

ЗАДАЧА ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ К ТАРИФАМ НА ПЕРЕДАЧУ

Рассматривается метод распределения потерь между узлами отпуска электрической энергии из сети на основе режима распределения потоков электроэнергии. В основе подхода лежат уравнения баланса для узлов и ветвей расчетной схемы, которые записываются для потоков и потерь электроэнергии. Метод позволяет получить распределение потерь, аналогичное методу коэффициентов адресности. На основе распределенных потерь вводятся поправочные коэффициенты к тарифу на передачу, стимулирующие потребителей к снижению потерь.

Ключевые слова: тарифы на передачу электроэнергии, потери электроэнергии, энергораспределение, балансовая задача, поправочные коэффициенты.

ВВЕДЕНИЕ

Обзор литературы показал большое разнообразие в подходах стран к формированию тарифов на передачу электрической энергии (ТПЭ) на основе различных технических показателей. Наиболее общие черты связаны с дифференциацией ТПЭ по уровням напряжения, с раздельной оплатой электрической энергии (ЭЭ) и мощности, с оплатой потерь ЭЭ [1-3]. Дополнительными оплачиваемыми показателями в различных странах могут быть реактивная энергия (мощность), географическая удаленность потребителей, время суток или сезонов года, форма графика нагрузки, показатели надежности и качества электроснабжения. Отчетные потери ЭЭ являются главным режимным показателем, на который электросетевая организация (ЭСО) может оказывать влияние и снижать стоимость передачи ЭЭ. Для снижения потерь ЭЭ необходимо создать для потребителей финансовые стимулы в рамках тарифной модели. В настоящей статье это делается за счет введения поправочных коэффициентов к ТПЭ, учитывающих выравнивание потребителем графика своей нагрузки (снижение коэффициента формы), снижение потребления реактивной энергии (снижение коэффициента мощности). Первоочередной проблемой при этом является выделение из общей величины потерь той доли, которая связана с электроснабжением конкретного потребителя.

Проблеме распределения стоимости услуг на передачу и распределения потерь в схеме сети посвящено множество работ, например [4-9]. Согласно [4] методы формирования ТПЭ делятся на две основные группы. В иностранной литературе первая группа методов определяется как «метод почтовой марки», а в отечественной литературе получил распространение термин «котловой» метод тарифообразования. Этот метод достаточно прост, но он не чувствителен к удаленности потребителей и к направлениям передачи ЭЭ. В России данный метод применяется для выравнивания ТПЭ на территории каждого субъекта. Во вторую группу входит метод МВт-милли и метод МВА-км [5-7]. Эти ме-

тоды учитывают расстояние при оплате транспорта ЭЭ. Более сложные и трудоемкие методы используют результаты потокораспределения и принцип трассировки (адресности) для рассчитанного режима работы сети [8, 9]. Считается, что это обеспечивает более справедливое ценообразование. Основным принцип, используемый в методах адресности, это распределение затрат (потерь) на графе сети пропорционально потокам мощности [8]. Настоящая методика развивает этот принцип. Основу подхода, связывающего технические и экономические параметры, образует модель энерго-стоимостного распределения (ЭСР) [10, 11]. Подход позволяет представить процесс передачи ЭЭ в виде двух взаимосвязанных транспортно-балансовых задач на графе электрической сети: распределение потоков электрической энергии и потоков стоимости. Основу технологической подсистемы образует модель энергораспределения (ЭР), которая позволяет рассчитывать распределение потоков и потерь ЭЭ для каждого элемента схемы сети, опираясь на измерения ЭЭ [12-14]. Экономическая подсистема модели позволяет рассчитать распределение потоков стоимости на той же схеме сети и определить полную и удельную стоимость передачи ЭЭ до любой точки сети, опираясь на режим энергораспределения [10,11].

