

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Электротехника

УДК [UDC] 621.31

DOI 10.17816/transsyst202173106-119

© **И. М. Казымов, Б. С. Компанец, О. Н. Дробязко**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
(Барнаул, Россия)

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

**Обоснование:** На сегодняшний день актуальной проблемой в электроэнергетике является создание устройств для сбора и передачи информации в электрических сетях различных уровней напряжения.

**Цель:** Исследование, изложенное в рамках данной статьи, направлено на создание универсального устройства, предназначенного для использования в электрических сетях низкого и среднего уровня напряжений с целью сбора и передачи информации о параметрах электрической энергии в месте установки устройства.

**Методы:** Исследование выполнено с использованием методов компьютерного моделирования разрабатываемых электронных устройств.

**Результаты:** Приводится функциональная схема разработанного устройства, указываются варианты его подключения к сети для различных условий и требований, даются рекомендации по использованию.

**Заключение:** Полученные результаты могут быть использованы электросетевыми компаниями и промышленными предприятиями для проведения анализа состояния и эффективности работы электрических сетей.

**Ключевые слова:** параметры электроэнергии, коэффициент мощности, прибор учёта, АИИС КУЭ, цифровой двойник, цифровизация электроэнергетики, датчик напряжения.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Electrical Engineering

© **I. M. Kazymov, B. S. Kompaneets, O. N. Drobyazko**

Altai State Technical University named I. I. Polzunov  
(Barnaul, Russia)

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR CONTROL OF ELECTRIC ENERGY PARAMETERS IN THE DISTRIBUTION NETWORK

**Background:** As of today, the actual problem in the power sector is to create a device for the collection and transmission of information in networks of different voltage levels.

**Aim:** The research presented in the framework of this article is aimed at creating a universal device intended for use in electrical networks of low and medium voltage in order to

collect and transmit information about the parameters of electrical energy at the place of installation of the device.

**Methods:** The study was performed with the use of computer modeling techniques developed electronic devices.

**Results:** A functional diagram of the developed device is given, options for its connection to the network for various conditions and requirements are indicated, and recommendations for use are given.

**Conclusion:** The obtained results can be used by power grid companies and industrial enterprises to analyze the condition and efficiency of power grids.

**Keywords:** electricity parameters, power factor, metering device, ASCMA, digital twin, digitalization of the electric power industry, voltage sensor.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интенсивное развитие получают цифровые технологии в электроэнергетике, в том числе и в распределительных электрических сетях низкого и среднего уровня напряжений. Одним из значимых направлений в этой сфере на сегодняшний день является создание так называемых «цифровых двойников» электроэнергетических систем. В связи с этим возникает необходимость в создании устройств, способных длительное время собирать, анализировать и передавать данные о параметрах электрической энергии в точке установки устройства [1–4].

Ввиду того, что на данный момент подобные устройства являются дорогостоящими, область их применения крайне ограничена: в основном такими устройствами оснащаются крупные объекты генерации (электростанции) и распределения (узловые подстанции) электрической энергии. Таким образом, «цифровизации» подвергнута лишь малая часть энергосистемы, включающая в себя в основном межсистемные связи и другие крупные узлы высокого напряжения (220 кВ и выше). В это же время для достижения максимально возможной эффективности распределительных сетей низкого и среднего напряжений требуется создание для них подобных «цифровых двойников», однако в нынешних условиях это чрезвычайно трудно в реализации и неэффективно экономически по причине высокой стоимости подобных комплексов [5–9].

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 сельских 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 АИИС КУЭ. Известны предложения о составе и характере устройств контроля сетей [10], однако список параметров, которые

должны передавать подобные устройства для обеспечения 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 доступна как в виде мгновенных значений, так и в виде статистических данных.

Основную сложность в построении подобных приборов составляет выбор технического решения по определению коэффициента мощности нагрузки. Данная проблема обусловлена в основном цифровым (и, следовательно, дискретным) характером данных о мгновенных величинах тока и напряжения, и, в том числе, влиянием несинусоидальности питающего напряжения.

