

УДК 519.1

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ИПУ РАН

Н.И. Базенков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: bazenkov@ipu.ru

А.Ф. Пащенко

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: paschenko_alex@mail.ru

И.В. Петров

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: ivpetrov@ipu.ru

Ю.М. Рассадин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: rassadin@ipu.ru

Л.А. Середа

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: sereda@ipu.ru

Н.И. Шушко

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: shushko1999@gmail.com

Ключевые слова: интеллектуальная энергетика, интернет вещей, анализ данных, беспроводные датчики, анализ энергопотребления.

Аннотация: Центр интеллектуальной цифровой электроэнергетики ИПУ РАН создан для проведения прикладных и фундаментальных исследований в области управления современными энергосистемами, интеллектуализации зданий и интернета вещей. В центре созданы и развиваются несколько информационных систем: сенсорная система сбора информации об энергопотреблении, микроклимате и метеоусловиях, система учета активов, система визуализации и анализа данных. Собран исследовательский открытый набор данных об энергопотреблении ИПУ РАН за 2021-2023 годы, а также о микроклимате помещений. Разработанная система мониторинга состояния энергетической сети ИПУ РАН используется инженерными службами.

1. Введение

Центр интеллектуальной цифровой электроэнергетики ИПУ РАН создан в 2018 году для проведения фундаментальных и прикладных исследований в области интеллектуальных технологий управления в энергетике. Основная миссия центра – создание и совершенствование инфраструктуры для сбора данных, обработки интеллектуальных алгоритмов и математических моделей для систем управления энергопотреблением и микроклиматом зданий.

Исследования центра включают в себя следующие основные направления:

1. Модели теплообмена и управления климатом в помещениях,
2. Интеллектуальный анализ энергопотребления,
3. Анализ предпочтений потребителей,
4. Математические, имитационные и агентные модели электроэнергетических рынков,
5. Управление устойчивостью сетей с распределенной генерацией,
6. Интеллектуальный анализ структуры инженерных сетей,
7. Разработка новых технологий в энергетике и ресурсосбережении.

В докладе представлен обзор технической инфраструктуры Центра, уже собранных и доступных для исследователей данных и других полученных результатах. Более подробное описание инфраструктуры Центра опубликовано в [1].

2. Инфраструктура сбора данных

На рис. 1 показана схема системы сбора и хранения данных. Она включает в себя несколько уровней: получение первичных измерений, их сбор и агрегация, затем пост-обработка, хранение и анализ. Сбор данных выполняется для трех подсистем с разными типами датчиков: электрической, климатической и метеорологической.

Электрическая подсистема, охватывает энергетическую сеть ИПУ РАН. Измерения выполняются счетчиками «Меркурий-234», установленными на питающие трехфазные кабели (фидеры), приходящие от трансформаторных подстанций. В настоящее время установлено более 150 счетчиков, фиксирующих основные показатели энергопотребления каждой из трех фаз: активную и реактивную мощность, напряжение и ток, частоту сети, угол между током и напряжением, коэффициент нелинейных искажений.



Рис. 1. Архитектура системы сбора данных.

Мониторинг характеристик микроклимата обеспечивается беспроводной сетью климатических мультисенсоров, подключенных по беспроводной сети стандарта LoRaWAN. Фиксируются следующие показатели: температура, влажность, освещенность, концентрация углекислого газа. Центром разработана модифицированный протокол беспроводной сети LoRa, позволяющий повысить интенсивность сбора данных. Особенностью модифицированного протокола является использование алгоритма распределенного сжатия данных в сетях, основанный на предсказании данных на сервере, когда датчик не передает весь массив данных, а только корректирующую информацию в случае превышения заданной заранее ошибки предсказания. Подобный подход позволяет уменьшить использование канала связи и снизить энергопотребление датчиков. Подробнее устройство беспроводной сети и модификация протокола описана в [3, 4].

Дополнительно собираются показания двух локальных метеостанций, т.к. погодные условия существенно влияют как на энергопотребление, так и на микроклимат здания. Составные части микроклиматической системы следят за качеством воздуха в общественных пространствах и на спортивных объектах ИПУ РАН, в серверной, морозильной камере столовой. Данными о влажности почвы обеспечен агро-полигон Центра молодежного инновационного творчества ИПУ РАН.

В таблице 1 приведены количественные показатели разных подсистем.

Таблица 1. Характеристики разных подсистем сбора данных

	Количество датчиков	Период сбора данных	Количество измеряемых переменных
Энергетическая сеть	95	15 сек.	25
Микроклимат	18	5 мин.	4
Погодные условия	2	1 сек.	5

3. Открытый набор данных

Современные исследования в области интеллектуальной энергетики и управления зданиями сфокусированы на подходах, требующих наличия актуальных данных. В связи с этим многие научные коллективы собирают и публикуют общедоступные наборы данных. В [2] приведен обзор существующих наборов данных и их классификация. Стоит отметить, что существенная часть этих данных собрана в США, Европе и южных странах, например, Индии. Паттерны энергопотребления, представленные в таких наборах, не будут репрезентативны для более северных регионов, особенно с умеренно или резко континентальным климатом.

Одной из задач Центра является сбор данных, которые могли бы быть полезны широкому кругу исследователей в области энергетики. В настоящее время для в открытом доступе находятся данные об энергопотреблении ИПУ РАН, микроклимате помещений и погодных условиях за 2021 год. Данные за 2022 и 2023 годы находятся на стадии обработки и также будут выложены в открытый доступ на сайте Центра: <https://energy.ipu.ru/datasets>.

