

УДК 621.31

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0003

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

© 2021

Казымов Иван Максимович, аспирант кафедры «Электрификация производства и быта»

Компанец Борис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Электрификация производства и быта»

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

(656038, Россия, г. Барнаул, проспект Ленина, 46, e-mails: bahek1995@mail.ru, kompbs@mail.ru)

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы передачи и обработки информации в системе контроля параметров электроэнергии в распределительной сети, а также принятия решений на основании мгновенных и статистических данных о состоянии системы электроснабжения. Проведён анализ достигнутого уровня технологий в данной области как в Российской Федерации, так и за рубежом. Дана оценка существующей на сегодняшний день парадигме восприятия процессов в электрических сетях в разрезе цифровизации и применения современных технологий для анализа и контроля систем электроснабжения. Подробно рассмотрены факторы риска для электрических сетей и систем, а также приведены пути их устранения за счёт проведения цифровизации электрических сетей и, в частности, применения системы контроля параметров электроэнергии. Указаны особенности и отличия передачи и обработки информации в системе контроля параметров электроэнергии, предложена оригинальная пакетная компоновка информации для передачи посредством любого из доступных средств связи. Рассмотрены различные варианты обработки и анализа данных, поступающих с конечных измерительных устройств, дана оценка и рекомендации по применению получаемой информации. На примере показана поддержка принятия решений на основании полученных системой контроля параметров электроэнергии данных. Даны рекомендации по принятию решений и дальнейшему совершенствованию системы.

Ключевые слова: электрическая сеть, АИИС КУЭ, потери электроэнергии, коммерческие потери, алгоритм принятия решений, автоматизированный комплекс, обработка информации, программно-аппаратный комплекс, системы электроснабжения.

DATA PROCESSING AND MAKING DECISIONS IN THE SYSTEM FOR CONTROL OF ELECTRIC ENERGY PARAMETERS IN THE DISTRIBUTION NETWORK

© 2021

Kazymov Ivan Maksimovich, postgraduate at the department of «Electrification of production and life»

Kompaneets Boris Sergeevich, candidate of technical sciences, associate Professor

associate professor at the department of «Electrification of production and life»,

Altai State Technical University named I. I. Polzunov

(656038, Russia, Barnaul, Lenin Ave, 46, e-mails: bahek1995@mail.ru, kompbs@mail.ru)

Abstract. The article discusses the issues of transmission and processing of information in the control system of electricity parameters in the distribution network, as well as decision-making based on instantaneous and statistical data on the state of the power supply system. The analysis of the achieved level of technologies in this area both in the Russian Federation and abroad is carried out. An assessment of the current paradigm of perception of processes in electrical networks in the context of digitalization and the use of modern technologies for the analysis and control of power supply systems is given. Risk factors for electric grids and systems are considered in detail and ways of their elimination by means of digitalization of electric grids and, in particular, the use of a control system for electric power parameters are given. The features and differences of the transmission and processing of information in the system for controlling the parameters of electricity are indicated, an original package layout of information for transmission by any of the available communication means is proposed. Various options for processing and analyzing data coming from end measuring devices are considered, an assessment and recommendations on the use of the information obtained are given. The example shows decision-making support based on the data obtained by the power control system. Recommendations for making decisions and further improving the system are given.

Keywords: electrical network, automated information and control system of power consumption, electricity losses, commercial losses, decision-making algorithm, automated complex, information processing, software and hardware complex, power supply systems.