Так как 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 возможностью разработки эффективных мер по приведению коэффициента мощности в целом по сети к нормативным значениям. Для сельских электрических сетей это особенно актуально ввиду низкого дневного значения коэффициента мощности для большинства сельскохозяйственных нагрузок (0,70–0,75) [11].

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Создание возможности проведения удалённого анализа состояния и эффективности работы электрических сетей является одним из перспективных направлений развития электросетевого комплекса.

В связи с этим целью исследования является создание материально-технической базы для проведения автоматизированного удалённого анализа распределительных электрических сетей низкого и среднего уровня напряжений.

Задачи, выполнение которых необходимо для достижения заявленной цели, могут быть сформулированы следующим образом:

- разработка устройства для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки.

Устройство для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки должно отвечать следующим требованиям:

- простота конструкции;
- надёжность: как составляющих элементов, так и прибора в целом;
- возможность объединения ряда приборов в единую сеть, в том числе совместимость с современными приборами учёта для АИИС КУЭ;
- возможность работать с применяемыми в настоящее время каналами связи;
- погрешность измерений и вычислений не должна превышать таковые у современных приборов учёта для АИИС КУЭ;
- перспективность (ориентированность на развитие отрасли в части цифровой трансформации, а именно возможность в перспективе работать в качестве устройства сбора и передачи информации при построении цифровых сетей) [12, 13].

## ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО УСТРОЙСТВА

Устройство для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки предназначено для осуществления сбора и передачи информации о параметрах электрической энергии в распределительной сети в точке его установки.

Основными направлениями использования устройства (в составе информационно-измерительной системы) являются:

- определение факта и места неучтённого потребления электрической энергии в распределительной сети;
- определение величины и места возникновения повышенных технических потерь электрической энергии в распределительной сети;
- сбор статистических данных о состоянии электрической сети для решения задач по прогнозированию, диагностике и определению остаточного ресурса оборудования и линий электропередачи;
- получение ценной информации касательно эффективности работы электрической сети, которая может быть использована для реконструкции (переустройства) сетей с целью повышения эффективности их работы: снижения величины технических потерь и повышения надёжности электрической сети в целом, что также позволит на основании данных анализа эффективности работы существующих электрических сетей проектировать и строить электрические сети, имеющие максимально возможный уровень надёжности и эффективности, который может быть достигнут инженерными решениями без вмешательства в состав оборудования сети.

Устройство для контроля параметров электрической энергии в распределительной сети должно иметь возможность измерения следующих параметров электрической энергии в точке его установки:

- сила тока, протекающая через датчики тока прибора;

- напряжение в месте установки прибора (как фазное, так и линейное);
- фазовый сдвиг между током и напряжением;
- активная мощность, потребляемая через присоединение, контролируемое данным устройством;
- температура окружающей среды;
- влажность воздуха окружающей среды.

На основе измеренных значений электрических величин устройство должно определять расчётным путём следующие параметры:

- активная, реактивная и полная мощности, потребляемые присоединением, на котором установлен прибор (мгновенные значения);
- коэффициент мощности нагрузки, подключённой к контролируемому присоединению (мгновенные значения);
- потребленная электрическая энергия (накопительные значения за произвольные прошедшие периоды с задаваемым интервальным разделением);

Измерение неэлектрических величин (температура и влажность воздуха окружающей среды) позволяет собирать статистические данные по отказам оборудования или возникновению технологических нарушений с привязкой к погодным условиям, а также устанавливать зависимости между величиной потерь (как технических, так и коммерческих) и погодными условиями, что, в свою очередь, позволит диагностировать различные неполадки в электрической сети и предупреждать их развитие в полноценные технологические нарушения.

