

## ОБ ОЦЕНКЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10/0,4 КВ

© 2019 А. П. Преображенский, Ю. А. Клименко

*Воронежский институт высоких технологий (г. Воронеж, Россия)*

*В работе рассматриваются возможности оценки характеристик распределительных электрических сетей. Указана основная причина невыполнения норматива потерь. Отмечены основные данные для определения величины небаланса электрической энергии в распределительных сетях. Приведены составляющие технологических и технических потерь. В таблице приведены потери электроэнергии по различным видам электротехнического оборудования. Предлагается алгоритм, учитывающий различные виды потерь электроэнергии.*

*Ключевые слова: распределительная сеть; потери; электроэнергия.*

Электрические сети 10/0,4 кВ являются основной составляющей в системе передачи и распределении электроэнергии потребителям и составляют большую часть от общей протяженности всех видов электрических сетей.

От надежности работы сетей 10/0,4 кВ и величины их загрузки, главным образом, зависят бесперебойность поставок и обеспечение качества электроэнергии в энергоснабжении потребителей, а от достоверности расчетов технологических потерь в распределительных сетях 10/0,4 кВ напрямую зависит величина выявления коммерческих потерь [1].

Расчет потерь электроэнергии (ЭЭ) в распределительных сетях 10/0,4 кВ является процессом сложным и трудоемким, что связано с особенностями распределительных сетей:

- большим объемом информации;
- низкой достоверностью информации;
- большой протяженностью и разветвленностью;
- динамическими изменениями схемных и режимных параметров;
- многообразием исполнения;
- несимметричностью нагрузки фаз;
- изменением фазных напряжений.

В текущий период времени, проблеме анализа потерь электроэнергии и подготовке мероприятий по их сокращению, уделяется особое внимание при проведении различных исследовательских работ в этой области, что

требует более активного поиска инновационных решений и подходов.

Проводя анализ изменений показателей нормативных и фактических потерь в распределительных электрических сетях ПАО «МРСК Северо-Запада» с 2013 по 2018 гг., убеждаемся, что уровень утвержденных нормативных потерь и уровень фактических потерь электроэнергии каждый год изменяется незначительно от показателей предыдущих лет [2].

Главной проблемой выполнения норматива потерь электроэнергии является наличие коммерческой составляющей общих потерь электроэнергии. Существование коммерческой составляющей потерь электроэнергии, очень часто, объясняют хищениями электроэнергии потребителями. Но, на самом деле, немалая часть коммерческих потерь обусловлена неправильным применением расчёта технологических потерь электроэнергии и невозможностью одновременного снятия показаний приборов учёта у всех потребителей.

В настоящее время, сбор данных для определения потерь в территориальных сетевых организациях осуществляется снятием показаний приборов учёта электроэнергии путем обхода электромонтёрами (контроллерами) бытовых абонентов и юридических лиц. При этом не всегда персоналу удается снять показания приборов учёта, по причине невозможности пройти на территорию потребителя по различным причинам (закрытый вход, отсутствие потребителя, наличие охраны, домашних животных). Поэтому электроэнергия, потребленная этими абонентами, причисляется к потерям электроэнергии в распределительных сетях.

---

Преображенский Андрей Петрович – Воронежский институт высоких технологий, д. т. н., профессор, app@vivt.ru.

Клименко Юрий Алексеевич – Воронежский институт высоких технологий, аспирант, klm71165@mail.ru.

Это положение дел очень сказывается на точности определения объёма полезного отпуска электроэнергии и не соответствует фактическому потреблению, что приводит к существенному небалансу электроэнергии в распределительных электрических сетях.

Для определения величины небаланса электрической энергии по сетям необходимы следующие исходные данные:

- схема электрической сети 10/0,4 кВ;
- паспортные данные участков сети и трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ;
- классы точности приборов измерительных комплексов и показания счетчиков электроэнергии, установленных:
  - на головных участках линий 10 кВ;
  - на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ;
  - на головных участках линий 0,38 кВ (если такой учет есть);
  - у абонентов, подключенных к сети 10 кВ и 0,4 кВ [3,8].

Технологические потери электроэнергии, представленные на рисунке 1, при ее передаче по электрическим сетям территориальных сетевых организаций (ТСО) включают в себя:

- технические потери в линиях и оборудовании электрических сетей, обусловленных физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии в соответствии с техническими характеристиками и режимами работы линий и оборудования;
- потери, обусловленные расходом электроэнергии на собственные нужды подстанций;
- потери, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета электроэнергии.