В соответствии с моделью ЭСР [10] в элементные стоимости узлов и ветвей закладывается стоимость содержания и стоимость потерь ЭЭ. Элементная стоимость потерь ЭЭ определяется путем умножения элементных потерь ЭЭ на тариф, применяемый для компенсации потерь. Элементные стоимости, включающие стоимость потерь, транслируются до узлов отпуска ЭЭ или узлов потребления на основе режима энергораспределения. В данной статье принцип распределения затрат модели ЭСР использован и для распределения самих потерь ЭЭ между узлами потребления на основе расчета потокораспределения потерь.

ЗАДАЧА ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ

Используя принципы модели ЭСР, можно распределять между узлами отпуска различные типы потерь электроэнергии (мощности), и все определяется только тем, как будут сформированы значения элементных

потерь. В качестве элементарных потерь целесообразно использовать технические потери ЭЭ каждого элемента схемы сети, которые являются расчетными величинами. Если элементарные потери будут равны полным техническим потерям каждого элемента, то между узлами отпуска будут распределены технические потери. Если элементарные потери сформировать только на основе нагрузочных потерь, то распределены будут чисто нагрузочные потери. Если элементарные потери сформировать на основе «шунтовых» (постоянных) потерь, то они и будут распределены.

Модель потокораспределения потерь ЭЭ, по аналогии с моделью ЭСР, будет содержать две системы балансовых уравнений. Первая система определяет условия баланса ЭЭ в ветвях и узлах сети, то есть является моделью энергораспределения (ЭР). Вторая система содержит уравнения баланса для ветвей и узлов, записанные относительно потерь.

БАЛАНСОВАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ЭЭ (МОДЕЛЬ ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ)

Основу математической модели ЭР образуют уравнения балансов ЭЭ, которые можно записать для всех N узлов и всех M ветвей схемы замещения электрической сети [12, 13]. В данной статье уравнения балансов будут записываться только относительно потоков активной ЭЭ. Такое допущение в рамках рассматриваемой задачи вполне оправдано, так как в соответствии с действующими нормативными документами при оплате услуг на передачу ЭЭ в РФ учитывается только активная ЭЭ (мощность).

Каждое уравнение узлового баланса ЭЭ определяет, что нулю равна сумма потоков ЭЭ W_{ij} по всем смежным узлу i ветвям из множества ω_i , узлового потока ЭЭ W_i и шунтовых потерь ЭЭ ΔW_i узла i :

$$\sum_{j \in \omega_i} W_{ij} + W_i + \Delta W_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Вторая группа уравнений задачи ЭР относится к балансам ЭЭ в ветвях схемы. Для каждой из M ветвей сумма потоков ЭЭ в начале ветви W_{ij} , в конце ветви W_{ji} и продольных (нагрузочных) потерь ЭЭ ΔW_{ij} данной ветви равна нулю

$$W_{ij} + W_{ji} + \Delta W_{ij} = 0, \quad ij = 1, 2, \dots, M. \quad (2)$$

В уравнениях баланса ЭЭ для узлов и для ветвей присутствуют технические потери ЭЭ ΔW_i и ΔW_{ij} , которые рассчитываются по известным выражениям [14]. При этом необходимо так сформировать расчетную схему замещения электрической сети, чтобы она корректно учитывала потери ЭЭ в продольных и поперечных элементах схемы замещения.

БАЛАНСОВАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЭ

Балансовая модель распределения потерь ЭЭ предполагает, что произведен расчет режима ЭР и распределение нагрузочных и шунтовых потерь между элементами схемы известно. Как и в технологической модели ЭР элементами схемы являются узлы, ассоциируемые с электрическими станциями / подстанциями,

и ветви, ассоциируемые с линиями электропередачи/трансформаторами.