Введение. На данный момент задача цифровизации электрических сетей является приоритетной задачей как для Российской Федерации [1-3], так и для большинства компаний электросетевого комплекса [4]. Внедрение автоматизированных цифровых систем управления электрическими сетями позволит

повысить эффективность мероприятий по снижению потерь и напрямую снизить издержки электросетевых компаний, что, несомненно, улучшит финансовые показатели. Задачи цифровизации электроэнергетики и ежегодному снижению потерь поставлены в стратегиях развития таких организаций как ПАО «Россети»,

ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО «Интер РАО». Стоит отметить, что на сегодняшний день потери электрической энергии в распределительных сетях Российской Федерации значительно превышают таковые в странах Европейского союза. Данный факт объясняется как объективными причинами, такими как значительно большей чем в Европе протяжённостью линий электропередачи и рассредоточением нагрузок по большей территории, так и факторами, вызванными различными техническими и организационными недостатками [5, 6]. При этом сети низкого и среднего уровня напряжения (0,4 – 10 кВ) являются самыми распространёнными на территории Российской Федерации, если судить по общей протяжённости линий электропередачи данных классов напряжений, и, в то же время, наиболее ёмкими в отношении потерь электрической энергии. На данных классах напряжений, помимо технологически неизбежных потерь, удельное значение которых (отношение полезной принятой мощности к общей отданной мощности) само по себе значительно выше аналогичных показателей в сетях более высокого класса напряжения за счёт ряда факторов, существуют также и коммерческие потери, обусловленные как организационными и метрологическими причинами, так и фактором несанкционированного вмешательства в технологическую структуру распределительной сети, порождающего безучётное и бездоговорное потребление электрической энергии.

В ведущих компаниях электросетевого комплекса Российской Федерации (ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО «Интер РАО») работа по снижению потерь электрической энергии ведётся постоянно, однако усилия в основном направлены на снижение коммерческих потерь в электрических сетях путём выявления безучётных и бездоговорных потребителей электрической энергии. Ввиду постоянного совершенствования приемов хищения электроэнергии, способы обнаружения хищений не успевают отслеживать их, и на данный момент недостаточно неэффективны.

Для создания цифрового двойника сети могут быть использованы различные устройства, способные определять параметры электрической энергии в точке подключения. Однако на данный момент единственными цифровыми устройствами в электрических сетях низкого и среднего напряжений, способными удалённо передавать информацию о параметрах электрической энергии в сети, остаются приборы учёта электрической энергии, используемые для коммерческого учёта электроэнергии с использованием автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии (далее – АИИС КУЭ). Известны предложения о составе и характере устройств контроля сетей [7], однако список параметров, которые должны контролировать подобные устройства для создания полноценного «цифрового двойника» электрической сети, является достаточно обширным и содержит:

- ток в контролируемой линии;
- напряжение в месте присоединения;

- потребляемая мощность;
- коэффициент мощности нагрузки контролируемой линии;
- потреблённая электрическая энергия за произвольный период времени.

Очевидно, что информация об электрических величинах должна быть отображать и их мгновенные значения, и статистические показатели. Основную сложность в построении подобных приборов составляет выбор технического решения по определению коэффициента мощности нагрузки. Данная проблема обусловлена в основном дискретным характером данных о мгновенных величинах тока и напряжения, и, в том числе, нелинейными искажениями напряжения. Точное определение коэффициента мощности как для каждой нагрузки в частности, так и для электрической сети в целом является одним из важнейших этапов создания цифрового двойника, а также основой разработки эффективных мер по приведению коэффициента мощности в целом по сети к нормативным значениям. Для электрических сетей это особенно актуально ввиду низкого дневного значения коэффициента мощности (для большинства сельскохозяйственных нагрузок 0,70 – 0,75) [8].

Безучётное и бездоговорное потребление электроэнергии обуславливают риск нарушения электроснабжения конечных потребителей, причём как собственно неучтённых, так и добросовестных потребителей. При самовольном подключении к сети частных лиц могут ухудшаться качество электроэнергии и даже возникать технологические нарушения как в момент вмешательства в распределительную сеть, так и в процессе безучётного потребления электрической энергии. Именно поэтому своевременность обнаружения и ликвидации несанкционированных подключений к распределительным электрическим сетям является важным звеном в цепочке мероприятий по реализации сразу нескольких задач-процессов, стоящих перед каждой электросетевой организацией, осуществляющей свою деятельность в классах напряжения 0,4 кВ и 0,6 кВ, таких как:

- контроль качества отпускаемой потребителям электрической энергии;
- систематическое снижение потерь в воздушных и кабельных линиях электропередач;
- снижение убытков от последствий безучётного и бездоговорного потребления (как прямых – за счёт отсутствия оплаты за потреблённую электрическую энергию, так и косвенных – за счёт возникновения дополнительных рисков нарушения электроснабжения и возросших технических потерь);
- повышение надёжности и безопасности электроснабжения.

