

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ МЕТОДИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ
КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ****THE DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE METHOD FOR DETERMINING NON-TECHNICAL LOSSES
IN RURAL LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS**

Ключевые слова: коммерческие потери, сельские электрические сети, АИИС КУЭ, неучтённо потребляемая электроэнергия, потери электроэнергии, борьба с потерями, небаланс электроэнергии, самовольное подключение, участок электрической сети, удалённые Web-технологии.

Создание эффективных способов обнаружения коммерческих потерь электроэнергии позволит снизить общие потери в сельских сетях на 30% за счёт снижения объёма неучтённо потребляемой электроэнергии. Эффективность разработанной методики подтверждается низкими временными и материальными затратами на её использование, отсутствием необходимости в оснащении сетей дополнительными устройствами, а также высокой точностью получаемых результатов. Исследовали возможность применения современных приборов учёта и Автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии (далее – АИИС КУЭ) для получения данных о параметрах электроэнергии в сети с целью дальнейшего анализа. Выявили, что получаемые с приборов учёта данные могут быть использованы для определения точек неучтённого потребления электрической энергии в сети с указанием их места в сети и объёма потребления. Провели апробацию разработанной методики на базе сетей одной из электроснабжающих организаций г. Барнаула. Определили, что получаемые результаты имеют достаточные для практического использования точность и погрешность, сравнимую с погрешностями используемых приборов учёта. Также выяснили, что время, затрачиваемое на анализ одной типичной сельской сети с использованием предложенной методики значительно меньше времени, затрачиваемого при проверке сети на предмет наличия в ней точек неучтённого потребления традиционными способами (обход). Представили теоретическое обоснование работоспособности и эффективности методики. Предложили алгоритм анализа сетей любой конфигурации и сложности. Разработали вариации предложенной методики, позволяющие эффективнее рассматривать сети определённых, наиболее часто встречающихся, типов. Провели экспериментальное использование в

реальных условиях, в ходе которого были получены удовлетворительные результаты.

Keywords: commercial losses, rural electric networks, unaccounted power consumption, power loss, power loss control, electrical power unbalance, unauthorized connection, electric network section, remote web technologies.

The creation of effective ways to detect non-technical losses of electricity will reduce overall losses in rural networks by 30 percent by reducing the amount of unrecorded electricity consumption. The effectiveness of the developed methodology is confirmed by the low time and material costs of its use, the absence of necessity to equip networks with additional devices, and the high accuracy of the results obtained. To create an effective tool for determining the facts and places of unrecorded electricity consumption in rural low voltage networks, the possible use of modern metering devices and the Automated Information and Measuring System for Commercial Electricity Metering to obtain data about parameters of electricity in the network for further analysis was investigated. We found that the data obtained from the metering devices may be used to determine the points of unaccounted consumption of electrical energy in the network, indicating their place in the network and the amount of consumption. We tested the developed methodology based on the networks of one of the power supply organizations in Barnaul. It has been determined that the results obtained are of sufficient accuracy for practical use and have an error comparable to the errors of the accounting devices used. We also have found out that the time spent on analyzing one typical rural network using the proposed method is significantly less than the time spent checking the network for the presence of unaccounted consumption points in it by traditional methods (inspection). The theoretical substantiation of the efficiency and effectiveness of the methodology was presented. We proposed an algorithm for analyzing networks of any configuration and complexity. We have developed variations of the proposed methodology which make it possible to more effectively consider networks of certain, most frequently encountered types. The experimental use in real conditions was conducted, satisfactory results were obtained.

Казымов Иван Максимович, аспирант, каф. ЭПБ, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: bahek1995@mail.ru.

Компанеев Борис Сергеевич, к.т.н., доцент, каф. ЭПБ, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: kompbs@mail.ru.

Kazymov Ivan Maksimovich, post-graduate student, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: bahek1995@mail.ru.

Kompaneyets Boris Sergeevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: kompbs@mail.ru.

Введение

На сегодняшний день в подавляющем большинстве случаев сельские электрические сети низкого напряжения характеризуются высоким уровнем коммерческих потерь электроэнергии. Эта особенность данных сетей объясняется целым рядом различных факторов. Например, тот факт, что сельские сети низкого напряжения преимущественно выполняются воздушными линиями электропередач с неизолированными проводами, говорит о наличии возможности для самовольного неучтённого технологического присоединения к сети со стороны физических или юридических лиц без значительных временных и трудовых затрат. Условия для совершения такого подключения улучшаются также за счёт того, что рассматриваемые сети имеют в своём составе протяжённые участки и являются слабозащищёнными для преднамеренного вмешательства в их работу [1].