Далее элементарные потери узлов ΔW_i и ветвей ΔW_{ij} транслируются (переносятся) на последующие элементы схемы сети в соответствии с путями протекания потоков ЭЭ, начиная от узлов поступления ЭЭ в сеть и заканчивая узлами отпуска ЭЭ из сети, каскадно поглощая все встречающиеся на своем пути элементарные потери последующих элементов схемы. При этом на каждом элементе схемы формируются новые величины, называемые «потокосовые потери» узлов ∇W_i и ветвей ∇W_{ij} . Данные потокосовые потери являются условными математическими величинами и в отличие от элементарных потерь ΔW_i и ΔW_{ij} не связаны с физикой возникновения потерь ЭЭ. Используя элементарные и потокосовые потери, распределение ответственности нагрузочных узлов за потери можно представить в виде транспортно-балансовой задачи, в виде потоков потерь на схеме сети, то есть в виде задачи потокораспределения потерь.

Потокораспределение потерь в схеме электрической сети можно описать системой балансовых уравнений. Каждое уравнение узлового баланса определяет, что нулю равна сумма всех втекающих и вытекающих из узла потоков потерь, то есть узлового потока потерь ∇W_i и всех потоков потерь ∇W_{ij} по смежным ветвям множества ω_i :

$$\sum_{j \in \omega_i} \nabla W_{ij} + \nabla W_i + \Delta W_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

Кроме того, в уравнении узлового баланса присутствует величина узловых элементарных потерь ΔW_i узла i , то есть это шунтовые потери данного узла. Аналогично можно записать уравнения баланса для потоков потерь для всех M ветвей схемы. Сумма потоков потерь в начале ветви ∇W_{ij} и в конце ветви ∇W_{ji} равна элементарным потерям данной ветви ΔW_{ij} . Для всех M ветвей уравнения баланса потерь ЭЭ можно представить в следующем виде:

$$\nabla W_{ij} + \nabla W_{ji} - \Delta W_{ij} = 0, \quad ij = 1, 2, \dots, M. \quad (4)$$

При этом потокосовые потери в конце ветви больше, чем вначале из-за добавления элементарных (нагрузочных) потерь ветви, а поток ЭЭ, наоборот, в конце меньше, чем вначале из-за наличия этих потерь. В связи с тем, что элементарные потери всех ветвей положительны, в уравнениях баланса для ветвей перед ними ставится знак «минус». Этим потокораспределение потерь отличается от потокораспределения ЭЭ, так как в каждой ветви поток ЭЭ вначале больше, чем в конце, а потокосовые потери, наоборот, вначале меньше, чем в конце.

Сопоставление балансовых уравнений для потоков ЭЭ (1) и (2) с балансовыми уравнениями для потоков потерь (3) и (4) показывает их структурную схожесть. Для обоих процессов выполняются условия узловых и линейных балансов, то есть сумма втекающих в узел и ветвь потоков энергии и потоков потерь равна сумме вытекающих потоков.

Для формирования системы уравнений задачи потокораспределения потерь необходимо установить

связь между потоками ЭЭ и потоками потерь. Эта связь определяется тем, что сумма втекающих в узел потоковых потерь полностью переходит в потоковые потери смежных ветвей вытекания пропорционально вытекающим потокам ЭЭ, то есть используется принцип деления потерь пропорционально потокам ЭЭ [8].

Потоковые потери ∇W_{ij}^- любой ветви отпуска ЭЭ (вытекания), смежной узлу i , определяется выражением:

$$\nabla W_{ij}^- = - \frac{W_{ij}^-}{\sum_{j \in \beta_i} W_{ij}^-} \left(\sum_{j \in \alpha_i} \nabla W_{ij}^+ + \Delta W_{ij} \right), \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, M,$$

где множества β_i и α_i определяют список ветвей отпуска «-» и приема «+» ЭЭ для узла i .

