

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ (05.09.03)

УДК 621.31

DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-91-99

Модель распределения электрического напряжения и изменения электрического тока в сети с наличием неучтённого потребления электрической энергии

И.М. Казымов, Б.С. Компанеец

Цель исследования — борьба с коммерческими потерями в электрических сетях, в особенности в сетях низкого напряжения, что является одним из приоритетных направлений работы электросетевых организаций. Решение данной проблемы сопряжено со сложностью определения точного места возникновения коммерческих потерь в условиях широкой разветвлённости электрических сетей низкого и среднего уровней напряжений. В настоящее время применяют различные способы поиска мест возникновения коммерческих потерь. Однако не создано эффективных методов определения факта и места неучтённого потребления электрической энергии в сетях в режиме удалённого анализа сетей на основании данных с современных приборов учёта электрической энергии, входящих в систему АИИС КУЭ. Преодолению указанной проблемы поспособствует разработка модели распределения электрического напряжения и изменения величины электрического тока в распределительных сетях номинальным напряжением 0,4 — 35 кВ.

Предложена модель распределения электрического напряжения и изменения величины электрического тока для сети, содержащей неучтённое потребление электрической энергии. Теоретически обоснована эффективность ее использования, определены границы применимости и точность получаемых результатов.

Графическое представление модели — одна из форм цифрового представления электрической сети, может быть использовано для выполнения анализа электрических сетей на предмет наличия или отсутствия в них неучтённого потребления электрической энергии.

Описанная модель распределения электрического напряжения и изменения величины электрического тока в сети обеспечивает решение задачи по представлению электрической сети в виде набора параметров электрических величин для проведения анализа электрических сетей на предмет наличия коммерческих потерь.

Ключевые слова: коммерческие потери, неучтённо потребляемая электроэнергия, борьба с потерями, небаланс электроэнергии, участок электрической сети, АИИС КУЭ.

Для цитирования: Казымов И.М., Компанеец Б.С. Модель распределения электрического напряжения и изменения электрического тока в сети с наличием неучтённого потребления электрической энергии // Вестник МЭИ. 2021. № 6. С. 91—99. DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-91-99.

A Model of Voltage Distribution and Change of Current in the Network Containing Unaccounted Electricity Consumption

I.M. Kazymov, B.S. Kompaneets

The aim of the study is control of commercial losses in electrical grids, especially in low voltage grids, which is one of the priority lines of activities conducted by electric network companies. The complexity of solving this problem is stemming from the difficulty of exactly locating the commercial loss occurrence place under the conditions of extensively branched low and medium voltage electrical networks. Various methods are currently used to determine the commercial loss occurrence places. However, no effective methods have been created for determining the fact and place of unaccounted electricity consumption in networks under the conditions of performing remote analysis of networks based on the data from modern electricity meters used in the automated fiscal electricity metering system. These difficulties can be overcome by developing a model of voltage distribution and change of current in distribution networks of the 0.4--35 kV nominal voltage levels.

A model of voltage distribution and changes of current for a network containing unaccounted electricity consumption is proposed. The effectiveness of using the proposed model has been theoretically substantiated; its applicability limits are defined, and the accuracy of the obtained results is estimated.

Graphical representation of the proposed model, which is one of the electrical network digital imaging forms, can be used to analyze electrical networks for revealing if there is unaccounted electricity consumption in them.

By using the proposed model of voltage distribution and change of current in the network, it is possible to represent the electrical network as a set of electrical parameters to analyze electrical networks for the presence of commercial losses.

Key words: commercial losses, unaccounted electricity consumption, electricity losses, control of electricity losses, electricity imbalance, electrical network section, automated fiscal electricity metering system.

For citation: Kazymov I.M., Kompaneets B.S. A Model of Voltage Distribution and Change of Current in the Network Containing Unaccounted Electricity Consumption. Bulletin of MPEI. 2021;6:91—99. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2021-6-91-99.

Введение

В настоящее время неучтенное технологическое присоединение физических или юридических лиц к распределительным сетям неизбежно приводит к значительному ущербу для энергоснабжающих организаций, как на территории Российской Федерации, так и за её пределами. Влияние большого числа точек неучтённого потребления на эффективность работы сети резко негативно по ряду причин. Оперативное обнаружение места, в котором выполнено подобное подключение, — нетривиальная задача. Некоторые подходы подробно описаны в [1 — 3], однако предлагаемые методы отличаются высокой трудоёмкостью расчётов и вероятностным характером получаемых результатов.

Ущерб, наносимый при неучтённом технологическом присоединении, относится к коммерческим потерям: то есть это фактически потреблённый, но не учтённый, а, следовательно, не предъявленный к оплате объём электрической энергии. Он может быть снижен с помощью различных мер организационного или технического характера. Некоторые заслуживающие внимания меры и алгоритмы предлагались на конференции 7th Brazilian Electrical Systems Symposium в 2018 г. [3, 4].