Наличие множества точек неучтённого потребления электрической энергии, осуществляемого либо посредством самовольного присоединения к сети, либо при помощи воздействия на прибор учёта в сельских сетях низкого напряжения, говорит о высоком уровне коммерческих потерь в них. Согласно статистике эксплуатации сельских сетей низкого напряжения доля коммерческих потерь электрической энергии в таких сетях может составлять от 5 до 30% [2]. Тот факт, что в сети наличествует безучётное и бездоговорное потребление больших объёмов электроэнергии говорит о повышении общих потерь и снижении рентабельности сети. Так как рассматриваемые в рамках данной статьи потери относятся к коммерческим потерям, они могут быть снижены за счёт применения мероприятий, условно разделяемых на два типа:

- мероприятия по снижению доступности самовольного технологического присоединения и/или

воздействия на прибор учёта – характеризуются чаще всего техническими мерами, связанными с реконструкцией и модернизацией сетей;

- мероприятия по упрощению и ускорению обнаружения факта и места неучтённого потребления электроэнергии в сети с целью оперативного реагирования на появление таких утечек в сети.

Последнее направление является более перспективным, так как направлено в конечном итоге на профилактику неучтённого потребления электроэнергии в сетях и при этом требует гораздо меньших финансовых вложений.

Цель исследования – создание эффективного инструмента для определения факта и места неучтённо потребляемой электроэнергии в сельских сетях низкого напряжения.

Объекты и методы

Для создания полной картины распределения токов и мощностей в сети с множеством точек потребления необходимо иметь информацию о параметрах электрической энергии в каждой точке учёта, а именно на питающей подстанции и в точках присоединения потребителей. Параметры, необходимые для полного представления процессов в сети:

- напряжение в точке установки прибора учёта;
- ток, протекающий через прибор учёта;
- потребляемая (отдаваемая) активная мощность.

Измерение величины тока необходимо для определения активной и реактивной составляющей потребления. Учёт реактивной составляющей потребляемой полной мощности необходим для обеспечения достаточного уровня точности получаемых в результате расчёта результатов ввиду низкого коэффициента мощности потребителей в сельских сетях (по разным оценкам он лежит в диапазоне 0,7-0,9) [3, 4].

Для того чтобы «проверить» электрическую сеть на предмет наличия в ней коммерческих потерь необходимо, чтобы учёт в данной сети осуществлялся по системе АИИС КУЭ [5] с целью обеспечения единовременной передачи показаний каждого из приборов учёта на анализ в единый центр обработки информации. Разработанная методика позволяет рассматривать как сеть целиком, так и каждый отдельный её фрагмент. Необходимо отметить, что в настоящее время активно развиваются удалённые Web-технологии для оптимизации и управления сельскими электрическими сетями [6]. Описанная методика в будущем может быть положена в основу при создании коммерческих приложений по удалённому контролю за коммерческими потерями в сельских электрических сетях.

Разработанная методика предполагает установление факта наличия или отсутствия в рассматриваемой сети неучтённого потребления электрической энергии. Данный факт устанавливается для каждого момента проведения измерения отдельно и свидетельствует о наличии/отсутствии утечек в сети только исключительно в рассматриваемый момент времени.

О том, что в электрической сети в момент проведения измерения присутствовало неучтённое потребление электроэнергии, говорит факт небаланса мгновенных значений отдаваемого и потребляемых токов в питающей линии. Разница между силой тока в отходящей линии и геометрической суммой токов у потребителей может возникнуть вследствие наличия токов утечки на землю и неучтённого потребления электроэнергии. Применение именно геометрической суммы токов позволяет нивелировать ошибку в установлении факта наличия неучтённого потребления, которая может возникнуть из-за того, что коэффициенты мощности каждого из потребителей различны. Так как в сельских электрических сетях низкого напряжения величина ёмкостных токов утечки является малой величиной, ей можно пренебречь без потери точности. Тогда факт превышения разницей отдаваемых и потребляемых токов суммарной погрешности измерительных приборов

является свидетельством того, что на участке электрической сети присутствует неучтённое потребление электроэнергии.

