

Научная статья / Research Article

УДК 621.316.1.12

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ УЧЕТА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Р.В. Вензелев¹, О.О. Вензелева², М.П. Баранова³¹АО «Красноярская региональная энергетическая компания», Россия, Красноярск^{2,3}Красноярский государственный аграрный университет, Россия, Красноярск

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы цифровизации электроэнергетики России с акцентом на применение интеллектуальных приборов учета в распределительных сетях 0,4–10 кВ. Показано, что на уровне высоковольтных сетей цифровые технологии успешно внедряются благодаря развитой инфраструктуре телемеханики и каналам связи. Однако распределительные сети остаются менее охваченными цифровизацией вследствие их протяженности, разветвленности и высокой стоимости внедрения специализированных средств мониторинга. В этой связи предлагается использовать интеллектуальные приборы учета как многофункциональные сенсоры, фиксирующие не только объемы потребления, но и широкий спектр параметров сети: напряжения, токи, мощности, качество электроэнергии и аварийные события. Показаны возможности интеллектуальных приборов учета в выявлении перегрузок, перекосов фаз, потерь электроэнергии и аномалий, а также их роль в реализации предиктивного обслуживания. Обобщен зарубежный опыт, подтверждающий эффективность использования интеллектуальных приборов учета для прогнозирования нагрузок и интеграции электромобильной инфраструктуры. Сделан вывод о стратегической роли интеллектуальных приборов учета в цифровой трансформации энергетики России.

Ключевые слова: интеллектуальные приборы учета, распределительные сети, мониторинг параметров сети

APPLICATION OF INTELLIGENT METERING DEVICES FOR ASSESSING THE CONDITION OF ELECTRICAL NETWORKS

R.V. Venzelev¹, O.O. Venzeleva², M.P. Baranova³¹AO "Krasnoyarsk Regional Energy Company", Russia, Krasnoyarsk²Krasnoyarsk state agrarian university, Russia, Krasnoyarsk

⁵ Вензелев Р.И., Вензелева О.О., Баранова М.П., 2025

Инженерные системы и энергетика. 2025. № 3 С. 36–43.

Engineering systems and energy. 2025;(3):36–43.

Abstract. *The article discusses current issues of digitalization of the Russian electric power industry, with a focus on the use of intelligent metering devices in 0.4-10 kV distribution networks. It is shown that digital technologies are successfully implemented at the high-voltage network level due to the developed telemetry infrastructure and communication channels. However, distribution networks remain less covered by digitalization due to their length, complexity, and high cost of implementing specialized monitoring tools. In this regard, it is proposed to use intelligent metering devices as multifunctional sensors that record not only consumption volumes, but also a wide range of network parameters, such as voltages, currents, powers, energy quality, and emergency events. The article demonstrates the capabilities of intelligent metering devices in detecting overloads, phase imbalances, energy losses, and anomalies, as well as their role in implementing predictive maintenance. The article summarizes foreign experience that confirms the effectiveness of using smart metering devices for load forecasting and the integration of electric vehicle infrastructure. The article concludes that smart metering devices play a strategic role in the digital transformation of Russia's energy sector.*

Keywords: *intelligent metering devices, distribution networks, network parameter monitoring*

Введение. В последние годы в электроэнергетике России наблюдается активное внедрение цифровых технологий, это связано с необходимостью повышения надежности и управляемости энергосистемы, снижения потерь и повышения качества электроснабжения. В рамках национальных и корпоративных программ цифровой трансформации значительное внимание уделяется развитию интеллектуальных систем учета (ИСУ) и внедрению элементов концепции «умных сетей» (Smart Grid).

Традиционно цифровизация охватывает прежде всего магистральные и высоковольтные электрические сети напряжением 110 кВ и выше, где существует развитая система телемеханики, диспетчеризации и мониторинга параметров. В таких сетях использование волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), встроенных в грозотросы или подвешенных на опорах ВЛ, позволяет организовать централизованный сбор данных и управлять режимами работы в реальном времени.