Борьба с коммерческими потерями в распределительных сетях на данный момент — одно из важнейших направлений исследований по повышению эффективности работы электрических сетей. В связи с этим проведен анализ коммерческих потерь в компаниях группы «Россети». Суммарный ущерб группы «Россети» составляет свыше 7 млрд руб. ежегодно [5]. Доля возмещённых потерь колеблется, но в основном составляет менее 20%. В частности, по ПАО «МРСК Сибири» доля возмещённого ущерба составила 16,2%.

Самовольное технологическое присоединение к распределительной электрической сети — один из факторов риска нарушения электроснабжения, поскольку подобного рода подключения выполняются без соблюдения утверждённых правил и норм, следовательно, повышается риск возникновения нарушений в работе сети, а также такие действия могут стать причинами аварии и ухудшения показателей качества электроэнергии, к примеру, выхода отклонения напряжения за установленные ГОСТом 32144—2013 рамки [6]. Очевидно, что своевременное выявление и устранение самовольных технологических присоединений, а также других способов хищения электрической энергии снизит издержки электросетевых компаний, повысит надёжность электроснабжения, а также благоприятно скажется на уровне потерь.

Общепринятой практикой в настоящее время становится то, что у реконструируемых и строящихся вновь сетей должны быть возможности по отслеживанию потерь и методы оценки их величины [7 — 18]. Это становится возможным по причине повсеместной установки приборов учёта, связанных АИИС КУЭ, что позволяет получать полную информацию о параметрах электрической энергии по всем точкам учёта. При этом основной проблемой остаётся разработка методов обработки поступающей информации для обеспечения выполнения точных расчётов об объёме и месте возникновения потерь.

Постановка задачи

Безучётное и бездоговорное потребление энергии — один из факторов риска нарушения электроснабжения, т. к. при самовольном подключении понижается напряжение в сети и падает качество электроэнергии. Таким образом, своевременное выявление фактов хищения, бездоговорного и неучтённого потребления — одно из возможных направлений снижения издержек распределительных сетевых предприятий, а также вероятности возникновения несчастных случаев и технологических нарушений.

Цель исследования — создание модели распределения электрического напряжения и изменения величины электрического тока с наличием неучтённого потребления электрической энергии как эффективного вспомогательного инструмента для обнаружения факта и места возникновения коммерческих потерь.

Разработанная модель должна обладать:

- универсальностью (применимостью для распределительных сетей на ступенях номинального напряжения от 0,4 до 35 кВ);
- математической строгостью (алгоритмированностью построения для общего случая конфигурации распределительной сети);
- перспективностью (ориентированностью на развитие отрасли, возможностью дальнейшего использования в автоматизированных системах управления).

Материалы и методы

Передача электрической энергии в электрических сетях в рамках настоящей работы предполагается односторонним процессом распределения и потребления: мощность всегда идет от питающей подстанции (фидера) к конечным потребителям.

Отходящие зажимы подстанции (фидера) условно названы началом линии. Величины потребляемого тока и напряжения на различных элементах сети, а,

следовательно, и передаваемой мощности, снижаются по мере удаления от начала линии.

Таким образом, для каждого отдельного случая можно составить модель распределения электрического напряжения и изменения величины электрического тока в сети, из которой затем можно определить влияние каждого конкретного потребителя на загрузку того или иного элемента сети.

Если часть потребителей имеет собственные источники генерации электрической энергии с возможностью выдачи в сеть, предлагаемая модель значительно усложняется. В связи с тем, что в распределительных сетях номинальным напряжением 0,4 — 35 кВ в Российской Федерации использование распределённой генерации не практикуется, данный случай не рассматривается.

Проанализируем предлагаемую модель на примере условной электрической сети класса напряжения 0,4 кВ магистрального типа. Условная электрическая

сеть, состоящая из одного источника питания и одного потребителя, представлена на рис. 1.

Положим, что в ней присутствует неучтённое потребление электрической энергии, причём оно идет через несанкционированное подключение к проводам линии электропередачи, территориально расположенное между источником питания и потребителем на некотором значимом расстоянии от источника питания (рис. 2). Если же в сети обнаружится дополнительное неучтённое потребление в месте подключения прибора учёта у потребителя (вне зависимости от применяемого способа хищения электрической энергии), то тогда она примет вид, изображенный на рис. 3.

На основании имеющихся данных о топологии сети (конфигурации сети, марке и сечении применяемых проводов линий) и информации о действующих значениях потребляемого тока, напряжения и мощности в точках учёта, можно построить картину распределе-

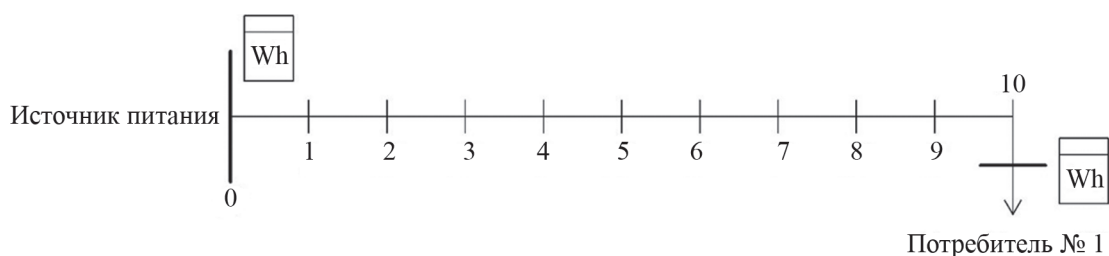


Рис. 1. Схема электрической сети, состоящей из одного источника питания и одного потребителя