Определение места неучтённого технологического присоединения может быть осуществлено с использованием информации о падениях напряжения на участках сети. Участком называется промежуток сети между двумя учитываемыми ближайшими приборами учёта. При условии, что известна конфигурация сети, получены единовременно снятые показания приборов учёта во всех точках их установки, становится возможным определить добавочное падение напряжения ΔU_d на участке между двумя приборами учёта и, как следствие, ток небаланса ΔI . Добавочное падение напряжения рассчитывается по формуле:

$$\Delta U_d = U_{\text{расч}} - U_{\text{факт}},$$

где $U_{\text{расч}}$ – расчётное напряжение в конце участка, получаемое на основании информации о напряжении в начале участка и величине протекающего через него тока;

$U_{\text{факт}}$ – фактическое напряжение в конце участка, является одним из рассматриваемых параметров показаний прибора учёта.

Зная добавочное падение напряжения ΔU_d на всех участках сети, следует определить участки, на которых осуществляется неучтённое потребление электрической энергии. Затем, зная параметры рассматриваемого и соседних участков, такие как протяжённость, активное и реактивное сопротивление провода, следует определить диапазон возможных значений тока неучтённого потребления на рассматриваемом участке. Ток определяется диапазоном вследствие того, что на данном этапе алгоритма точное место неучтённого технологического присоединения ещё не определено. Диапазон значений протекаемого неучтённого тока может быть уточнён, а в некоторых случаях приведён к конкретному значению за счёт анализа добавочных падений напряжения ΔU_d на соседних относительно рассматриваемого участках и общего тока небаланса.

При помощи полученных данных о токах неучтённого потребления на каждом из участков сети определяется расстояние Δl от начала

участка (началом участка считается его край со стороны питающей подстанции) до точки незаконного подключения. Это расстояние также может быть получено как диапазон значений.

Результаты и обсуждение

Очевидно, что точность получаемых значений величины неучтённого тока на участках и координаты места его «подключения» являются достаточными для практического использования, так как протяжённость участка сети, как правило, невелика [7], и при определении участка, на котором происходит неучтённое потребление, становится возможным обнаружить неучтённое технологическое присоединение в кратчайшие сроки.

Борьба с коммерческими потерями (потреблённая, но не оплаченная электроэнергия) в сельских и городских распределительных сетях является основным направлением работы электроснабжающих организаций во всём мире [8, 9] и в России в частности и имеет целью повышение эффективности и рентабельности электросетевого комплекса. На данный момент по статистике, предоставляемой различными компаниями Алтайского края, доля коммерческих потерь в общих потерях достигает 60%.

Помимо всего прочего, самовольное технологическое подключение к сети является одним из факторов риска нарушения электроснабжения сельских электрических сетей, ввиду того, что подобно рода подключения в основной массе выполняются без соблюдения утверждённых в этой области правил и норм. Это повышает риск возникновения нарушений работы сети, а также может быть причиной аварии или ухудшения показателей качества электроэнергии [10].

Выводы

На данном этапе разработана [11] и протестирована [12] методика, позволяющая эффективно определять факт наличия в сельской электрической сети коммерческих потерь и с большой точностью указывать их место в сети. Погрешность получаемых данных зависит от погрешности применяемых приборов учёта, от величины расхож-

дения реальных параметров сети (длина, сопротивление участков) с имеющимися значениями, а также от конфигурации сети.

Очевидно, что применение методики, позволяющей своевременно и надёжно выявлять самовольные подключения в сетях, позволит оперативно устранять такие подключения, за счёт чего станет возможно снизить издержки электросетевых компаний, повысить надёжность электроснабжения сельских электрических сетей. Также это благоприятно скажется на уровне потерь.

Библиографический список

1. Кривоногов, С. В. Анализ хищений электроэнергии в коммунально-бытовом секторе / С. В. Кривоногов. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2014. – Вып. 10.
2. <https://iz.ru/> (дата обращения 28.11.2018) Электричество стали воровать чаще // Известия – URL: <https://iz.ru/674956/mariia-nediuk/elektrichestvo-stali-vorovat-chashche>. – Текст: электронный.
3. Дзядикевич, Ю. В. Пути экономии электроэнергии общего пользования в сфере ЖКХ / Ю. В. Дзядикевич, Б. Г. Гевко, Ю. С. Никеруй. – Текст: непосредственный // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 6.
4. Попов, Ю. П. Проблемы потребления реактивной мощности коммунально-бытовой нагрузкой / Ю. П. Попов, Л. С. Синенко. – Текст: непосредственный // Вестник КрасГАУ. – 2012. – Вып. 11.
5. Ожегов, А. Н. Системы АСКУЭ: учебное пособие / А. Н. Ожегов. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 102 с. – Текст: непосредственный.
6. Тиньгаев, А. В. Оптимизация протяжённости линий электропередач при подключении сельскохозяйственных потребителей с использованием WEB-технологий / А. В. Тиньгаев, А. А. Шевченко. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4. – С. 186-191.
7. Карапетян, И. Г. Справочник по проектированию электрических сетей / И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро; под редакцией

Д. Л. Файбисовича. – Москва: ЭНАС, 2012. – 376 с. – Текст: непосредственный.