Однако на уровне распределительных сетей 10 кВ и ниже ситуация гораздо сложнее. Данные сети характеризуются обширной протяженностью, разветвленной структурой и большим количеством конечных потребителей. Оснащение их специализированными датчиками напряжения и тока по всей топологии сети экономически и технически затруднительно. В этой связи актуальной задачей становится поиск альтернативных решений для мониторинга состояния распределительных сетей.

Одним из таких решений является использование интеллектуальных приборов учета, устанавливаемых сетевыми организациями и гарантирующими поставщиками на границе балансовой принадлежности с потребителями. Эти устройства обладают широким функционалом, позволяющим

не только фиксировать потребление электроэнергии, но и регистрировать важные параметры электрической сети [1].

Современное состояние цифровизации

Развитие цифровых технологий в энергетике России связано с реализацией программы «Цифровая трансформация электроэнергетики», где определены приоритетные направления:

- внедрение интеллектуальных систем учета;
- автоматизация процессов управления;
- интеграция распределенной генерации;
- развитие технологий больших данных и искусственного интеллекта для прогнозирования режимов.

Высоковольтные сети уже оснащены современными системами мониторинга и управления, включая комплексы релейной защиты и автоматики и телемеханику. Эти решения позволяют обеспечивать высокую степень устойчивости энергетической системы.

Однако на уровне распределительных сетей, особенно 0,4–10 кВ, степень цифровизации остается ограниченной. К основным причинам можно отнести высокую стоимость установки датчиков, большое количество мелких потребителей и низкую рентабельность таких инвестиций для сетевых компаний.

Проблемы мониторинга распределительных сетей 0,4–10 кВ

К основным проблемам повсеместного внедрения устройств мониторинга в распределительные сети можно отнести следующее:

1. Огромная протяженность линий электропередачи и большое число трансформаторных подстанций.
2. Отсутствие полноценных каналов связи, что делает передачу параметров сети от устройств затруднительным.
3. Установка специализированных устройств мониторинга в каждой точке распределительной сети нецелесообразна по технико-экономическим показателям.
4. Рост нагрузки и новых типов потребителей, таких как электромобили, тепловые насосы, распределенная генерация создают новые режимные риски, в связи с чем проблема колебаний напряжения и перенапряжений становится все более актуальной особенно в сетях низкого напряжения.

Исходя из обозначенных проблем встает вопрос применения уже имеющихся устройств, функционирующих в распределительной сети. В роли таких устройств могут выступать интеллектуальные приборы учета (ИПУ).

Интеллектуальные приборы учета и их нормативное регулирование

Согласно Постановлению Правительства от 19.06.2020 РФ № 890, интеллектуальные приборы учета должны обеспечивать не только фикса-

цию объемов потребленной электроэнергии, но и измерение и регистрацию следующих параметров:

- активная и реактивная энергия в двух направлениях;
- фазные и линейные напряжения;
- токи по фазам и в нулевом проводе;
- активная, реактивная и полная мощность по фазам и суммарно;
- частота сети;
- небаланс токов;
- нарушения индивидуальных параметров качества электроснабжения;
- фиксация событий (отключения, перенапряжения, сбои, вскрытие корпуса, воздействие магнитного поля).

Кроме того, приборы учета ведут журнал событий (не менее 500 записей), обеспечивают хранение профилей мощности и потребленной энергии, а также могут управлять встроенными коммутационными аппаратами, что позволяет дистанционно ограничивать или возобновлять электроснабжение.

Таким образом, интеллектуальный счетчик превращается в многофункциональный сенсор, который может использоваться для целей мониторинга и управления распределительными сетями. А с учетом того, что в настоящее время процесс обновления устаревших приборов учета на ИПУ только набирает обороты и его завершение ориентировано на 2030 год (с учетом завершения межповерочных интервалов старых приборов), то в настоящее время необходима разработка программных комплексов для активного применения ИПУ многофункционального анализа распределительных электрических сетей.

Возможности мониторинга распределительных сетей с использованием интеллектуальных приборов учета

Программная настройка ИПУ обеспечит функцию фиксации параметров электрической энергии, проходящей через ИПУ. А наличие значительного числа ИПУ на ЛЭП и при проведении соответствующего анализа полученных от них данных помогут выявить проблемные участки сети, что будет способствовать оперативному устранению проблем. Своевременный анализ данных от ИПУ способствует предиктивному устранению потенциального дефекта, способного спровоцировать прекращение электроснабжения потребителей.