Ввиду того, что рассматриваемые распределительные электрические сети в общем случае являются разветвлёнными сетями со сложной структурой, подключение к сети прибора традиционным способом по примеру электрического прибора учёта (в разрыв сети) чрезвычайно трудоёмко и не представляется возможным к оперативному выполнению ввиду необходимости выполнить отключение сетей на длительный срок с целью подключения требуемого числа приборов, что не может быть достигнуто по причине наличия ограничений на время перерыва в электроснабжении. Также подключение в разрыв сети накладывает ограничение на мобильность приборов и фактически ограничивает область их применения до рамок одной электрической сети, что не позволит произвести анализ всех имеющихся электрических сетей при помощи одного комплекта приборов по причине высокой трудоёмкости по их снятию и установке. Этот фактор может значительно повысить стоимость проекта по анализу эффективности работы электрической сети, особенно в том случае, когда требуется лишь снять текущее состояние электрической сети и отсутствует необходимость производить непрерывный сбор статистических данных о состоянии электрической сети.

По этим и другим причинам, исходя из имеющихся ограничений на

способ подключения разрабатываемого устройства, было принято решение о создании устройства, способного быть подключённым к сети без разрыва питающих проводов. При этом неизбежным условием является наличие возможности подключения непосредственно к токоведущим частям контролируемого присоединения (для обеспечения возможности контроля величины напряжения).

Так как основным назначением устройства является работа в составе информационно-измерительной системы, одним из главных направлений при проектировании является организация связи между устройством и центральным обрабатывающим компьютером, что позволит обеспечить непрерывную передачу информации о параметрах электрической энергии в точке установки устройства. Устанавливаемый канал связи должен быть помехоустойчивым и обеспечивать строго иерархическую связь типа «Центральный обрабатывающий компьютер – устройство для контроля параметров электрической энергии». Этот канал связи должен обеспечивать передачу информации как к устройству, так и от него, однако всякий обмен информацией должен производиться только по инициативе центрального обрабатывающего компьютера, при этом удалённая настройка устройства должна быть запрещена на этапе проектирования программного обеспечения устройства для обеспечения актуальности и единообразия передаваемой разными приборами информации.

Обязательное требование к надёжности устройства может быть обеспечено двумя путями:

- создание незащищённого от внешних воздействий и значительно удешевлённого устройства, которое, однако, необходимо монтировать в защитном корпусе (распределительных шкафах, ящиках);
- создание устройства, которое было бы защищено от внешних воздействий, как природного, так и техногенного характера, что являлось бы удорожающим фактором, однако избавило бы от необходимости использования внешних защитных устройств.

Передаваемые данные о параметрах электрической энергии в точке подключения устройства должны отвечать требованиям к точности, что может быть достигнуто применением электронных компонентов, имеющих повышенный уровень точности параметров (в том числе и для активных компонентов), а также требует ввода калибровочных элементов в состав прибора, обязательной стопроцентной проверки качества и калибровке на этапе производства. Эти меры позволят создавать приборы с достаточной степенью повторяемости характеристик по точности, что, в свою очередь, позволит получать данные о параметрах электрической энергии в сети с заданной точностью и производить анализ получаемой информации.

Таким образом можно заключить, что совокупность устройств для контроля параметров электрической энергии в точке их установки может

быть объединена в систему контроля параметров электрической энергии в сети при наличии их связи с центральным обрабатывающим компьютером.

Анализ эффективности работы электрической сети может быть проведён только при организации работающей системы контроля параметров электрической энергии в сети на основе центрального обрабатывающего компьютера и определённого числа устройств контроля параметров электрической энергии. В этом случае показания устройств, установленных в различных точках электрической сети, должны быть переданы на центральный обрабатывающий компьютер при помощи установленных каналов связи с соблюдением условия одновременности снятия показаний.

Условие одновременности снятия показаний приборов должно обеспечиваться программной частью устройства и быть синхронизированным по времени. Синхронизация обеспечивается внутренними часами устройства, которые, в свою очередь, синхронизируются с часами центрального обрабатывающего компьютера в определённые периоды. Таким образом, центральный обрабатывающий компьютер лишь устанавливает частоту снятия исходя из актуальных задач и принимает одновременно снятые показания со всех контролируемых точек электрической сети.

Таким образом в реальных устройствах обеспечивается достоверность получаемой картины распределения параметров электрической энергии в распределительной сети и создаётся основа для сбора статистических данных, из анализа которых впоследствии могут быть сделаны определённые выводы.