8. Neto, Edison; Coelho, Jorge. (2013). Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. *Electric Power Systems Research*. 97: 93-99. 10.1016/j.epsr.2012.12.008.

9. Viegas, J., Esteves, P., Melicio, R., Mendes, V.M.F., Vieira, S. (2017). Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 80. 1256-1268. 10.1016/j.rser.2017.05.193.

10. Хацевский, К. В. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения / К. В. Хацевский, Ю. М. Денчик, В. И. Клеутин [и др.]. – Текст: непосредственный // Омский научный вестник. – 2012. – Вып. 2.

11. Казымов, И. М. Математическая модель методики определения незаконных подключений в распределительной сети / И. М. Казымов, Б. С. Компанец // Горизонты образования. – 2016. – № 18. – С. 32-34. – Текст: непосредственный.

12. Казымов, И. М. Методика определения места незаконных подключений в магистральных распределительных сетях низкого напряжения / И. М. Казымов, Б. С. Компанец. – Текст: непосредственный // Горизонты образования. – 2017. – № 19 – С. 17-20.

References

1. Krivonogov, S.V. Analiz khishcheniy elektroenergii v kommunalno-bytovom sektore / S.V. Krivonogov // Vestnik NGIEI. – 2014. – Vyp. 10.

2. <https://iz.ru/> (data obrashcheniya 28.11.2018) «Elektrichestvo stali vorovat chashche» Izvestiya – URL: <https://iz.ru/674956/mariia-nediuk/elektrichestvo-stali-vorovat-chashche>.

3. Dzyadikevich, Yu.V. Puti ekonomii elektroenergii obshchego polzovaniya v sfere ZhKKh / Yu.V. Dzyadikevich, B.G. Gevko, Yu.S. Nikeruy // Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. – 2011. – No. 6.

4. Popov, Yu.P. Problemy potrebleniya reaktivnoy moshchnosti kommunalno-bytovoy nagruzkoy / Yu.P. Popov, L.S. Sinenko // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – Vyp. 11.

5. Ozhegov, A.N. Sistemy ASKUE: ucheb. posobie / A.N. Ozhegov. – Kirov: Izd-vo VyatGU, 2006. – 102 s.

6. Tingaev, A.V. Optimizatsiya protyazhennosti liniy elektroperedach pri podklyuchenii selskokhozyaystvennykh potrebiteley s ispolzovaniem WEB-tekhnologiy / A.V. Tingaev, A.A. Shevchenko // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 – S. 186-191.

7. Karapetyan, I.G. Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setey / I.G. Karapetyan, D.L. Faybisovich, I.M. Shapiro; pod red. D.L. Faybisovicha. – Moskva: ENAS, 2012. – 376 s.: il.

8. Neto, Edison; Coelho, Jorge. (2013). Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. *Electric Power Systems Research*. 97: 93-99. 10.1016/j.epsr.2012.12.008.

9. Viegas, J., Esteves, P., Melicio, R., Mendes, V.M.F., Vieira, S. (2017). Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 80. 1256-1268. 10.1016/j.rser.2017.05.193.

10. Khatsevskiy, K.V. Problemy kachestva elektroenergii v sistemakh elektroснабzheniya / K.V. Khatsevskiy, Yu.M. Denchik, V.I. Kleutin [i dr.] // Омский научный вестник. – 2012. – Vyp. 2.

11. Kazymov, I.M. Matematicheskaya model metodiki opredeleniya nezakonnykh podklyucheniy v raspredelitelnoy seti / I.M. Kazymov, B.S. Kompaneets // Gorizonty obrazovaniya. – 2016. – No. 18. – S. 32-34.

12. Kazymov, I.M. Metodika opredeleniya mesta nezakonnykh podklyucheniy v magistralnykh raspredelitelnykh setyakh nizkogo napryazheniya / I.M. Kazymov, B.S. Kompaneets // Gorizonty obrazovaniya. – 2017. – No. 19. – S. 17-20.