По данным токов и мощностей возможна оценка перегруженности трансформаторов и линии, фиксировать перекося фаз в сетях с неравномерной нагрузкой, несанкционированные подключения (хищения электрической энергии), рассчитывать технические потери.

Возможность отправки данных о прекращении подачи электрической энергии способно максимально ускорить оперативное реагирование персонала на отключение. Установка приборов учета в сетях различных классов напряжения одной распределительной сети обеспечит локализа-

цию места повреждения диспетчером еще до приезда оперативно-выездных бригад к центру питания.

Собранные данные можно интегрировать в АСКУЭ или SCADA, что открывает возможности для прогнозирования нагрузок, выявления дефектов с помощью Big Data и искусственного интеллекта.

Преимущества применения ИПУ

1. Использование существующей инфраструктуры (ИПУ ставятся массово). Согласно экспертным оценкам, в настоящее время внедрение ИПУ в распределительной сети составляет 8–10 %. Уже сейчас возможна реализация алгоритмов анализа и применение ИПУ для мониторинга сети.

2. Снижение затрат на организацию мониторинга сети, по причине использования ИПУ как многофункционального устройства, в обязательном порядке устанавливаемого для учета электрической энергии, переданной потребителю.

3. Высокая дискретизация мониторинга (почасовая и получасовая и т. д.).

4. Возможность дистанционного управления нагрузкой.

Ограничения

1. Синхронизация времени и точность измерений по некоторым параметрам электрической энергии ниже, чем у специализированных устройств.

2. Ограниченные возможности прямого мониторинга аварийных токов.

3. Необходимость надежных каналов связи на удаленных участках сети, где отсутствует сотовая связь.

4. Необходимость решения вопросов кибербезопасности.

Зарубежный опыт применения интеллектуальных приборов учета

Мировая практика показывает, что интеллектуальные приборы учета становятся ключевым элементом построения концепции Smart Grid. В странах Европы, Азии и Северной Америки уже реализованы проекты по внедрению систем автоматизированного учета, которые позволяют не только контролировать потребление, но и решать задачи сетевого мониторинга.

Зарубежные разработки показывают опыт внедрения программных средств с открытым исходным кодом, что значительно снижает затраты на разработку средств анализа данных, полученных от ИПУ [2]:

- Агрегация данных от различных устройств, таких как блоки векторных измерений, ИПУ, блоки измерений формы сигнала, цифровые измерительные блоки и т. п., установленных в электрических сетях, и применение полученных данных для обработки и оценки состояния распределительных сетей, что открывает путь к более точному построению цифрового двойника сети [3].

- Применение искусственного интеллекта и прогнозирование нагрузок при помощи активного использования методов машинного обучения для обработки больших массивов данных счетчиков. Применяются алгоритмы искусственного интеллекта для анализа профилей потребления и выявления аномалий в работе оборудования [4].

В Европе значительное внимание уделяется влиянию зарядной инфраструктуры электромобилей на низковольтные сети. Проводится значительное количество исследований по обработке данных от ИПУ, которые могут быть использованы для оценки нагрузок, связанных с массовой электромобильностью [5]. Рост числа электромобилей также наблюдается в России, и проблема потенциальных рисков, связанных с новыми режимами работы сети, создаваемыми массовым внедрением электрозарядной инфраструктуры, является актуальной.

Таким образом, зарубежный опыт подтверждает, что интеллектуальные приборы учета могут выполнять гораздо более широкий спектр задач, чем только коммерческий учет.

Заключение. Внедрение ИПУ открывает новые возможности для мониторинга распределительных сетей 0,4–10 кВ. Использование функций ИПУ позволяет решать задачи контроля качества электроэнергии, выявления перегрузок и потерь, диагностики аварий и прогнозировать режимы работы сети.