Приоритет использования вычислительной техники, программного обеспечения, а также информационных технологий для достижения поставленных в данной работе целей соответствует ядру пятого и шестого технологического уклада.

Вопросы цифровизации электрических сетей и

создания эффективных систем по управлению параметрами электрической энергии подробно рассматриваются как в исследованиях крупных компаний энергетического сектора, таких как «Россети» [9], так и в трудах российских учёных [10, 11]. Большинство авторов исследует различные зависимости, связывающие технические потери в электрических сетях с конструктивными и эксплуатационными факторами [12]. Большое число работ посвящено созданию математических моделей процессов, происходящих в электрических сетях. Немало внимания в русскоязычных трудах уделяется и коммерческим потерям [13, 14]. В настоящее время подробно освещены все способы организации неучтённого потребления электроэнергии. Предлагаются всё более совершенные методики и алгоритмы по управлению системами электроснабжения [15, 16]. Уделяется большое внимание проблеме трудоёмкости традиционных способов определения коммерческих потерь, однако предлагаемые методы отличаются либо высокой стоимостью, либо повышенными трудозатратами и не могут считаться достаточно эффективными на сегодняшний день.

Исследований и разработок, направленных на создание простых и эффективных систем определения и борьбы с коммерческими потерями, проводится недостаточно. Отсутствуют труды, в которых решается задача организации удалённого контроля величины и равномерности технологически неизбежных потерь. В настоящее время ощущается острый дефицит технологичных эффективных решений по контролю потерь в электрических сетях. Такая ситуация провоцирует развитие всё новых способов скрытного несанкционированного подключения к электрическим сетям и безучётного потребления электрической энергии, что характеризует данное направление исследования как актуальное.

Среди зарубежных исследований выделяются работы *Viegas J. L.* [17], *Henriques H.O.* [18], *Rossoni A.* [19], представляющих результаты своих исследований в таких журналах, как *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. В зарубежной литературе также принято разделять потери в электрических сетях на технические (*technical*) и нетехнические (*non-technical*), в качестве основного источника издержек рассматриваются потери, обусловленные технологическим процессом передачи электрической энергии [20]. Опыт зарубежных исследователей показал, что эффективным механизмом для анализа систем электроснабжения является применение инструментов нечёткой логики [21–23]. Широко рассмотрены различные алгоритмы по определению нетехнических потерь в сетях различных классов напряжений [24]. Также опубликованы работы, в которых подробно рассмотрено применение интеллектуальных приборов учёта (*smart electricity meters*) в составе различных информационно-измерительных систем (в том числе аналоги АИИС КУЭ) [25, 26].

Проведённый анализ зарубежных публикаций

показал, что не уделяется достаточного внимания методам обработки информации и построению эффективных информационно-измерительных систем по идентификации технических и нетехнических (коммерческих) видов потерь. Не описываются закономерности, связывающие эти два вида потерь в реальных сетях и оказывающие серьёзное влияние на картину распределения электрической энергии, что говорит о недостаточной проработанности проблемы.

Система контроля параметров электрической энергии в распределительной сети подробно описана в статье [27]. В данной системе разработаны конечные устройства сбора и передачи данных [28], показан пример организации такой системы, разработаны алгоритмы проведения расчётов и получения результатов анализа рассматриваемых электрических сетей. Однако остался нераскрытым принцип обработки информации и принятия решений на основании полученных данных.