В первой круглой скобке (5) присутствует доля ЭЭ ветви ij по отношению к суммарной вытекающей ЭЭ из узла i . Во второй круглой скобке (5) присутствует сумма потоковых потерь по всем ветвям приема ЭЭ,

а также элементные потери узла i . Использование (5) обеспечивает распределение потерь в схеме сети аналогично адресному подходу [8, 9]. Решение системы линейных уравнений (3)-(5) позволяет получить потокораспределение потерь в схеме сети и тем самым распределить полные потери между узлами нагрузки. При этом отсутствует необходимость расчета матрицы коэффициентов адресности.

Далее приводится пример распределения технических потерь ЭЭ между нагрузочными узлами на основе описанной балансовой модели. На **рис. 1, а** представлен рассматриваемый в [11] фрагмент электрической сети с нанесенными на схему сети расчетными потоками ЭЭ и потерями ЭЭ, полученными на этапе расчета энергораспределения. Все расчетные потоки и потери ЭЭ являются сбалансированными, то есть для них выполняются уравнения баланса ЭЭ (1) и (2) с учетом знаков. Распределение технических потерь между нагрузочными узлами осуществляется на основе режима энергораспределения, представленного на **рис. 1, а**.

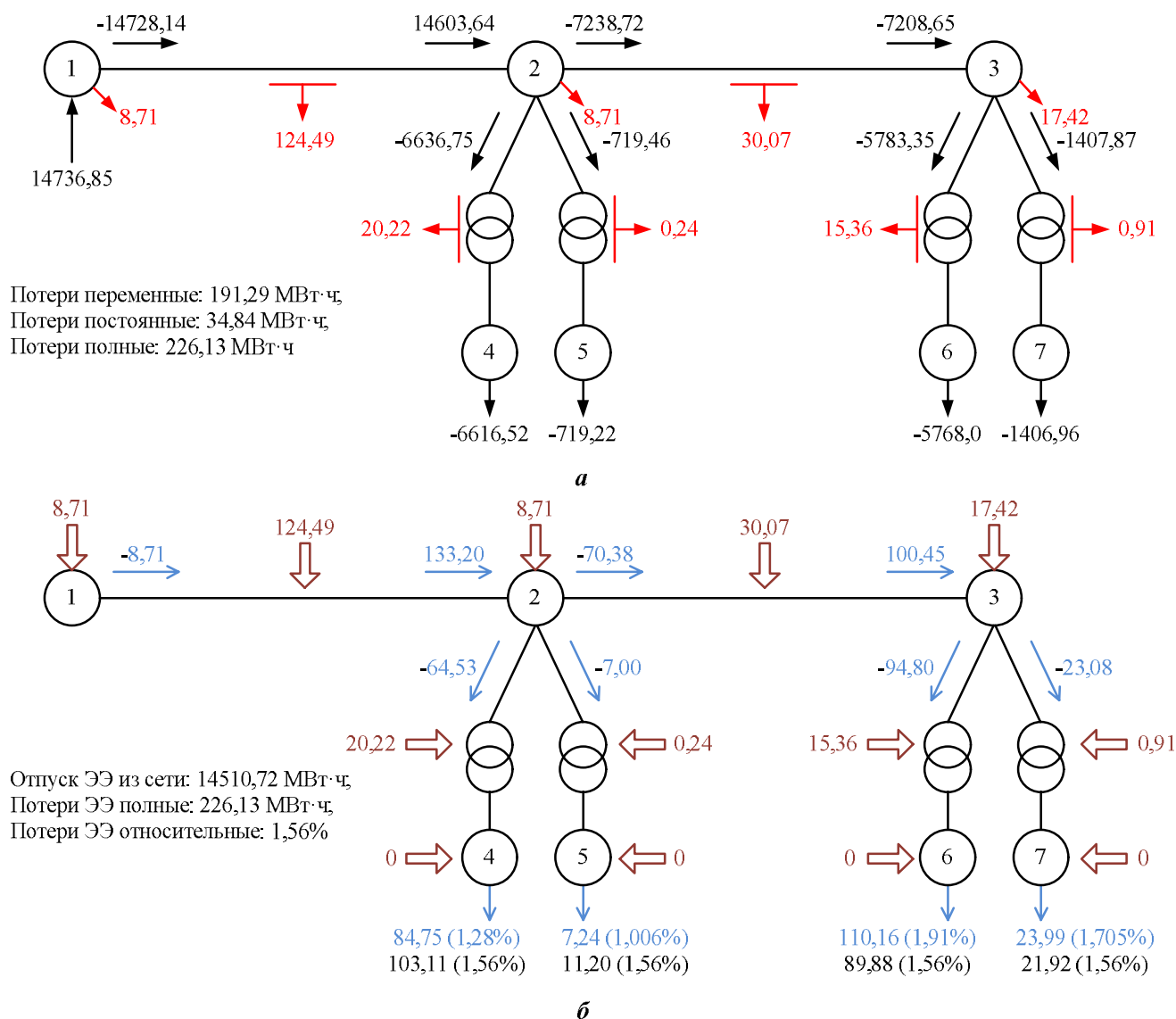


Рис. 1. Распределение на схеме электрической сети: а – расчетных потоков ЭЭ и потерь ЭЭ (МВт·ч); б – элементных потерь, потоковых потерь (МВт·ч)

На **рис. 1, б** приведены результаты расчета потоко- распределения потерь на основе описанной балансовой

модели (3)–(5). Фигурными стрелками обозначены элементные технические потери ЭЭ для всех узлов и всех ветвей расчетной схемы, которые совпадают с расчетными потерями **рис. 1, а**. Для потоков ЭЭ (**рис. 1, а**) и потоков потерь (**рис. 1, б**) принято следующее правило: втекающие в узел потоки положительны, а вытекающие из узла потоки отрицательны. Это правило позволяет не задавать положительные направления для ветвей при формировании балансовых уравнений для потоков ЭЭ и потоков потерь.