Расчёт объёма технологических потерь электроэнергии производится в целях определения норматива технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям.



Рисунок 1. Технологические потери сетях 10/0,4 кВ района электрических сетей (РЭС) территориальных сетевых организаций (ТСО).

Суммируя количество приборов учета (электросчетчики, ТТ, ТН) потребителей в сетях 10 / 0,4 кВ района электрических сетей (РЭС) получаем значительные по объёму, но не учитываемые как технологические, потери электроэнергии по причине юридической принадлежности приборов учета (ПУ) потребителям на основании актов балансового разграничения ответственности сторон. Возникает ситуация, когда они попадают в разряд коммерческих потерь.

Причина возникновения потерь в системе учета электроэнергии (трансформаторах тока, трансформаторах напряжения, счетчиках и соединительных проводах) электроэнергии заключается в конструктивной особенности электросчётчиков, когда незначительное количество электроэнергии расходуется на приведение в действие механических, электрических и электронных частей прибора учёта (электромагнитная индукция, трение, нагрев элементов и соединений электрических схем, шаговые двигатели, электронные табло и светодиодная индикация).

Основными параметрами электросчётчика, влияющими на внутреннее энергопотребление, являются:

- активная мощность (полная мощность), потребляемая счетчиком по цепи напряжения при номинальном напряжении, нормальной температуре, номинальной частоте;
- полная мощность, потребляемая счетчиком по цепи тока при нормальной температуре и номинальной частоте;
- стартовый ток для счетчиков с определённым базовым током [5].

Например, электронный счётчик «Меркурий 201.2» имеет следующие характеристики:

- активная мощность (полная мощность) составляет 2 (10) Вт (В\*А);
- стартовый ток с базовым током 5А составляет - 20 (мА) [4].

Соответственно, стартовая полная мощность, при которой осуществляется учёт электроэнергии, определяется по формуле:

$$P_{ст.полн.} = I_{ст.} \cdot U = 0,02 \cdot 220 = 4,4 \text{ В}\cdot\text{А} \quad (1)$$

где  $P_{ст.полн.}$  — полная стартовая мощность;  $I_{ст.}$  — стартовый ток;

$U$  — электрическое напряжение в сети,

Стартовая активная мощность, с учётом коэффициента мощности, определяется по формуле:

$$P_{ст.акт.} = I_{ст.} \cdot U \cdot \cos\varphi = 0,02 \cdot 220 \cdot 0,86 = 3,784 \quad (2)$$

где,  $P_{ст.акт.}$  — активная стартовая мощность, Вт;

$I_{ст.}$  — стартовый ток, мА;

$U$  — электрическое напряжение в сети, В;

$\cos \varphi$  — коэффициент мощности (среднее значение).

Активная (полная) мощность, потребляемая цепью напряжения  $P_{ц.н. акт.}$  составляет 2 Вт, что почти в два раза меньше расчётной стартовой мощности  $P_{ст. акт.}$  равной 3,784 Вт, при которой электрический счётчик ведет учёт потребления энергии, и соответственно, не учитывается счётным механизмом прибора учёта:

$$P_{ц.н..акт.} < P_{ст.акт.} \quad (3)$$

Можно определить количество электроэнергии, потребляемую данным электросчётчиком за сутки, месяц или год, используя формулу:

$$W_{ц.н..акт. год} = P_{ц.н..акт.} \cdot T_{сут.} \cdot T_{год} \quad (4)$$

где,  $P_{ц. н. акт. год.}$  — общая мощность, потреблённая электросчётчиком за год, Вт;

$P_{ц. н. акт.}$  — мощность, потреблённая электросчётчиком за час, Вт;

$T_{сут.}$  — количество часов в сутках, час;

$T_{год.}$  — количество дней календарного года, день.

Определяем объём электроэнергии, потреблённый электронным счётчиком «Меркурий 201.2» за один календарный год:

$$W_{ц.н..акт. год} = 2 \cdot 24 \cdot 365 = 17520 \text{ Втч} \quad (5)$$

В распределительной электрической линии 0,4/10 кВ подключен не один прибор учёта, а десятки, сотни, и даже тысячи приборов учёта, из чего следует, что головной счётчик, определяющий отдачу электроэнергии в линию, регистрирует суммарную потребляемую мощность приборов учёта всех потребителей. Видим, что объём электроэнергии, отданной в линию, не соответствует объёму электроэнергии, регистрируемой у потребителей. Явным образом присутствует небаланс электроэнергии в распределительной сети.