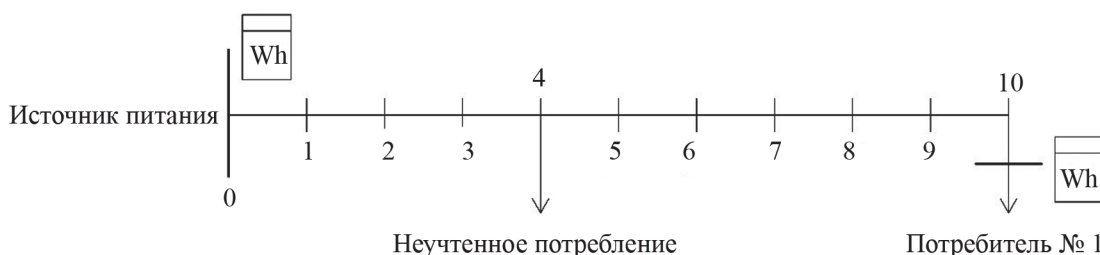


Рис. 2. Схема электрической сети с неучтённым потреблением электрической энергии

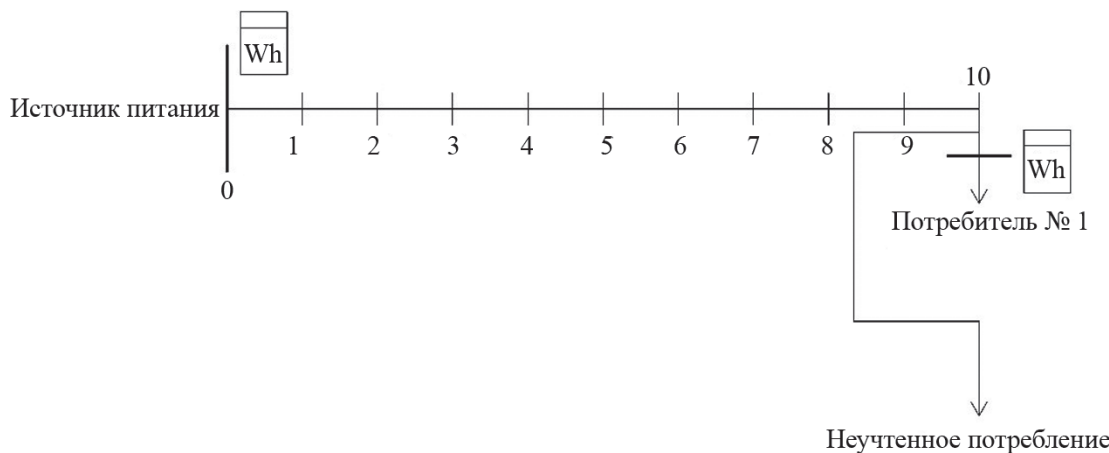


Рис. 3. Схема электрической сети с неучтённым потреблением электрической энергии в месте подключения прибора учёта у потребителя

ния электрического напряжения, изменения величины электрического тока в сети относительно потребителя № 1, приняв допущение, что учтённое и неучтённое потребление в сетях (см. рис. 2, 3) равны друг другу. Тогда, во всех случаях (см. рис. 1 — 3), ожидаемая картина распределения электрического напряжения и изменения величины электрического тока в сети будет выражена кривой 1 на рис. 4, 5. Однако распределение совпадет с реальностью только для сети, представленной на рис. 1, что дополнительно подтверждается одинаковыми показаниями приборов учёта (величиной потребляемого тока) у источника питания и потребителя.

Реальная картина распределения электрического напряжения и изменения величины электрического

тока различна для рис. 2 (кривая 2 на рис. 4, 5) и 3 (кривая 3 на рис. 4, 5), что дополнительно подкреплено небалансом тока в сети и различным для этих вариантов сетей напряжением у потребителя № 1 при одинаковом напряжении у источника питания.

Изменения электрического напряжения и величины электрического тока вдоль длины линии электропередачи даны на рис. 4, 5.

Результаты

Наиболее информативным в данном случае является рис. 4, поскольку графически из картины распределения электрических потенциалов следует, что неучтённое потребление в сети для случая, представленного кривой 2,