Обычными стрелками на **рис. 1, б** обозначены потоковые потери ЭЭ. Поточковые потери ЭЭ в нагрузочных узлах 4–7 определяют распределение суммарных технических потерь 226,13 МВт·ч между узлами потребления. Потерям ЭЭ, распределенным между узлами отпуска, целесообразно поставить в соответствие термин «отпускные потери» $\Delta W_{pi}^{отп}$. На **рис. 1, б** отпускные потери расположены непосредственно под нагрузочными узлами (верхние значения). Сумма всех расчетных отпускных потерь равна суммарным техническим потерям 226,13 МВт·ч.

На **рис. 1, б** также приведены значения узловых потерь $\Delta W_{pi}^{\%}$, которые были получены путем распределения суммарных потерь пропорционально нагрузке каждого узла на основе среднего значения относительных потерь ЭЭ, которое составляет $226,13 / 14510 = 1,56 \%$. Такое распределение потерь в России применяется на практике для осуществления оплаты потерь ЭЭ. Оно не учитывает ни удаленность потребителя, ни режим работы сети. Значения потерь $\Delta W_{pi}^{\%}$, распределенных на основе относительной величины потерь в 1,56 %, расположены под значениями отпускных потерь $\Delta W_{pi}^{отп}$. Естественно, что сумма всех $\Delta W_{pi}^{\%}$ тоже равна 226,13 МВт·ч.

Следует отметить, что в узлах 5 и 6 расчетные отпускные потери $\Delta W_{pi}^{отп}$ меньше, чем потери $\Delta W_{pi}^{\%}$, полученные на основе пропорционального способа, а в узлах 7 и 8, наоборот, больше. Последнее можно объяснить тем, что представленная модель позволяет распределять потери ЭЭ между нагрузочными узлами с учетом физики процесса их возникновения, то есть с учетом режима работы сети, с учетом удаленности нагрузочных узлов от центров питания и с учетом путей протекания потоков ЭЭ, которые эти потери создают.

ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ К ТАРИФУ

Поправочные коэффициенты к тарифу на передачу должны стимулировать потребителей снижать потери в сети. В основе подхода лежит положение о том, что за счет регулирования во времени своего электропотребления происходит снижение потерь ЭЭ у сетевой организации и получение ею дополнительных доходов. Определенная доля дохода η остается в распоряжении сетевой организации, а остальная доля $1-\eta$ тратится на снижение тарифа на передачу для этого потребителя. Такой механизм стимулирует к дальнейшему снижению потерь всех соседних потребителей сетевой организации.

Наиболее эффективной мерой является выравнивание во времени графика электропотребления, то есть уменьшение коэффициента формы графика нагрузки. Снижение стоимости нагрузочных потерь $\Delta C_{\Delta W}$ за счет снижения коэффициента формы графика нагрузки со

значения $k_{\phi 1}$ до значения $k_{\phi 2}$ можно представить как

$$\Delta C_{\Delta W} = (k_{\phi 1}^2 - k_{\phi 2}^2) \frac{W_p^2 + W_q^2}{t U_{cp}^2} R T_{\Delta W}, \quad (6)$$

где $T_{\Delta W}$ – тариф на компенсацию потерь; R – активное сопротивление участка сети; t – интервал времени; U_{cp} – среднее значение напряжения.

Для введения механизма надбавок и скидок за форму графика необходимо установить нормативное значение коэффициента формы $k_{\phi \text{ норм}}$, которое будет соответствовать поправочному коэффициенту к тарифу, равному единице. Если коэффициент формы потребителя $k_{\phi i}$ превышает $k_{\phi \text{ норм}}$, то такой потребитель вносит повышенный вклад в потери и по отношению к нему следует вводить надбавку к ТПЭ. В обратной ситуации потребитель способствует снижению потерь и может рассчитывать на скидку к ТПЭ. С учетом расчетных отпускных потерь $\Delta W_{pi}^{отп}$ надбавка / скидка к ТПЭ $\Delta T_i^{одн}$ за коэффициент формы будет определяться выражением

$$\Delta T_i^{одн} = \eta \alpha (k_{\phi \text{ норм}}^2 - k_{\phi i}^2) T_{\Delta W} \Delta W_{pi}^{отп}, \quad (7)$$

где коэффициент α определяет долю нагрузочных потерь в составе расчетных отпускных потерь ЭЭ.

Поправочный коэффициент к ТПЭ за коэффициент формы графика нагрузки на основе расчетных отпускных потерь i -го потребительского узла можно представить в виде

$$K_i^{\text{форм}} = 1 - \eta \alpha (k_{\phi \text{ норм}}^2 - k_{\phi i}^2) \frac{T_{\Delta W} \Delta W_{pi}^{отп}}{T_{одн} W_{pi}}. \quad (8)$$

ПОПРАВочНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЗА ПОТРЕБЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

По аналогии с (8) получено выражение для поправочного коэффициента, учитывающего отклонение фактического $\text{tg} \phi$ от нормативного $\text{tg} \phi_{\text{норм}}$.

$$K_i^{\text{tg} \phi} = 1 - \eta \alpha (\text{tg}^2 \phi_{\text{норм}} - \text{tg}^2 \phi_i) \frac{T_{\Delta W} \Delta W_{pi}^{отп}}{T_{одн} W_{pi}}. \quad (9)$$

В соответствии с Постановлениями Правительства РФ № 530 и № 861 покупатели электрической энергии должны соблюдать предельные соотношения потребления активной и реактивной энергии/мощности, то есть [15]

$$\text{tg} \phi = \frac{W_q}{W_p}. \quad (10)$$

Предельные значения $\text{tg} \phi$ установленные по классам напряжения, представлены в **таблице**.