В перспективе интеллектуальные системы учета становятся ключевым элементом цифровой трансформации энергетики России в части распределительных сетей и фактически из ИПУ переходят в статус многофункциональных устройств или датчиков распределительной сети, реализующих не только учет электрической энергии, но и мониторинг параметров сети и анализ измеренных данных. Это особенно важно в условиях роста нагрузки, увеличения доли распределенной генерации, необходимости повышения надежности энергоснабжения и обеспечивает экономию затрат, ускоряя цифровую трансформацию электроэнергетики.

Список источников

1. О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности): постановление Правительства РФ от 19 июня 2020 г. № 890 // Гарант [Электронный ресурс] : информационно-правовой портал. URL: <https://base.garant.ru/74292774> (дата обращения: 16.09.2025).
2. Design and Evaluation of a Research-Oriented Open-Source Platform for Smart Grid Metering: A Comprehensive Review and Experimental Intercomparison of Smart Meter Technologies / N.S. Korakianitis [et al.] // Future Internet. 2025. № 17(9). 425 p. URL: <https://www.mdpi.com/1999-5903/17/9/425> (дата обращения: 20.09.2025). DOI: 10.3390/fi17090425.

3. A comprehensive systematic and bibliometric review of technologies and measurement tools for power quality events detection, classification, and fault location in smart grids / M. Rasoulnia [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2025. № 226. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212500975X?via%3Dihub> (дата обращения: 20.09.2025). DOI: 10.1016/j.rser.2025.116302.
4. Shuaibu A.S., Haq S.U., Almadani B. Smart Metering Meets AI: Real-Time Appliance Monitoring and Anomaly Detection over DDS Middleware // IEEE Transactions on Industry Applications. P. 1–18. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11157822> (дата обращения: 18.09.2025). DOI: 10.1109/TIA.2025.3608687.
5. A Review: The Impact of High Penetration of EVs on Distribution Network and Its Management Strategy / Md. Abu Hurayra [et al.] // European Journal of Applied Science, Engineering and Technology. 2025. №3. P. 329–342. URL: <https://ejaset.com/index.php/journal/article/download/281/209> (дата обращения 18.09.2025). DOI: 10.59324/ejaset.2025.3(3).23.

References

1. O poryadke predostavleniya dostupa k minimal'nomu naboru funktsii intellektual'nykh sistem ucheta ehlektricheskoi ehnergii (moshchnosti): postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19 iyunya 2020 g. № 890 // Garant [Elektronnyi resurs]: informatsionno-pravovoi portal. URL: <https://base.garant.ru/74292774> (data obrashcheniya: 16.09.2025).
2. Design and Evaluation of a Research-Oriented Open-Source Platform for Smart Grid Metering: A Comprehensive Review and Experimental Intercomparison of Smart Meter Technologies / N.S. Korakianitis [et al.] // Future Internet. 2025. № 17(9). 425 p. URL: <https://www.mdpi.com/1999-5903/17/9/425> (data obrashcheniya: 20.09.2025). DOI: 10.3390/fi17090425.
3. A comprehensive systematic and bibliometric review of technologies and measurement tools for power quality events detection, classification, and fault location in smart grids / M. Rasoulnia [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2025. № 226. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212500975X?via%3Dihub> (data obrashcheniya: 20.09.2025). DOI: 10.1016/j.rser.2025.116302.
4. Shuaibu A.S., Haq S.U., Almadani B. Smart Metering Meets AI: Real-Time Appliance Monitoring and Anomaly Detection over DDS Middleware // IEEE Transactions on Industry Applications. P. 1–18. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11157822> (data obrashcheniya: 18.09.2025). DOI: 10.1109/TIA.2025.3608687.

5. A Review: The Impact of High Penetration of EVs on Distribution Network and Its Management Strategy / Md. Abu Hurayra [et al.] // European Journal of Applied Science, Engineering and Technology. 2025. №3. P. 329–342. URL: <https://ejaset.com/index.php/journal/article/download/281/209> (data obrashcheniya 18.09.2025). DOI: 10.59324/ejaset.2025.3(3).23.

Сведения об авторах:

Роман Викторович Вензелев, начальник отдела АО

Ольга Олеговна Вензелева, магистр

Марина Петровна Баранова, заведующая кафедрой системозенергетики Красноярского государственного аграрного университета, доктор технических наук