Также возможно использование устройства в качестве прибора для контроля показателей качества электрической энергии для приближённой оценки целесообразности работ в направлении улучшения показателей качества электрической энергии в конкретной сети или на её участке.

Несмотря на необходимые различия в конструкции устройств для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки, предназначенных для сетей различного класса напряжения, имеет смысл разработать единую конструкцию, на основе которой будет строиться каждый тип устройств. Очевидно, что эта конструкция должна быть модульной и обеспечивать возможность перестройки прибора на работу с другой сетью с минимальным числом заменяемых блоков, а в перспективе – совершенно без внесения изменений в конструкцию, что позволило бы производить данные устройства крупными партиями, снизив номенклатуру вариантов исполнения приборов.

Конструктивно устройство для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки должно состоять из следующих структурных единиц:

- узел контроля протекающего тока;
- узел контроля напряжения в точке подключения;
- узел определения сдвига фаз между током и напряжением;
- узел определения дополнительных параметров (температура, влажность, запылённость воздуха и тому подобные);
- узел связи с центральным обрабатывающим компьютером;
- узел резервного питания;
- узел источника тактового сигнала, совмещённый с узлом контроля времени;
- центральное вычислительное устройство на основе микроконтроллера.

Функциональная схема устройства показана на Рис. 1.

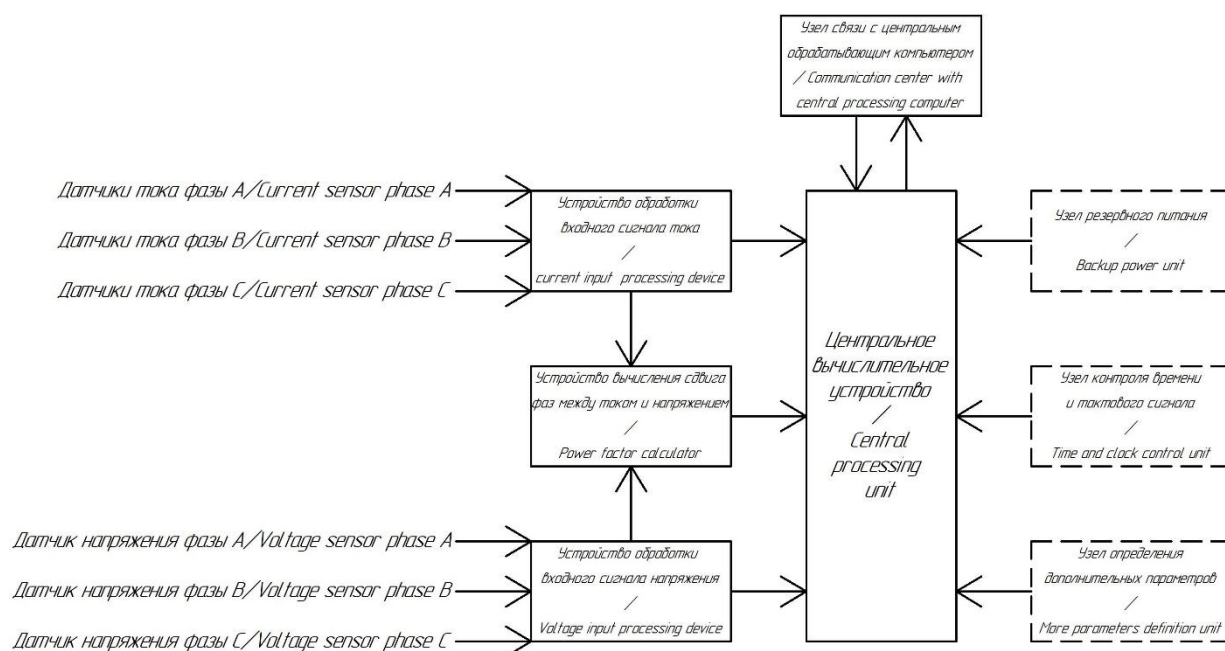


Рис. 1. Функциональная схема устройства для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки

Узел определения сдвига фаз между током и напряжением представляет собой электронное устройство, которое принимает на вход сигналы тока и напряжения одноимённой фазы и вычисляет угол сдвига фаз между ними (результат получается в градусах), а затем передаёт в цифровом виде на центральное вычислительное устройство.