Аналогичная ситуация обстоит с потерями в измерительных трансформаторах тока и измерительных трансформаторах напряжения.

Поэтому потери электроэнергии в электрических счетчиках 0,22-0,66 кВ, измерительных трансформаторах тока, измерительных трансформаторах напряжения должны приниматься в соответствии с данными заводов-изготовителей оборудования. При отсутствии данных завода-изготовителя рас-

четные потери принимаются в соответствии с Инструкцией по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям (утв. приказом Минэнерго РФ от 30 декабря 2008 г. N 326) [4].

Потери электроэнергии в электрических счетчиках прямого включения 0,22-0,66 кВ принимаются в соответствии со следующими данными, кВт\*ч в год на один счетчик:

- однофазный, индукционный - 18,4;

- трехфазный, индукционный - 92,0;

- однофазный, электронный - 21,9;

- трехфазный, электронный - 73,6 [3].

Произведём примерный расчёт не учитываемых потерь N-го РЭС по формуле:

$$W_{потерь сч.} = \sum W_{о.ф.и.} + \sum W_{о.ф.э.} + \sum W_{т.ф.и.} + \sum W_{т.ф.э.} \quad (6)$$

где,  $W_{потерь сч.}$  — общая мощность потерь в ПУ РЭС, кВтч;

$W_{о. ф. и.}$ ,  $\sum W_{о. ф. э.}$ ,  $\sum W_{т. ф. и.}$ ,  $\sum W_{т. ф. э.}$  — суммарные мощности потерь однофазных индукционных, однофазных электронных, трехфазных индукционных, трехфазных электронных ПУ соответственно, кВтч:

$$\sum P_{о.ф.и.} = n \cdot T_{сут.} \cdot T_{год} \quad (7)$$

$$\sum W_{о.ф.э.} = n \cdot T_{сут.} \cdot T_{год} \quad (8)$$

$$\sum W_{т.ф.и.} = n \cdot T_{сут.} \cdot T_{год} \quad (9)$$

$$\sum W_{т.ф.э.} = n \cdot T_{сут.} \cdot T_{год} \quad (10)$$

где,  $n$  — количество ПУ;

$W_{о. ф. и.}$ ,  $W_{о. ф. э.}$ ,  $W_{т. ф. и.}$ ,  $W_{т. ф. э.}$  — мощность потерь одного однофазного индукционного, однофазного электронного, трехфазного индукционного, трехфазного электронного ПУ соответственно, кВтч;

$T_{сут.}$  — количество часов в сутках, час;

$T_{год.}$  — количество дней календарного года;

Потери электроэнергии N-го РЭС в электрических счетчиках прямого включения 0,22-0,66 кВ составят 492400 кВт\*ч в год или 41033 кВт\*ч в месяц. А если учесть потери в счётчиках трансформаторного включения, ТТ, ТН по 0,4 кВ и 10 кВ? Количество потерь еще больше возрастёт.

В работе предлагается опираться на алгоритм, представленный на рисунке 2, учитывающий расчетные методы анализа баланса электроэнергии, точный учет отдачи электроэнергии и переданной (потреблённой) электроэнергии, выбор наиболее соответствующих мероприятий, направленных на снижение технологических и коммерческих потерь электроэнергии.