Целью работы является разработка алгоритмов обработки информации и принятия решений в системе контроля параметров электрической энергии в распределительной сети.

Материалы и результаты исследования. Наиболее важным аспектом любой информационно-измерительной системы является принцип организации связи между устройствами сбора и передачи информации и центральным устройством. Очевидно, что для значительного количества однотипных устройств в сети должна быть организована система связи между каждым прибором и центральным обрабатывающим компьютером (сервером), причём всякий обмен информацией должен осуществляться по инициативе сервера. Исключение составляет лишь процесс передачи основной информации, который должен производиться по расписанию для одновременной передачи показаний приборов.

Остальные взаимодействия можно разделить на несколько типов:

- настройка, калибровка прибора (в допустимых пределах);
- синхронизация по времени;
- запрос на архивные данные;
- внеочередной запрос на передачу показаний;
- диагностика прибора.

Учитывая то, что приборы не взаимодействуют между собой, складывается строго иерархическая система, в которой каждому прибору присваивается адрес, по которому в любое время может обратиться центральный обрабатывающий компьютер.

Иерархическая структура разработанной системы показана на рисунке 1, где n – общее число приборов в сети. Вопрос выбора числа приборов в сети был подробно рассмотрен в [29]. Стрелками на рисунке показаны направления передачи информации. Расположение стрелки, направленной от центрального компьютера к прибору слева подразумевает первичность запроса, исходящего от центрального компьютера. По установленному расписанию каждый прибор

посылает информацию, содержащую показания всех подключённых датчиков и время, в которое эти показания были актуальны, с точностью до десятых долей секунды.

Для упрощения взаимодействия данные приходят пакетом в едином формате, задаваемом центральным обрабатывающим компьютером.

Для стандартной компоновки системы пакет передаваемых данных будет иметь вид цепочки значений. Пример такого пакета показан на рисунке 2. Контрольный пакет служит для подтверждения отсутствия искажений в переданном пакете данных. Обработка поступающей информации производится следующим образом:

- установление факта целостности пакета данных (используется поле «Контрольный пакет»);

- определение прибора, откуда передаётся информация (используется значение поля «Номер прибора»);

- определение времени снятия показаний (используется значение поля «Время, на которое показания актуальны»);

- разделение и разнесение по соответствующим местам хранения значений основных параметров, а именно: ток, напряжение, мощность, коэффициент мощности (используется поле «Значение тока, напряжения, коэффициента мощности и т.д.»);

- разделение и разнесение по соответствующим местам хранения значений дополнительных параметров, а именно: температура, влажность в месте установки, а также другие измеряемые величины (используется поле «Значения дополнительных параметров»).

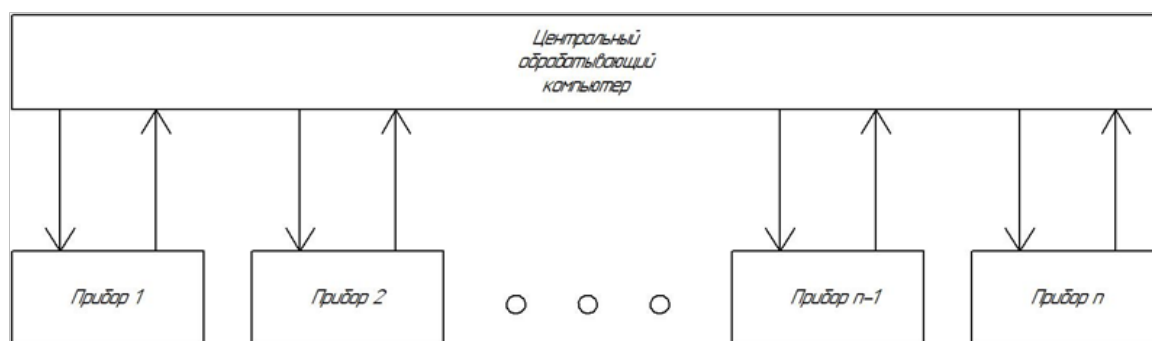


Рисунок 1 – Иерархическая структура системы контроля параметров электрической сети