Помимо всего прочего, модульность устройства позволяет добавлять неограниченно число датчиков тока к устройству обработки входного сигнала тока, что может обеспечить в том числе контроль всего распределительного устройства при помощи одного устройства за счёт контроля датчиками тока как вводного, так и всех отходящих присоединений. Варианты подключения датчиков тока устройства



показаны на Рис. 2 [1], демонстрирующем схему подключения прибора к сети для контроля протекающего тока на вводе и на двух отходящих присоединениях (вариант 1). Так же на этом рисунке показан традиционный способ подключения прибора для контроля отходящего присоединения на конечного потребителя, установленного на границе балансовой принадлежности (вариант 2) и способ подключения прибора в точке ветвления, являющийся наиболее экономичным (вариант 3). Совершенно очевидно, что точки ветвления могут быть обвязаны сколько угодно большим числом датчиков тока, что дополнительно увеличит точность получаемых результатов и ляжет в основу создания «цифрового двойника» электрической сети.

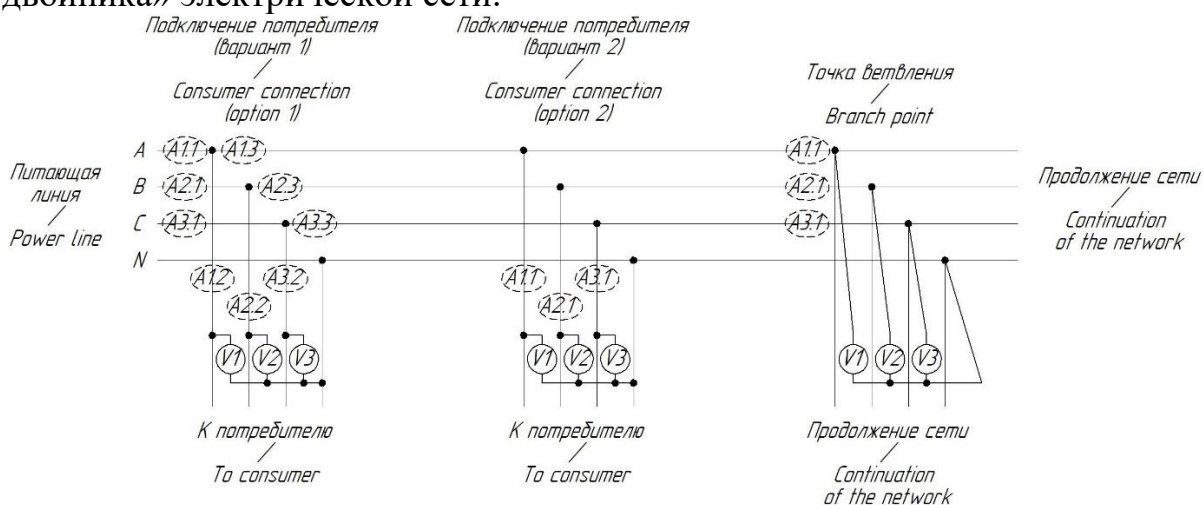


Рис. 2. Варианты подключения устройства для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки

На Рис. 2 тонкой линией показаны проводники основной цепи рассматриваемой электрической сети, а основной линией показано подключение датчиков напряжения к сети. Штриховой линией, образующей эллипс, показаны датчики тока (например, A1.1), подразумевается, что точка, в которой выполняется измерение тока, находится в центре эллипса. Основной линией, образующей окружность, показаны датчики напряжения (например, V1), которые измеряют напряжение между каждой из фаз и нулевым проводником в точке подключения датчика (показана узлом).

Отсутствие необходимости в разрыве проводников основной цепи обеспечивается применением датчиков тока, имеющих разъёмный сердечник и устанавливаемых на провод в изоляции. Отсюда следует, что подключение данного устройства возможно в любом месте на воздушной линии и в месте разветвления кабельной линии, иными словами: в тех местах, где отдельные жилы кабеля разведены на достаточное расстояние между друг другом (например, в точках ветвления линий, выполненных самонесущим изолированным проводом).