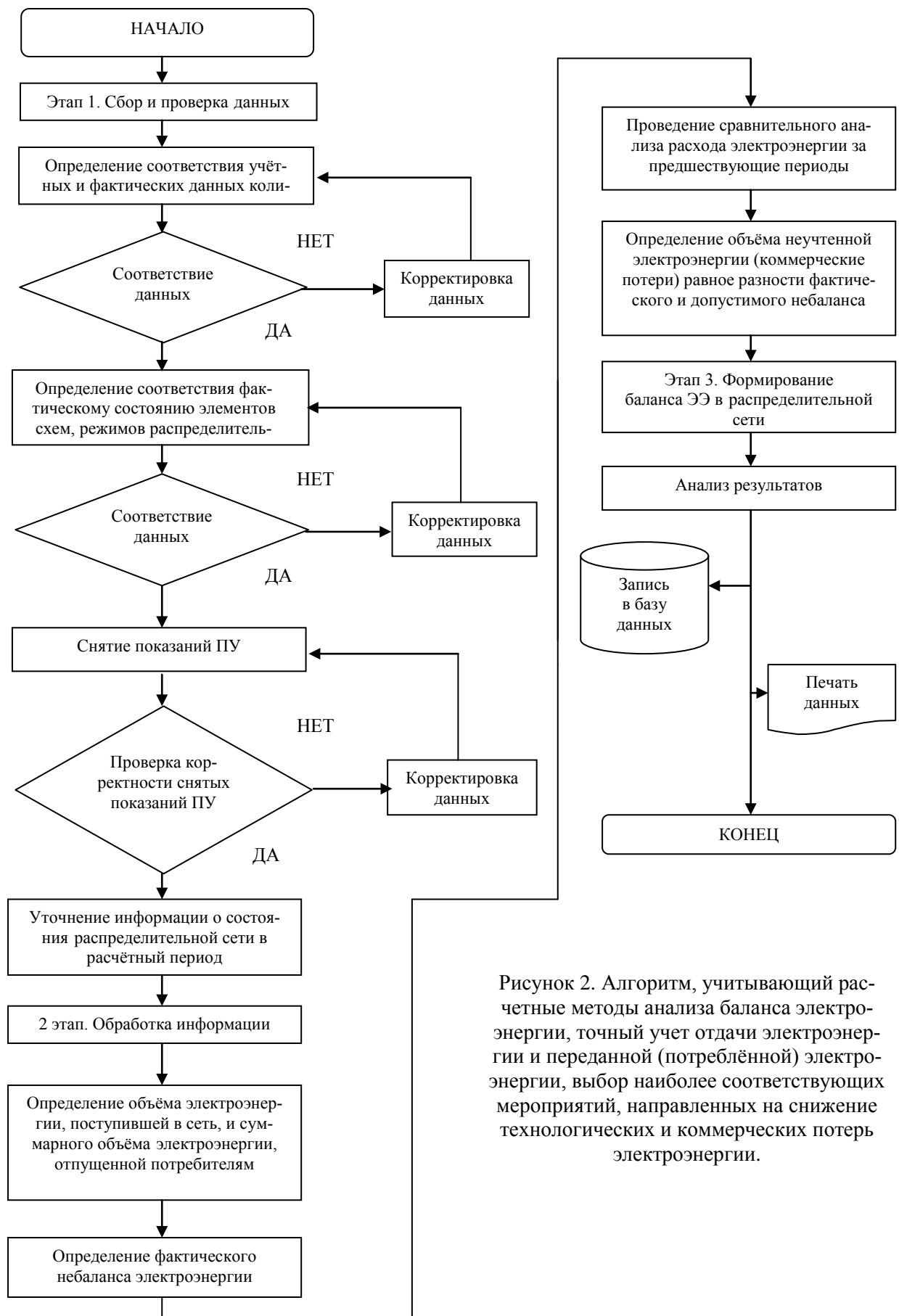


Рисунок 2. Алгоритм, учитывающий расчетные методы анализа баланса электроэнергии, точный учет отдачи электроэнергии и переданной (потребленной) электроэнергии, выбор наиболее соответствующих мероприятий, направленных на снижение технологических и коммерческих потерь электроэнергии.

### 1. Сбор и проверка данных:

- определение соответствия учётных и фактических данных количества приборов учёта потребителей;

- определение соответствия фактическому состоянию элементов схем, режимов распределительной сети;

- снятие показаний приборов учёта потребителей (АСКУЭЭ, обходы персонала), систем учёта подстанций и ТП на время окончания расчётного периода;

- контроль корректности снятых показаний приборов учёта и их уточнение;

- уточнение информации о состоянии распределительной сети в расчётный период.

### 2. Обработка информации:

- определение объёма электроэнергии, поступившей в сеть, и суммарного объёма электроэнергии, отпущенной потребителям по каждой подстанции, ВЛ-10 кВ, ТП 10/0,4 кВ, ВЛ-0,4 кВ, приборов учёта потребления электроэнергии потребителей;

- определение фактического небаланса электроэнергии, равный разности между расчётным и фактическим потреблением;

- проведение сравнительного анализа расхода электроэнергии по каждой подстанции, ВЛ-10 кВ, ТП 10/0,4 кВ, ВЛ-0,4 кВ, приборов учёта потребления электроэнергии потребителей за предшествующие периоды;

- определение объёма неучтенной электроэнергии (коммерческие потери) равное разности фактического и допустимого небаланса.