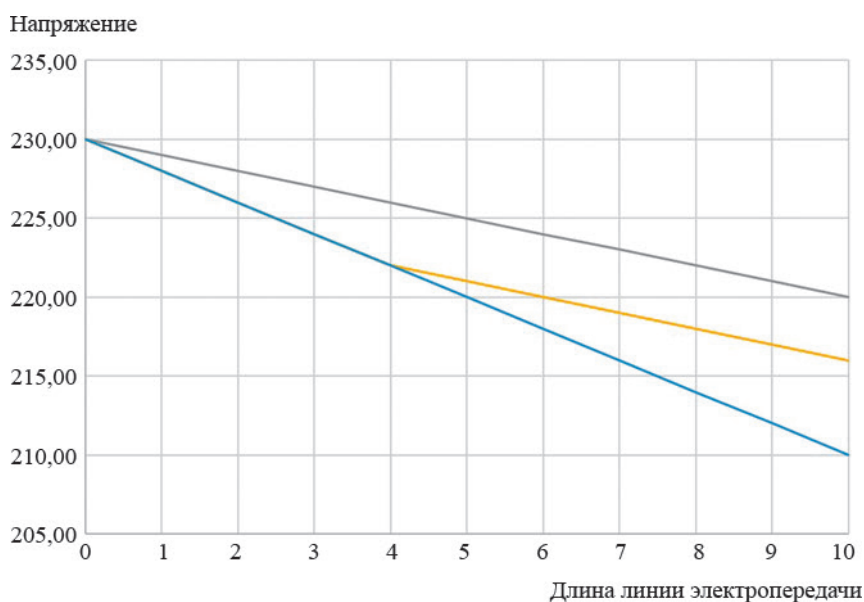


Рис. 4. Изменения величины электрического напряжения вдоль длины первой (—), второй (—) и третьей (—) линий электропередачи

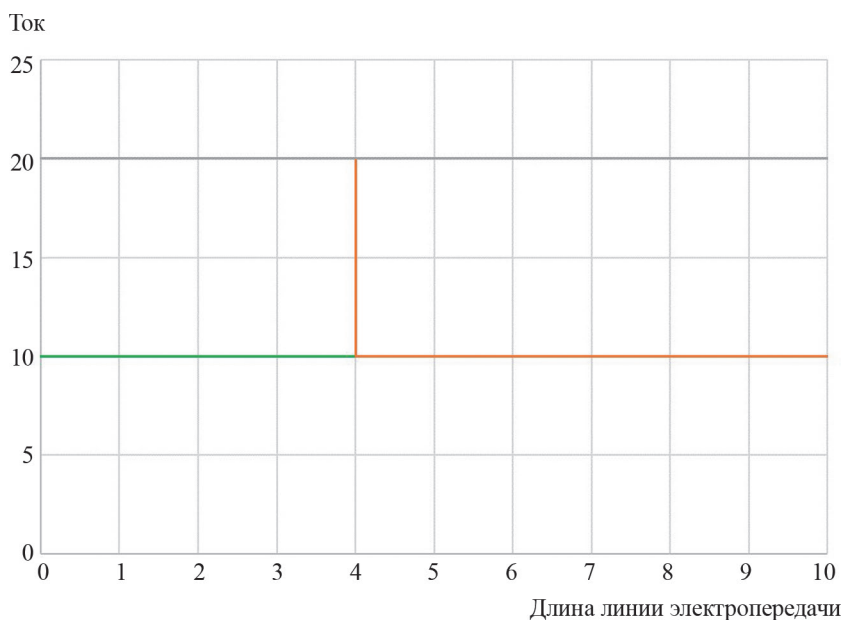


Рис. 5. Изменения величины электрического тока вдоль длины первой (—), второй (—) и третьей (—) линий электропередачи

происходит в точке «4», а для случая, продемонстрированного кривой 3, — непосредственно в точке подключения потребителя № 1. Также из рис. 4 видно, что наклон кривых изменения электрического напряжения вдоль длины линии различен для сетей, изображенных на рис. 1 — 3. Для сети на рис. 2 наглядно показан момент, в котором происходит изменение угла наклона кривой изменения напряжения, что говорит о наличии в этой точке отбора тока из линии электропередачи.

Резкое снижение величины тока в линии в точке «4» (рис. 5, кривая 3) обусловлено отбором тока в данной точке. Однако следует отметить, что при построении подобных кривых, имея в распоряжении малое число точек контроля параметров электрической энергии сети (в данном случае для рис. 4, 5 таких точек 11, причём две из них (0 и 10) представлены расчётными приборами учёта на источнике питания и у потребителя, соответственно), возможно получение ситуации, когда снижение величины тока на графике будет иметь вид плавного уменьшения на участке между двумя точками контроля. Это говорит о недостаточном числе точек контроля параметров электрической энергии в сети, и при увеличении числа контролируемых точек картина примет более точный вид.

Несмотря на низкое разрешение полученных изображений, на основании рис. 4, 5 (ожидаемая картина распределения электрического напряжения и изменения величины электрического тока в сети, исходя из данных о конфигурации сети, имеет вид кривой 1) можно заключить, что в сети, продемонстрированной на рис. 2 (кривая 2), присутствует неучтённое потребление электроэнергии, причём уже на основании анализа указанного графического представления становится очевидно, что неучтённое потребление происходит в одной точке сети, условно расположенной в точке «4». В сети, показанной на рис. 3 (кривая 3), присутствует неучтённое потребление, осуществляющееся в той же точке, в которой подключён прибор учёта потребителя.

Немаловажным является тот факт, что комплексное значение величины тока неучтённого потребления выглядит как геометрическая разность тока источника питания и суммы учтённых токов потребителей на участке. Причём, не имеет значения, в какой точке сети возникает неучтённое потребление. Векторная диаграмма токов для сетей с рис. 2, 3 приведена на рис. 6.

