компетенций НТИ на базе МЭИ «Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем» начался этап по вводу в эксплуатацию особого оборудования. [2] Работы выполняются в рамках проекта по разработке архитектуры интернета энергии в целях реализации плана мероприятий «Энерджинет» Национальной технологической инициативы.

Создание полигона «Testbed 'Энерджинет'», работающего по технологии Power Hardware in Loop (PHIL), является первым таким проектом в России и одним из немногих в мире. Ввод в эксплуатацию полигона «Testbed 'Энерджинет'» станет важной вехой в реализации плана мероприятий

«Энерджинет», так как позволит вывести разработки устройств и систем на качественно новый уровень. [2]

В таблице 1 приведена сравнительная оценка применения различных типов энергетических ячеек.

Таблица 1. Роли энергетических ячеек в энергетических трансакциях

Тип энергетической ячейки	Предмет энергетической трансакции					
	Электроэнергия		Мощность		Гибкость	
	Продавец	Покупатель	Продавец	Покупатель	Продавец	Покупатель
Маневренный генератор	+	-	+	-	+	-
Стохастический генератор	+	-	+	+	-	+
Просьюмер	+	+	+	+	+	-
Потребитель с вариабельной собственной генерацией	+	+	-	+	-	+
Активный потребитель	-	+	+	+	+	-
Пассивный потребитель	-	+	-	+	-	+

Для функционирования такой микроэнергосистемы необходимы программно-аппаратные комплексы с распределенной архитектурой и системами управления, построенные с применением различных методов искусственного интеллекта, которые обеспечат:

- синтез договорных условий (смарт-контракты);
- выдачу управляющих воздействий на силовое оборудование, соответствующих договорным условиям и обеспечивающих выполнение технологических ограничений;
- реализацию энергообмена на физическом уровне.



Рис. 2. Принцип киберфизической модели микроэнергосистемы

Технологии «Интернета энергии» хорошо подходят для малой распределенной энергетики или микрогрид (MicroGrid). Такие микроэнергосистемы нужны для снабжения изолированных или отдаленных населенных пунктах, где нет возможности подключиться к централизованному электроснабжению. Как правило, к таким группам относятся потребители в изолированных поселках, деревнях и т.д. Такие населенные пункты составляют от 60% до 70% территории России. [1]

Создание микроэнергосистемы предполагает установку распределенных по электрической сети источников энергии как на основе ископаемого сырья, так и на основе ВИЭ, а также установку накопителей электроэнергии. Такая локальная энергосистема, включающая разные типы производителей и потребителей электроэнергии, требует применения нового типа систем управления и защиты, которые должны обеспечить их гибкую интеграцию в общую инфраструктуру «Интернета энергии».

Для создания устройств, поддерживающих технологии IoT, необходимо проводить специальные испытания на совместимость как на физическом уровне передачи электроэнергии, так и на уровне цифровых систем управления и защиты. Прототипы устройств для реализации этой технологии должны проходить испытания в комплексе с реальными силовыми устройствами,ключенными в контур цифрового моделирования. Для проведения таких испытаний необходим комплекс, представляющий собой особую киберфизическую модель микроэнергосистемы, одна часть которой моделируется в цифровом симуляторе реального времени (например, таком как RTDS), а другая часть является реальной электрической сетью с реальными физическими устройствами (генераторами, инверторами, накопителями и др.).

Создание таких киберфизических моделей для малых распределительных сетей для отработки технологии «Интернета энергии» является очень важной задачей на пути к реализации концепции «Интернета энергии», так как позволяет отладить все три слоя энергоинформационного обмена и реализовать на практике механизм энергетических трансакций на этапе разработки продуктов и комплексных решений.

Однако для проведения таких испытаний необходимо симулировать полноценный обмен энергией между цифровой частью модели и ее реальной физической частью. Это позволяет сделать специальное устройство, которое носит название «четырехквадрантный усилитель мощности». Характерной чертой четырехквадрантных усилителей мощности, в отличие от обычных, является их способность не только выдавать мощность, но и потреблять ее. При этом токи и напряжения, рассчитанные в виртуальной модели, инжектируются в реальную электрическую сеть при помощи четырехквадрантных усилителей.

Затем реакция реальной физической части модели оцифровывается и вводится в цифровой симулятор уже на следующем шаге расчета (через 50 мкс). Такие киберфизические модели позволяют, с одной стороны, создавать модели микрогрид большой размерности, включающие накопители электроэнергии, ВИЭ и другое перспективное оборудование в рамках цифрового моделирования, а с другой стороны — в физической части подключать для проведения исследований и испытаний реальное оборудование: энергороутеры, накопители электроэнергии, управляемые интеллектуальные присоединения и др.

Таким образом, цифровизация в энергетике, а именно, создание таких киберфизических моделей существенным образом влияет на развитие отрасли. К тому же, подобные цифровые решения должны применяться не только для физического «обмена» энергией, но и для финансовой составляющей этого процесса. Например, различные алгоритмы для расчета тарифа на электроэнергию. Это все для того, чтобы потребитель мог выбрать наиболее выгодного для себя производителя, исходя из тарифа.

**Список литературы:**

1. TADVISER Интернет энергии [Электронный ресурс] URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет\\_энергии\\_\(MicroGrid\)\\_Малая\\_распределенная\\_энергетика](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет_энергии_(MicroGrid)_Малая_распределенная_энергетика)
2. Цифровые закупки. Интернет энергии. Первые испытания [Электронный ресурс] URL: <https://цифровые-закупки.рф/nacionalnye-proekty/cifrovaja-jekonomika/na-baze-mjei-sozdan-ispytatelnyj-kompleks-dlja-razrabotki-proektov-interneta-jenergii/>
3. Elec.ru «Интернет вещей» в электроэнергетике. Применение и перспективы [Электронный ресурс] URL: <https://www.elec.ru/publications/tsifrovye-tehnologii-svjaz-izmerenija/6157/>
4. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс] URL: [https://digital.gov.ru/ru/events/48266/?utm\\_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f](https://digital.gov.ru/ru/events/48266/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f)
5. Н.К. Малинин, М.Е. Кузнецов, И.Г. Гусев, Применение технологий интернета вещей в энергосистемах [Электронный ресурс] URL: <https://sovman.ru/item-work/2023-0090/>
6. Инфраструктурный центр «Энерджинет», Архитектура Интернета энергии IDEA [Электронный ресурс] URL: <https://csr-nw.ru/upload/iblock/af9/Архитектура%20Интернета%20энергии%20IDE%20версия%202.0.pdf>
7. Центр стратегических разработок северо-запад [Электронный ресурс] URL: [https://csr-nw.ru/tracks/detail.php?ID=1069&phrase\\_id=2320](https://csr-nw.ru/tracks/detail.php?ID=1069&phrase_id=2320)