Номер прибора	Время, на которое показания актуальны	Значения тока, напряжения, коэффициента мощности и т.д.	Значения дополнительных параметров	Контрольный пакет
---------------	---------------------------------------	---	------------------------------------	-------------------

Рисунок 2 – Пример пакета передаваемых данных

Наиболее эффективным вариантом обработки полученных данных будет являться их запись в специализированный программный комплекс, в котором эти данные будут добавлены в базу данных к другим статистическим данным, при этом будут обновлены графики различных величин, пересчитаны диагностические и другие прогнозы. При несовпадении данных о времени (несоблюдении одновременности снятия показаний) полученные пакеты данных уничтожаются как не имеющие смысла. Также предусматривается возможность анализировать полученные данные вручную в рамках проведения различных экспериментов, в ходе которых проверяются разработанные теоретические положения и методики анализа электрических сетей. При таком эксперименте заранее должны быть известны параметры сети во избежание получения неверных результатов и выводов.

Обработка информации, поступающей от конечных приборов сбора и передачи информации, осуществляется центральным обрабатывающим компьютером, который выполняет расчёт небаланса токов и мощностей в сети, на основании чего устанавливается факт наличия в сети коммерческих или повышенных технических потерь, а также локализируются места воз-

никновения потерь.

Принятие решений по результатам работы системы контроля параметров электрической энергии в распределительной сети осуществляется на основании получаемых данных, как о мгновенных, так и о статистических параметрах. Принятие решений о применении организационных и технических мер по противодействию потерям электрической энергии производится на основании мгновенных данных об объёме и месте возникновения потерь. В свою очередь, принятие решений о применении кардинальных мер по снижению потерь, а также включении той или иной системы электроснабжения в план ремонта и/или инвестиционную программу реконструкции строится на основании статистической информации и факторного анализа получаемых в течение длительного времени (от трёх лет) данных о состоянии рассматриваемой электрической сети. В таком случае могут быть обоснованы и выполнены конструктивные изменения, позволяющие снизить величину потерь в системе электроснабжения.

Пример порядка принятия решения на основании мгновенных и статистических данных приведён на рисунке 3.

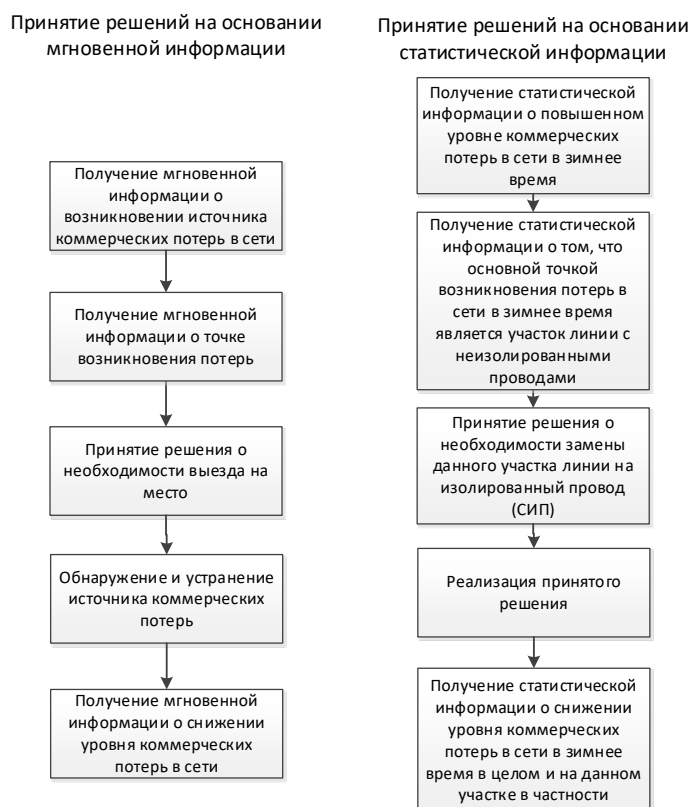


Рисунок 3 – Порядок принятия решения на основании мгновенных и статистических данных

Заключение. В настоящем исследовании были разработаны методика обработки информации и порядок принятия решений в системе контроля параметров электрической энергии в распределительной сети, на примере показана эффективность применения указанных алгоритмов.