Анализ полученных результатов

Неучтённое потребление в сети негативно влияет на величину напряжения у конечных потребителей. При протекании дополнительного неучтённого тока в линии фактически потребляемая мощность в точке подключения потребителя № 1 и, следовательно, потребляемая им электрическая энергия будут ниже расчётной величины для случая, когда в сети отсутствует неучтённое потребление.

Описываемая модель распределения электрического напряжения и изменения величины электрического тока в сети является одной из форм цифрового представления электрической сети и может быть полезна при выполнении анализа электрических сетей на наличие или отсутствие неучтённого потребления.

Для наиболее полного использования данной модели необходимо много измерительных устройств в сети, в том числе и устройств, не являющихся расчётными приборами учёта, а, например, установленными в точках ветвления линии или на некоторых её опорах (как в точках «1» – «9» на рис. 1 — 3). Однако ее применение позволяет установить факт возникновения неучтённого потребления электрической энергии в сети с точностью до участка между двумя приборами учёта или иными измерительными устройствами, иными словами, при помощи модели для анализа сети, показанной на рис. 1, становится возможным установить факт наличия неучтённого потребления электрической энергии в сети. Места возникновения неучтённого потребления при этом можно найти на основании имеющихся данных по методикам [13].

Таким образом, описанная модель эффективно функционирует при числе установленных приборов учёта, на единицу превышающем число потребителей.

Она может быть использована:

- при графическом представлении распределения электрического тока и мощности в электрических сетях класса напряжения 0,4 — 35 кВ;
- проведении анализа эффективности работы сетей;
- создании на базе модели методики для определения факта и места неучтённого потребления электрической энергии в распределительной сети.

Следует отметить, что модель предполагает анализ текущего состояния сети, в связи с чем особое внимание следует уделять одновременности снятия показаний приборов учёта и других устройств. Однако в целях оптимизации рекомендуется проводить снятие показаний со следующей частотой:

- для проведения периодического контроля — 1 раз в 12 ч;
- для подтверждения факта наличия неучтённого потребления — 1 раз в 3 мин. на протяжении 30 мин.

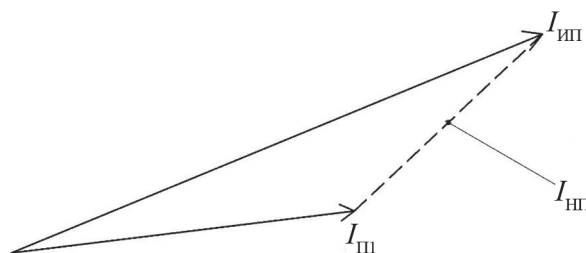


Рис. 6. Векторная диаграмма токов в сети:

$I_{ИП}$, $I_{П1}$, $I_{НП}$ — токи источника питания, потребителя № 1 и неучтённого потребления

Выводы

Для создания полной картины распределения электрического тока и мощности в сети со множеством точек потребления следует 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.

Следует отметить, что такое количество приборов (для учёта только на источнике питания и границе балансовой принадлежности с каждым из потребителей) является минимально возможным для функционирования описываемой модели. С увеличением числа устройств будет расти и точность получаемых данных. Вопрос обоснования числа измерительных устройств в сети рассмотрен в [19]. Например, для достижения максимальной эффективности модели для сети, изображенной на рис. 1, требуется установить дополнительно девять измерительных устройств в точках «1» — «9». Под данными точками предполагаются опоры воздушной линии, в таком случае точность предварительного определения места возникновения неучтённого потребления составит интервал воздушной линии между соседними опорами. В случае, когда учётом обеспечены только источник питания и конечные потребители, точность получаемых данных составит длину интервала линии между обоими приборами учёта (минимальный уровень точности).

Для сетей напряжением 6 — 35 кВ минимального уровня точности достаточно для использования модели в практических целях, ввиду того, что несанкционированное подключение к электрическим сетям такого класса на практике маловероятно, в связи с чем может быть сделан вывод о вероятном наличии факта хищения электроэнергии в точке установки прибора учёта (вмешательстве в схему подключения или в работу прибора учёта). Таким образом, при поиске точки возникновения неучтённого потребления на интервале между двумя приборами учёта для точного определения места возникновения неучтённого потребления требуется выполнить проверку корректности работы двух приборов учёта, что говорит о значительном повышении эффективности мероприятий по выявлению неучтённого потребления электроэнергии, применяемых электросетевыми компаниями (обход, проверка приборов учёта) за счёт направленного характера проверок.

Для сетей напряжением 0,4 кВ минимального уровня точности также достаточно для значительного повышения эффективности применения традиционных мероприятий по выявлению неучтённого потребления электроэнергии с тем отличием от сетей напряжением 6 — 35 кВ, что в сетях напряжением 0,4 кВ дополни-

тельно требуется выполнять проверку на наличие/отсутствие самовольного подключения к электрическим сетям непосредственно на воздушной линии, а также в других возможных точках на установленном интервале между двумя приборами учёта.