Одно из потенциальных применений наших данных – тестирование алгоритмов интеллектуального анализа данных энергопотребления. С 2022 года Центром проводятся соревнования по анализу данных в рамках молодежной научной школы «Управление большими системами». В 2021 году проводились соревнования по детекции нагрузки: необходимо было определить, какие приборы сейчас включены по общему графику энергопотребления [5]. В 2022 году темой соревнований было

предсказание энергопотребления. В работе [6] данные о динамике энергопотребления использовались для исследования алгоритма управления распределенной генерацией электроэнергии в микрогридах. В [7] анализируются паттерны энергопотребления, наблюдаемые в наших данных, сезонные и суточные закономерности. Помимо этого, данные могут использоваться для тестирования алгоритмов декомпозиции энергопотребления (NILM – Non-Intrusive Load Monitoring).

4. Визуализация данных и приложения

Доступ пользователя к собираемым данным осуществляется через платформу интернета вещей Thingsboard, развернутую локально в сети ИПУ РАН. Для хранения данных используется база данных Cassandra. Помимо этого, информация о планах помещений, схеме электросети, расположении датчиков хранится в системе управления активами CMDBuild. В настоящее время обследовано около 98% помещений ИПУ РАН. В таблице 2 приведена краткая информация о количестве помещений и узлов электросети ИПУ РАН.

Таблица 2. Количество обследованных помещений и объектов электросети.

Корпус	Всего помещений	Всего обследовано			Потребителей электроэнергии
		Помещений	Электропитов	Автоматических выключателей тока	
Лабораторный корпус	1019	1003	134	1395	1545
Жилая застройка	206	205	76	567	422

Платформа интернета вещей позволяет выполнять пост-обработку, анализ и визуализацию данных в реальном времени. С помощью правил пост-обработки в системе реализовано детектирование аварийных и внештатных ситуаций в энергосети. На рис. 2 показан экран мониторинга энергопотребления, который используется электриками ИПУ РАН.

Сотрудниками Центра предложен и запатентован оригинальный метод детектирования обрыва нулевого проводника по показаниям трехфазных счетчиков. Метод внедрен в систему мониторинга энергопотребления ИПУ РАН.

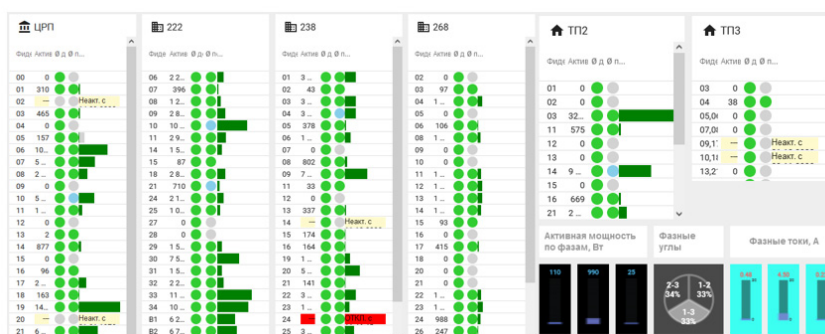


Рис. 2. Фрагмент экрана мониторинга электрической сети, используемого дежурными электриками.

5. Заключение

В докладе описаны исследования и техническая инфраструктура Центр интеллектуальной энергетики ИПУ РАН. Разработанная система показывает, как с помощью доступного аппаратного и программного обеспечения можно создать экспериментальную площадку для исследований в энергетике. Поскольку фокус исследований в этой области постепенно смещается от крупных промышленных объектов к зданиям жилого или офисного типа, любое такое здание может стать полигоном для тестирования современных алгоритмов анализа и управления в энергетике. Опубликованный на сайте Центра (<https://energy.ipu.ru/datasets/>) набор данных содержит информацию об энергопотреблении и микроклимате ИПУ РАН. Данные могут использоваться сторонними исследователями и инженерами для тестирования своих методов и моделей.

Список литературы

1. Bazenkov N.I. Sergey V. Dushin S.V., Goubko M.V., Korepanov V.O., Rassadin Yu.M., Sereda L.A., Shinkaryuk A.G. An Office Building Power Consumption Dataset for Energy Grid Analysis and Control Algorithms // IFAC-PapersOnLine, Vol. 55, No. 9. P.111-116.
2. Himeur Y., Alsalemi A., Bensaali F., Amira A. Building power consumption datasets: Survey, taxonomy and future directions // Energy and Buildings. 2020. No. 227. P. 110404.
3. Rassadin Y.M., Dushin S.V. Efficient Wireless Data Collection System Based on LoRaWAN Technology and Distributed Computation Approach // Proceedings of the 23rd International Conference on Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications (DCCN-2020, Moscow). Cham: Springer, 2020. Vol. 1337. P. 510-520. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66242-4_40 (дата обращения 15.01.2024).
4. Dushin S.V., Frolov S.A. Distributed Data Compression Algorithm for Low-Power Wide-Area Networks // Vishnevskiy V., Samouylov K., Kozyrev D. (Eds.) Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2019. Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer, 2019. Vol. 1141. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36625-4_14.
5. NILM Energy Disaggregation. <https://www.kaggle.com/competitions/energy-disaggregation-1> (дата обращения 15.01.2024).
6. Goubko M.V., Shushko N. I. Approximate Dynamic Programming Decompositions for Economic Dispatch in Microgrids // IFAC-PapersOnLine. 2022. Vol. 55, No. 9. P. 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.046>.
7. Bazenkov N.I., Petrov I.V. Detailed Analysis of Energy Consumption for an Office Building // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). 2024. To be published.