Результаты проведённого исследования могут быть использованы в основной деятельности электросетевых компаний и промышленных предприятий, а также в учебном процессе образовательных учреждений. В качестве перспективных задач дальнейших изысканий по данному направлению следует отметить следующее:

- разработка системы поддержки принятия решений на основании экспертных оценок и самообучающихся алгоритмов;
- расширение функционала обработки информации и принятия решений в системе контроля параметров электрической энергии в распределительной сети для создания дополнительных возможностей по анализу и управлению системами электроснабжения;
- разработка алгоритмов управления спросом на электрическую энергию в контролируемых системах электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года". – 19 с.
2. Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации [Текст]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2013 г. № 511-р в редакции от 18.07.2015 г. №1399-р.

3. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н.Д. Рогалева. – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 300 с.

4. Концепция «Цифровая трансформация 2030» [Текст]: Концепция ПАО «Россети». – 2018. – 31 с.

5. В распределительных сетях Сибири за год выявлено почти 10 тысяч хищений электроэнергии на полмиллиарда рублей [Электронный ресурс] // Россети Сибирь / – URL: https://rosseti-sib.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=19682:vraspredelitelnykh-setyakh-sibiri-za-god-vyyavleno-pochti-10-tysyach-khishchenij-elektroenergii-na-polmilliarda-rublej-20200123-154844&catid=1111:40-novosti&lang=ru40 (дата обращения: 05.07.21).

6. Россети Сибирь продолжает снижать потери электроэнергии [Электронный ресурс] // Россети Сибирь / – URL: https://rosseti-sib.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=20397:rosseti-sibir-prodolzhaet-snizhat-poteri-elektroenergii-20200908-152523&catid=1111:40-novosti&lang=ru40 (дата обращения: 05.07.21).

7. Kazymov I. Definition of fact and place of losses in low voltage electric networks / I. Kazymov, B. Kompaneets // 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING, APPLICATIONS AND MANUFACTURING, ICIEAM 2019 – Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

8. РД 34.20.178-82. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38 - 110 кВ сельскохозяйственного назначения. – 1982. – С. 108.

9. Главные инженеры электросетевых компаний обсудили вопросы цифровизации электрических сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. – М.: Издательство Кабель, 2018. № 6 (51) – С. 12-15.

10. Козлов, А. В. Методика формирования цифровых моделей схем электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / А. В. Козлов, А. Ю. Виноградов // ИЗВЕСТИЯ НТЦ ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ / Научно-технический центр Единой энергетической системы Противоаварийное управление (Санкт-Петербург) – Санкт-Петербург, 2019. – Вып. 60. – С. 105-116.

11. Петухов, К. Ю. В сетях с низким уровнем потерь высокая надёжность [Текст] / К. Ю. Петухов // Российские сети.

– 2017. – № 2. – С. 4.

12. Попов Ю. П. Проблемы потребления реактивной мощности коммунально-бытовой нагрузкой [Текст] / Ю. П. Попов, Л. С. Синенко // Вестник красноярского государственного аграрного университета / Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2012. – №11. – С. 167-171.

13. Иванов, А. Г. Финансовые потери потребителей в связи с низким качеством электроэнергии [Текст] / А. Г. Иванов, В. Н. Соколова // Science Time. – 2014. – №11. – С. 113-115.

14. Белый, В. Б. Модель процессов потребления электроэнергии коммунально-бытовым сектором в сельских электрических сетях [Текст]: / В. Б. Белый // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. Материалы XVII международной научно-практической конференции / Алтайский государственный аграрный университет. – 2019. – С. 42-45.