Следовательно, использование предлагаемой модели позволяет значительно повысить эффективность мероприятий по выявлению неучтённого потребления электрической энергии в распределительных сетях напряжением 0,4 — 35 кВ даже на имеющейся аппаратной базе (обеспеченность учётом источника питания и конечных потребителей), а дополнительные измерительные устройства увеличивают точность и уточняют цифровое представление сети.

Дооснащение электрических сетей дополнительными измерительными устройствами сбора и передачи информации о параметрах электрической энергии в точке их установки целесообразна в рамках организации автоматизированных информационно-измерительных систем контроля электрических сетей с целью создания в достаточной степени детализированных цифровых двойников. Применение созданной модели в рамках подобных систем позволит создать методику определения факта и места неучтённого потребления электрической энергии в распределительных сетях напряжением 0,4 — 35 кВ.

Измерение величины тока, напряжения и потребляемой активной мощности необходимо для вычисления активной и реактивной составляющих потребления электроэнергии. Учёт реактивной составляющей потребляемой полной мощности необходим для обеспечения достаточного уровня точности получаемых расчётным путём результатов ввиду низкого коэффициента мощности конечных потребителей в распределительных сетях номинальным напряжением 0,4 — 35 кВ (по разным оценкам он лежит в диапазоне 0,7...0,9).

Для того, чтобы изучить электрическую сеть на предмет наличия в ней коммерческих потерь, необходимо, чтобы учёт в данной сети осуществлялся по системе АИИС КУЭ [20] (или аналогичной) с целью обеспечения единовременной передачи показаний каждого из приборов учёта на анализ в единый центр обработки информации. Разработанная модель позволяет рассматривать сеть как целиком, так и каждый отдельный её фрагмент. Кроме того, в настоящее время активно развиваются удалённые Web-технологии для оптимизации и управления электрическими сетями [21], и описанная модель в будущем может быть положена в основу при создании коммерческих приложений по удалённому контролю за коммерческими потерями в распределительных электрических сетях напряжением 0,4 — 35 кВ.

Модель способствует установлению факта наличия или отсутствия в рассматриваемой сети неучтённого потребления электрической энергии, а также определения места возникновения такого потребления.

Данный факт устанавливается для каждого момента проведения измерения отдельно и свидетельствует о наличии/отсутствии утечек в сети 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 возникает 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.

Поскольку в электрических сетях напряжением 0,4 кВ величина токов утечки на землю является малой величиной, ей можно пренебречь. Тогда факт превышения разницей отдаваемых и потребляемых токов суммарной погрешности измерительных приборов станет свидетельством того, что в электрической сети присутствует неучтённое потребление электроэнергии.

В электрических сетях напряжением 6 — 35 кВ величиной тока утечки пренебрегать некорректно, однако данная величина может быть определена из необходимых для функционирования модели исходных данных. В этом случае факт превышения разницей отдаваемых и потребляемых токов суммарной погрешности приборов и величины тока утечки на землю в сети будет свидетельством того, что в электрической сети присутствует неучтённое потребление электроэнергии.

Литература

1. Viegas J.L., Esteves P.R., Vieira S.M. Clustering-based Novelty Detection for Identification of Non-technical Losses // Intern. J. Electrical Power and Energy Systems. 2018. V. 101. Pp. 301—310.
2. Messinis G.M., Hatziargyriou N.D. Unsupervised Classification for Non-technical Loss Detection // Proc. 20th Power Systems Computation Conf. 2018. Pp. 1—7.
3. Rodrigues A.C., Costa A.S., Issicaba D. Identification of Non-technical losses in Distribution Systems Via State Estimation and Geometric Tests // Proc. 7th Brazilian Electrical Systems Symp. 2018. Pp. 1—6.
4. Bezerra U.H., Soares T.M., Vieira J.P.A., Manito A.R.R., Paye J.C.H. Equivalent Operational Impedance: a New Approach to Calculate Technical and Non-technical Losses in Electric Distribution Systems // Ibid. Pp. 1—6.
5. **Электричество** стали воровать чаще [Электрон. ресурс] www.iz.ru/674956/mariia-nediuk/elektrichestvo-stali-vorovat-chashche (дата обращения 13.05.2021).
6. **ГОСТ 32144—2013**. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

Место неучтённого технологического присоединения может быть установлено с использованием информации о падениях напряжения на участках сети и о протекании неучтённого тока на участке сети. Участком называют промежуток сети между двумя учитываемыми ближайшими приборами учёта или другими приборами для измерения и контроля параметров электрической энергии.

Имея информацию о наличии/отсутствии небаланса в падениях напряжения на всех участках сети, следует найти участки с неучтённым потреблением электрической энергии. Затем, зная параметры участков (протяжённость, удельное активное и реактивное сопротивление линий), следует определить точку, в которой происходит неучтённое потребление. Упомянутая точка должна иметь два основных параметра, а именно: величину потребляемого тока и расстояние от начала участка.