### 3. Формирование баланса электроэнергии в распределительной сети:

- анализ результатов формирования баланса электроэнергии;

- регистрация результатов анализа баланса электроэнергии в электронной базе данных;

- печать результатов анализа баланса электроэнергии на бумажных носителях информации.

Для точного составления баланса электроэнергии и правильного определения всех его составляющих, большую роль играет использование автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), которые позволяют одновременно решать ряд различных проблем: снятие показаний счетчиков, контроль состояния объектов электрохозяйства, контроль параметров качества электроэнергии, контроль мощности в сети, расчет балансов и технических потерь электроэнергии, выяв-

ление в топологии сети мест несанкционированных подключений в распределительной электрической сети [6].

Авторами данной работы предлагается учитывать в алгоритмах расчета потерь электроэнергии понятие «интеллектуальная система учета электрической энергии (мощности)», введенное во вступившем в действие Федеральным законом от 27 декабря 2018 года № 522-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации». С 1 июля 2020 года гарантирующий поставщик (в отношении многоквартирных домов) и сетевая организация (в отношении иных потребителей) будут обязаны за свой счет приобретать, производить установку, замену, допуск в эксплуатацию, а так же контролировать работоспособность приборов учета электрической энергии [7]. Правила предоставления доступа к минимальному набору функций новой системы определит Правительство РФ.

Вывод. Предлагаемый в работе подход может быть полезен для территориальных сетевых организаций, для того, чтобы было точное сведение балансов электроэнергии в распределительных сетях 10/0,4 кВ. При этом необходимо уделять внимание проведению мероприятий по уточнению расчётов технологических потерь и внедрению автоматизированных систем учета электроэнергии, что, в конечном счёте, приведёт к снижению коммерческой составляющей потерь электроэнергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воротницкий, В. Э. Структура коммерческих потерь электроэнергии и мероприятия по их снижению / В. Э. Воротницкий, М. А. Калинин. – М., 2000. – 11 с.

2. Информация об уровне нормативных потерь на текущий период с указанием источника опубликования решения об установлении уровня нормативных потерь (форма 4 абз.8 п.11"б" ПП РФ № 24 от 21.01.2004) и информация о размере фактических потерь (форма 8 абз.11 п.11"б" ПП РФ № 24 от 21.01.2004) ПАО "МРСК Северо-Запада" за 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 годы [Электронный источник] / <http://www.mrsksevzap.ru> / (дата обращения 15.02.2019).

3. Железко, В. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в элек-

трических сетях: Руководство для практических расчётов / В. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2005. – 280 с.

4. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. N 326 "Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям". Зарегистрировано в Минюсте РФ 12 февраля 2009 г. Регистрационный N 13314 [Электронный источник] / <http://www.garant.ru/> (дата обращения 5.02.2019).

5. Счётчик ватт-часов активной энергии переменного тока электронный "Меркурий 201". Паспорт АВЛГ.411152.023 ПС [Электронный источник] / <http://www.incotex.com> / (дата обращения 15.02.2019).

6. Колгин, В. Внедрение АСКУЭ – эффективный путь снижения коммерческих

потерь в сетях электроснабжения 0,4кВ / В. Колгин, А. Сапронов, И. Польшин // Электронные компоненты. – 2005. – №8. – С. 37-42.

7. Федеральный закон от 27 декабря 2018 г. № 522-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации» // Российская газета – Федеральный выпуск №7758 (295), 29 декабря 2018 г.

8. Заслонов, С. В., Калинкина М. А., Паринов И. А. // Сб. докладов III спец. науч.-техн. семинара «Современные методы и программные средства. Развитие методического и программного обеспечения для расчета балансов электрической энергии в распределительных сетях / анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии» 23-27 мая 2005 г.

## **ABOUT THE EVALUATION OF ENERGY LOSSES IN DISTRIBUTION NETWORKS OF 10/0,4 KV**

**© 2019 A. P. Preobrazhenskiy, Yu. A. Klimenko**

*Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)*

*The paper discusses the possibility of assessing the characteristics of distributed electrical networks. The main reason of non-performance of the standard of losses is specified. The basic data for determining the value of the unbalance of electric energy in the networks are noted. The components of technological and technical losses are given. The table shows the loss of electricity in the valve dischargers, surge protectors, measuring current and voltage transformers and RF connection devices. An algorithm that takes into account different types of power losses is proposed.*

*Key words: distribution network; losses; electricity.*