Очевидно, что отличающимися узлами в зависимости от рассматриваемого типа сетей будут являться датчики тока ввиду различных принципов их работы в распределительных сетях различных классов напряжений, а также ввиду различных требований к изоляции устройств в сетях низкого и среднего напряжения. Датчики напряжения предполагают общую конструкцию для сетей низкого и среднего уровня напряжений за счёт того, что в сетях низкого напряжения будет выполнено непосредственное подключение датчиков напряжения к токоведущим частям, а в сетях среднего уровня напряжений датчик напряжения будет подключаться к имеющемуся оборудованию для измерения напряжения (например, трансформатор напряжения измерительный).

Вычисление всех косвенно измеряемых величин производится центральным вычислительным устройством в автоматическом режиме с сохранением архивных значений за определённый период.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Устройство для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки, позволяющее создать систему, состоящую из ряда измерительных устройств и центрального обрабатывающего компьютера, способную производить мониторинг параметров электрической энергии в распределительной сети любого типа в реальном времени с возможностью сбора статистической информации может быть применено в следующих областях:

– сельские и городские распределительные электрические сети низкого напряжения переменного тока (в том числе и внутренние сети предприятий);

– сельские и городские распределительные электрические сети среднего напряжения переменного тока (в том числе и внутренние сети предприятий);

– внутриплощадочные сети постоянного тока промышленных предприятий.

В каждой из указанных областей применение разработанного устройства при условии создания информационно-измерительной системы позволит производить анализ параметров электрической энергии в сети: определить величину потерь электрической энергии (как коммерческих, так и технических); определять наиболее проблемные участки по потерям электрической энергии с указанием мест возникновения технических потерь электрической энергии и мест неучтённого потребления электрической энергии; собирать и сохранять статистику для отслеживания динамики изменения величины потерь; при внешних воздействиях на систему (ввод новой информации о технологических

нарушениях, о выходе из строя оборудования) осуществлять, используя данные об актуальном уровне технических потерь в сети, удалённую диагностику электрической сети на предмет наличия развивающихся дефектов, способных привести к возникновению технологического нарушения, что, в свою очередь, позволит своевременно реагировать на возникающие отклонения в параметрах электрической энергии и приведёт к повышению надёжности электрической сети, что особенно актуально для сельских и городских распределительных электрических сетей низкого и среднего уровня напряжений переменного тока.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

Цифровизация электроэнергетики на сегодняшний день является наиболее приоритетной задачей развития электросетевого комплекса в целом. Основной задачей цифровизации является перевод электроэнергетических систем (и в особенности электрических сетей) в цифровой вид (цифровое представление), где каждый элемент будет представлен определенным набором информации. Создание подобного рода баз данных предполагает наличие множества устройств для сбора и передачи информации о параметрах электрической энергии в точках их установки [14, 15, 16].

Помимо всего прочего, представляется перспективным использование данных, собираемых устройствами, для накопления статистической информации о работе сети в различных режимах и при различных условиях, как внутренних, как и внешних. В таком случае станет возможным отследить и установить зависимости в том числе и уровня потерь электрической энергии (как технических, так и коммерческих) от таких факторов, как температура и влажность окружающей среды, а также оценивать развитие величин тока утечки и потерь мощности в сети с течением времени эксплуатации отдельно взятой сети.

На основании вышеизложенного можно заключить, что в перспективе использование устройств сбора и передачи информации о параметрах электрической энергии в рамках системы цифрового представления сети позволит производить не только анализ текущего состояния, но и, на основании собранных статистических данных, осуществлять прогнозирование развивающихся несоответствий в сети, что, в свою очередь, позволит предупреждать возникновение и развитие различных технологических нарушений в сети. Наличие возможности получения прогнозов дальнейших изменений в электрической сети на основании известной информации о предыдущих периодах эксплуатации может лечь в основу создания умных электрических сетей, в которых опыт

эксплуатации аналогичных сетей по всему миру позволит получать рекомендации о наилучших решениях на всех этапах жизненного цикла электрических сетей: от проектирования до капитального ремонта и/или реконструкции.