В общем случае при наличии двух и более утечек в сети величина потребляемого тока не может быть найдена как конкретная величина, а будет задана диапазоном возможных значений тока неучтённого потребления на рассматриваемом участке. Диапазон значений протекаемого неучтённого тока может быть уточнён, а в некоторых случаях приведён к конкретному значению за счёт анализа добавочных падений напряжения на соседних относительно рассматриваемого участках и общего тока небаланса. При помощи полученных данных о токах неучтённого потребления на каждом из участков сети определяется расстояние от начала участка (началом участка считают его край со стороны питающей подстанции) до точки незаконного подключения. Это расстояние также может быть получено как диапазон значений.

References

1. Viegas J.L., Esteves P.R., Vieira S.M. Clustering-based Novelty Detection for Identification of Non-technical Losses. Intern. J. Electrical Power and Energy Systems. 2018;101:01—310.
2. Messinis G.M., Hatziargyriou N.D. Unsupervised Classification for Non-technical Loss Detection. Proc. 20th Power Systems Computation Conf. 2018:1—7.
3. Rodrigues A.C., Costa A.S., Issicaba D. Identification of Non-technical losses in Distribution Systems Via State Estimation and Geometric Tests. Proc. 7th Brazilian Electrical Systems Symp. 2018:1—6.
4. Bezerra U.H., Soares T.M., Vieira J.P.A., Manito A.R.R., Paye J.C.H. Equivalent Operational Impedance: a New Approach to Calculate Technical and Non-technical Losses in Electric Distribution Systems. Ibid:1—6.
5. **Elektrichestvo** Stali Vorovat' Chashche [Elektron. Resurs] www.iz.ru/674956/mariia-nediuk/elektrichestvo-stali-vorovat-chashche (Data Obrashcheniya 13.05.2021). (in Russian).
6. **GOST 32144—2013**. Elektricheskaya Energiya. Sovmestimost' Tekhnicheskikh Sredstv Elektromagnitnaya. Normy Kachestva Elektricheskoy Energii v Sistemakh Elektrosnabzheniya Obshchego Naznacheniya. (in Russian).

7. **Henriques H.O., Correa M.R.L.S.** Use of Smart Grids to Monitor Technical Losses to Improve Non-technical Losses Estimation // 7th Brazilian Electrical Systems Symp. 2018. Pp. 1—6.

8. **Rossoni A., Braunstein S.H., Trevizan R.D., Bretas A.S., Bretas N.G.** Contribution to Distribution Systems Technical and Non-technical Losses Estimation Using WLS State Estimator // IEEE Power and Energy Soc. General Meeting. 2018. Pp. 1—5.

9. **Ibrahim K.A., Au M.T., Gan C.K., Tang J.H.** System Wide MV distribution Network Technical Losses Estimation Based on Reference Feeder and Energy Flow Model // Intern. J. Electrical Power and Energy Syst. 2017. V. 93. Pp. 440—450.

10. **Chatterjee S., Archana V., Suresh K., Gupta R., Doshi F.** Detection of Non-technical Losses Using Advanced Metering Infrastructure and Deep Recurrent Neural Networks // Proc. 17th IEEE Intern. Conf. Environment and Electrical Eng. 2017. Pp. 1—6.

11. **Белый В.Б.** Модель процессов потребления электроэнергии коммунально-бытовым сектором в сельских электрических сетях // Энерго- и ресурсосбережение — XXI век: Материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 42—45.

12. **Цыгулев Н.И. и др.** Цифровизация электрических сетей АПК на платформе интернета энергии // Актуальные проблемы науки и техники: Материалы Национальной науч.-практ. конф. 2019. С. 327—328.

13. **Kazymov I, Kompaneets B.** Definition of Fact and Place of Losses in low Voltage Electric Networks // Proc. 2019 International Conf. Industrial Eng., Appl. and Manufacturing. 2019. Pp. 1—5.

14. **Иванов А.Г., Соколова В.Н.** Финансовые потери потребителей в связи с низким качеством электроэнергии // Sci. Time. 2014. № 11. С. 113—115.

15. **Kochneva E., Sukalo A.** Impact of Technical Losses Calculation Method on Bad Data Validation on the Basis of a Posteriori Analysis // Proc. IEEE Intern. Energy Conf. 2016. Pp. 1—6.

16. **Glauner P., Boechat A., Dolberg L., Rangoni Y., Duarte D.** Large-scale Detection of Non-technical Losses in Imbalanced Data Sets // Proc. IEEE Power and Energy Soc. Innovative Smart Grid Technologies Conf. 2016. Pp. 1—5.

17. **Ramos C.C.O., Souza A.N., Papa J.P., Falcão A.X.** Fast Non-technical Losses Identification Through Optimum-path Forest // Proc. 15th Intern. Conf. Intelligent System Appl. Power Systems. 2009. Pp. 1—5.

18. **Queiroz L.M.O., Lyra C.** Adaptive Hybrid Genetic Algorithm for Technical Loss Reduction in Distribution Networks Under Variable Demands // IEEE Trans. Power Systems. 2009. V. 24(1). Pp. 445—453.

19. **Казымов И.М., Компанец Б.С.** Методика определения требуемого числа устройств сбора и передачи информации для создания цифрового представления распределительной электрической сети низкого и

7. **Henriques H.O., Correa M.R.L.S.** Use of Smart Grids to Monitor Technical Losses to Improve Non-technical Losses Estimation. 7th Brazilian Electrical Systems Symp. 2018:1—6.