15. Цыгулев, Н. И. Цифровизация электрических сетей АПК на платформе интернета энергии [Текст] / Н. И. Цыгулев, В. К. Хлебников, В. А. Шелест, В. В. Теребаев, Л. В. Бабина, Е. Я. Зубкова, В. А. Михайличенко // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ТЕХНИКИ. 2019. Материалы национальной научно-практической конференции. 2019 / Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону). – 2019. – С. 327-328.

16. Тиньгаев, А. В. Оптимизация протяжённости линий электропередач при подключении сельскохозяйственных потребителей с использованием WEB-технологий [Текст] / А. В. Тиньгаев, А. А. Шевченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета / Алтайский государственный аграрный университет. – 2018. – №4. – С. 186-191.

17. Viegas J.L. Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review / J. L. Viegas, P. R. Esteves, R. Melício, V. M. F. Mendes, S. M. Vieira // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – vol. 80. – P. 1256-1268.

18. Henriques H.O. Use of smart grids to monitor technical losses to improve non-technical losses estimation / H. O. Henriques, M. R. L. S. Correa // 7th Brazilian Electrical Systems Symposium. – 2018. – P. 1-6.

19. Rossoni A. Contribution to distribution systems technical and nontechnical losses estimation using WLS state estimator / A. Rossoni, S. H. Braunstein, R. D. Trevizan, A. S. Bretas, N. G. Bretas // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2018. – P. 1-5.

20. Ibrahim K. A. System wide MV distribution network technical losses estimation based on reference feeder and energy flow model / K. A. Ibrahim, M. T. Au, C. K. Gan, J. H. Tang // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2017. – vol. 93. – P. 440-450.

21. Glauner P. Large-scale detection of non-technical losses in imbalanced data sets / P. Glauner, A. Boechat, L. Dol-berg, (...), Y. Rangoni, D. Duarte // IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT. – 2016.

22. Kochneva E. Impact of technical losses calculation method on bad data validation on the basis of a posteriori analysis / E. Kochneva, A. Sukalo // IEEE International Energy Conference, ENERGYCON. – 2016.

23. Trevizan R.D Non-technical losses identification using Optimum-Path Forest and state estimation / R. D. Trevizan, A. Rossoni, A. S. Bretas, (...), A. Carniato, L. F. D. N. Passos // IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech. – 2015.

24. Huang S. C. Non-technical loss detection using state estimation and analysis of variance / S. C. Huang, Y. L. Lo, C. N. Lu // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – vol. 28, is. 3. – P. 2959-2966.

25. Ahmad T. Non-technical loss analysis and prevention using smart meters / T. Ahmad // Renewable and Sustainable Energy Reviews – 2017. – vol. 72. – P. 573-589.

26. Chatterjee S. Detection of non-technical losses using advanced metering infrastructure and deep recurrent neural networks / S. Chatterjee, V. Archana, K. Suresh, (...), R. Gupta, F. Doshi // 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe. – 2017.

27. Казымов И. М., Компанеев Б. С., Дробязко О. Н. Разработка системы контроля параметров электрической энергии в распределительной сети // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 106-118. DOI: 10.17816/

transsys202172106-118.

28. Патент РФ на изобретение №2748936. Прибор контроля потребления электрической энергии в сети низкого напряжения. МПК МПК G01R 21/133 (2006.01); G01R 22/10 (2006.01). / Казымов И. М., Компанеев Б. С (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2020127771; заявл. 18.08.2021; опубл. 01.06.2021, бюл. №16.

29. Казымов И. М., Компанеев Б. С. Методика определения требуемого числа устройств сбора и передачи информации для создания цифрового представления распределительной электрической сети низкого и среднего уровня напряжений // Вестник НГИЭИ. 2021. № 1 (116). С. 41–53. DOI: 10.24411/2227-9407-2021-10004.

Статья поступила в редакцию 04.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021