Разработанное в рамках данного исследования устройство отвечает всем требованиям, указанным при постановке задачи и может быть использовано в практической деятельности электросетевых компаний и промышленных предприятий. Основная сфера применения – анализ состояния сетей и оценка эффективности их работы. Также необходимо отметить, что данное устройство может быть в перспективе использовано в рамках всех вышеупомянутых направлений.

### Авторы заявляют, что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Дзяди́кевич Ю.В., Гевко Б.Г., Никеруй С.В. Пути экономии электроэнергии общего пользования в сфере ЖКХ // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 6. – С. 21–24. [Dzyadikovich YuV, Gevko BG, Nikeruy YuS. Puti ekonomii elektroenergii obshchego pol'zovaniya v sfere ZHKKH. *Energoberezhniye. Energetika. Energoaudit.* 2011;6:21-24. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22006460>. Ссылка активна на: 17.05.2021.
2. Хацевский К.В., Денчик Ю.М., Клеутин В.И., и др. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения // Омский научный вестник. – 2012. – № 2. – С. 212–215. [Khatsevskiy KV, Denchik YuM, Kleutin VI, et al. Problemy kachestva elektroenergii v sistemakh elektrosnabzheniya. *Omskiy nauchnyy vestnik.* 2012;2:212-215. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17879229>. Ссылка активна на: 17.05.2021.
3. Иванов А.Г., Соколова В.Н. Финансовые потери потребителей в связи с низким качеством электроэнергии // Science Time. – 2014. – № 11.– С. 113–115. [Ivanov AG, Sokolova VN. Finansovyye poteri potrebiteley v svyazi s nizkim kachestvom elektroenergii. *Science Time.* 2014;11:113-115. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22672845>. Ссылка активна на: 17.05.2021.
4. Rossoni A, Braunstein SH, Trevizan RD, et al. Contribution to distribution systems technical and nontechnical losses estimation using WLS state estimator. Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting. 2018:1-5. doi: 10.1109/pesgm.2017.8273804
5. Chatterjee S, Archana V, Suresh K, et al. Detection of non-technical losses using advanced metering infrastructure and deep recurrent neural networks. Proceedings of the 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. doi: 10.1109/IEEEIC.2017.7977665
6. Ahmad T. Non-technical loss analysis and prevention using smart meters. *Renewable*