8. **Rossoni A., Braunstein S.H., Trevizan R.D., Bretas A.S., Bretas N.G.** Contribution to Distribution Systems Technical and Non-technical Losses Estimation Using WLS State Estimator. IEEE Power and Energy Soc. General Meeting. 2018:1—5.

9. **Ibrahim K.A., Au M.T., Gan C.K., Tang J.H.** System Wide MV distribution Network Technical Losses Estimation Based on Reference Feeder and Energy Flow Model. Intern. J. Electrical Power and Energy Syst. 2017;93:440—450.

10. **Chatterjee S., Archana V., Suresh K., Gupta R., Doshi F.** Detection of Non-technical Losses Using Advanced Metering Infrastructure and Deep Recurrent Neural Networks. Proc. 17th IEEE Intern. Conf. Environment and Electrical Eng. 2017:1—6.

11. **Belyy V.B.** Model' Protsestvov Potrebleniya Elektroenergii Kommunal'no-bytovym Sektorom v Sel'skikh Elektricheskikh Setyakh. Energo- i Resursosberezhenie — XXI Vek: Materialy XVII Mezhdunar. Nauch.-prakt. Konf. 2019:42—45. (in Russian).

12. **Tsygulev N.I. i dr.** Tsifrovizatsiya Elektricheskikh Setey APK na Platforme Interneta Energii. Aktual'nye Problemy Nauki i Tekhniki: Materialy Natsional'noy Nauch.-prakt. Konf. 2019:327—328. (in Russian).

13. **Kazymov I, Kompaneets B.** Definition of Fact and Place of Losses in low Voltage Electric Networks. Proc. 2019 International Conf. Industrial Eng., Appl. and Manufacturing. 2019:1—5.

14. **Ivanov A.G., Sokolova V.N.** Finansovye Poteri Potrebiteley v Svyazi s Nizkim Kachestvom Elektroenergii. Sci. Time. 2014;11:113—115. (in Russian).

15. **Kochneva E., Sukalo A.** Impact of Technical Losses Calculation Method on Bad Data Validation on the Basis of a Posteriori Analysis. Proc. IEEE Intern. Energy Conf. 2016:1—6.

16. **Glauner P., Boechat A., Dolberg L., Rangoni Y., Duarte D.** Large-scale Detection of Non-technical Losses in Imbalanced Data Sets. Proc. IEEE Power and Energy Soc. Innovative Smart Grid Technologies Conf. 2016:1—5.

17. **Ramos C.C.O., Souza A.N., Papa J.P., Falcão A.X.** Fast Non-technical Losses Identification Through Optimum-path Forest. Proc. 15th Intern. Conf. Intelligent System Appl. Power Systems. 2009:1—5.

18. **Queiroz L.M.O., Lyra C.** Adaptive Hybrid Genetic Algorithm for Technical Loss Reduction in Distribution Networks Under Variable Demands. IEEE Trans. Power Systems. 2009;24(1):445—453.

19. **Kazymov I.M., Kompaneets B.S.** Metodika Opredeleniya Trebuemogo Chisla Ustroystv Sborn i Peredachi Informatsii dlya Sozdaniya Tsifrovogo Predstavleniya Raspredelitel'noy Elektricheskoy Seti Nizkogo i Srednego

среднего уровня напряжений // Вестник НГИЭИ. 2021. № 1(116). С. 41—53.

20. **Ожегов А.Н.** Системы АСКУЭ. Киров: Изд-во ВятГУ, 2006.

21. **Тиньгаев А.В., Шевченко А.А.** Оптимизация протяжённости линий электропередач при подключении сельскохозяйственных потребителей с использованием WEB-технологий // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2018. № 4. С. 186—191.

Urovnya Napryazheniy. Vestnik NGIEI. 2021;1(116): 41—53. (in Russian).

20. **Ozhegov A.N.** Sistemy ASKUE. Kirov: Izd-vo VyatGU, 2006. (in Russian).

21. **Tin'gaev A.V., Shevchenko A.A.** Optimizatsiya Protyazhennosti Liniy Elektropredach pri Podklyuchenii Sel'skokhozyaystvennykh Potrebiteley s Ispol'zovaniem WEB-tehnologiy. Vestnik Altayskogo Gos. Agrarnogo Un-ta. 2018;4:186—191. (in Russian).

Сведения об авторах:

Казымов Иван Максимович — аспирант кафедры электрификации производства и быта Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, e-mail: bahek1995@mail.ru

Компанец Борис Сергеевич — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электрификации производства и быта Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, e-mail: kompbs@mail.ru

Information about authors:

Kazymov Ivan M. — Postgraduate of Electrification of Production and Life Dept., Polzunov Altai State Technical University, e-mail: bahek1995@mail.ru

Kompaneets Boris S. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor, Head of Electrification of Production and Life Dept., Polzunov Altai State Technical University, e-mail: kompbs@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 17.05.2021

The article received to the editor: 17.05.2021