- and Sustainable Energy Reviews*. 2017;72:573-589. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.100
7. Trevizan RD, Rossoni A, Bretas AS, et al. Non-technical losses identification using Optimum-Path Forest and state estimation. Proceedings of the IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech. 2015. DOI: 10.1109/ptc.2015.7232685
  8. Тиньгаев А.В., Шевченко А.А. Оптимизация протяжённости линий электропередач при подключении сельскохозяйственных потребителей с использованием WEB-технологий // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4. – С. 186–191. [Tin'gayev AV, Shevchenko AA. Optimizatsiya protyazhonnosti liniy elektroperedach pri podklyuchenii sel'skokhozyaystvennykh potrebiteley s ispol'zovaniyem WEB-tekhnologiy. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;4:186-191. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34900729>. Ссылка активна на: 17.05.2021.
  9. Henriques HO, Correa MRLS. Use of smart grids to monitor technical losses to improve non-technical losses estimation. Proceedings of the 7<sup>th</sup> Brazilian Electrical Systems Symposium. 2018:1-6. doi: 10.1109/sbse.2018.8395924
  10. Kazymov I, Kompaneets B. Definition of fact and place of losses in low voltage electric networks. Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications And Manufacturing, ICIEAM 2019 – Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2019. doi: 10.1109/icieam.2019.8743075
  11. РД 34.20.178-82. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения, 1982. – 108 с. [RD 34.20.178-82. Metodicheskkiye ukazaniya po raschetu elektricheskikh nagruzok v setyakh 0,38-110 kV sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya. 1982. 108 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/15CO.html>. Ссылка активна на: 17.05.2021.
  12. Цыгулев Н.И., Хлебников В.К., Шелест В.А., и др. Цифровизация электрических сетей АПК на платформе интернета энергии / Материалы национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники». – 2019. – С. 327–328. [Tsygulev NI, Khlebnikov VK, Shelest VA, et al. Tsifrovizatsiya elektricheskikh setey APK na platforme interneta energii. Proceedings of the national scientific and practical conference “Actual Problems of Science and Technology”. 2019:327-328. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 17.05.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39451039>.
  13. Белый В.Б. Модель процессов потребления электроэнергии коммунально-бытовым сектором в сельских электрических сетях / Материалы XVII международной научно-практической конференции «Энерго- и ресурсосбережение – XXI век». – 2019. – С. 42–45. [Belyu VB. Model' protsessov potrebleniya elektroenergii kommunal'no-bytovym sektorom v sel'skikh elektricheskikh setyakh. Proceedings of the national scientific and practical conference “Energo- i resursosberezheniye – XXI vek”. 2019:42-45. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42256826>. Ссылка активна на: 17.05.2021.
  14. Распоряжение Правительства Российской Федерации №511-р от 3 апреля 2013 г. в редакции №1399-р от 18 июля 2015 г. «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации». [Order of the Government of the Russian Federation №511-p of 3 April 2013 as amended №1399-p of 18 July 2015 “Ob utverzhdenii Strategii razvitiya elektrosetevogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii” (In Russ.)]. Доступно по: <http://government.ru/docs/1220>. Ссылка активна на: 17.05.2021.
  15. Указ Президента Российской Федерации №204 от 7 мая 2018 г. «О национальных

целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [Decree of the President of the Russian Federation №204 of 7 May 2018. “O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 goda” (In Russ.)]. Доступно по: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>. Ссылка активна на: 17.05.2021.

16. Концепция ПАО «Россети» «Цифровая трансформация 2030», 2018. – 31 с. [The concept of PJSC Rosseti “Tsifrovaya transformatsiya 2030”. 2018. 31 p. (In Russ.)]. Доступно по: [https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya\\_Tsifrovaya\\_transformatsiya\\_2030.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf). Ссылка активна на: 17.05.2021.

#### Сведения об авторах:

**Казымов Иван Максимович**, аспирант;

eLibrary SPIN: 8464-5810; ORCID: 0000-0001-6873-0315; Scopus ID: 57209794071;

E-mail: bahek1995@mail.ru

**Компанец Борис Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент;

eLibrary SPIN: 7371-4290; ORCID: 0000-0001-5980-1230; Scopus ID: 57209796863;

E-mail: kompbs@mail.ru

**Дробязко Олег Николаевич**, доктор технических наук, профессор;

eLibrary SPIN: 4902-6649; ORCID: 0000-0001-6826-561X; Scopus ID: 57207346047;

E-mail: drolnik@list.ru

#### Information about the authors:

**Ivan M. Kazymov**, postgraduate;

eLibrary SPIN: 8464-5810; ORCID: 0000-0001-6873-0315; Scopus ID: 57209794071;

E-mail: bahek1995@mail.ru

**Boris S. Kompaneets**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

eLibrary SPIN: 7371-4290; ORCID: 0000-0001-5980-1230; Scopus ID: 57209796863;

E-mail: kompbs@mail.ru

**Oleg N. Drobyazko**, Doctor of Technology

eLibrary SPIN: 4902-6649; ORCID: 0000-0001-6826-561X; Scopus ID: 57207346047

E-mail: drolnik@list.ru

#### Цитировать:

Казымов И.М., Компанец Б.С., Дробязко О.Н. Разработка устройства для контроля параметров электрической энергии в распределительной сети // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 106–119. doi: 10.17816/transsyst202173106-119

#### To cite this article:

Kazymov IM, Kompaneets BS, Drobyazko ON. Development of a device for control of electric energy parameters in the distribution network. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(3):106-119. doi: 10.17816/transsyst202173106-119