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

	Уровень напряжения в точке присоединения потребителя к электрической сети, кВ			
	110	35	6 – 20	0,4
$\text{tg} \phi_{\text{нагр}}$	0,5	0,4	0,4	0,35

В случае превышения потребителем установлен-

ных значений $\text{tg}\varphi$ он устанавливает и обслуживает устройства, обеспечивающие регулирование реактивной мощности, либо оплачивает услуги по передаче ЭЭ с учетом соответствующего повышающего коэффициента к тарифу [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая балансовая модель потокораспределения потерь позволяет распределять потери электроэнергии в схеме сети на основе режима энергораспределения с учетом путей протекания потоков электроэнергии конкретным потребителям и с учетом их удаленности от центров питания. На основе модели потокораспределения потерь разработаны методики введения поправочных коэффициентов к тарифам на передачу электроэнергии, которые должны стимулировать потребителей к снижению потерь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Green R. Electricity transmission pricing: an international comparison // *Utilities Policy*. 1997. Vol. 6. №3. P. 177-184.
- ENTSO-E Overview of Transmission Tariffs in Europe: Synthesis 2016 – официальный сайт Европейского сообщества операторов магистральных сетей в области электроэнергетики (ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity) [www.entsoe.eu].
- «Study on tariff design for distribution systems. Final Report» 20150313 Tariff report fina_revREF-E.PDF This is a document from the site ec.europa.eu.
- Baseem Khan, Ganga Agnihotri. A Comprehensive Review of Embedded Transmission Pricing Methods Based on Power Flow Tracing Techniques // *Chinese Journal of Engineering*. Volume 2013. Article ID 501587.
- Kharbas B., Fozdar M., Tiwari H. Transmission tariff allocation using combined MW-mile & postage stamp methods // *IEEE PES International Conference on Innovative smart grid Technologies – India*. Dec. 2011. P.6-11.
- Lo K.L., Hassan M.Y. Positive and negative aspects of MW-mile method for costing transmission transaction // *37th Int. Universities Power Engineering Conf. (UPEC)*. September 2002, vol.1, P. 358-362.
- Avinash D. MW-Mile method considering the cost of loss allocation for transmission pricing / D. Avinash, B. Chalapati // *2015 Conference on Power, Control, Communication and Computational Technologies for Sustainable Growth. PCCCTSG 2015*. 7503892. P. 128-131.
- Гамм А.З., Голуб И.И. Адресность передачи активных и реактивных мощностей в электроэнергетической системе // *Электричество*. 2003. № 3. С. 9.
- Бартоломей П.И., Паниковская Т.Ю. Новые процедуры распределения потерь мощности и электроэнергии // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2008. № 11-12/1. С. 50-56.
- Паздерин А.А., Паздерин А.В., Софьин В.В. Технико-экономическая модель передачи электрической энергии в сетях энергосистем // *Электричество*. 2017. №7. С. 4-12.
- Pazderin A.A., Pazderin A.V., Firsova D.A. Energy-cost flows model of electric energy distribution at an electric network // *The 11th IEEE International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering. CPE-POWERENG 2017*. Cadiz, Spain, 4-6 April 2017. №7915188. Pp. 308-312.
- Решение комплексной задачи распределения электроэнергии в энергосистеме / П.И. Бартоломей, А.О. Егоров, Е.В. Машалов, А.В. Паздерин // *Электричество*. 2007. №2. С. 8-13.
- Бартоломей П.И., Паздерин А.В. Наблюдаемость распределения потоков электрической энергии в сетях // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2004. № 9-10. С. 24-33.
- Паздерин А.В. Локализация коммерческих потерь электроэнергии на основе решения задачи энергораспределения // *Промышленная энергетика*. 2004. № 9
- Об утверждении основных положений функционирования розничных рынков электрической энергии: Постановление Правительства РФ от 31.08.2006 №530 // *Собрание законодательства РФ*. 11.09.2006. №37. С. 3876.
- Приказ Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. №380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии».

Поступила в редакцию 10 июля 2019 г.

INFORMATION IN ENGLISH

ELECTRIC ENERGY LOSS FLOW PROBLEM AND CORRECTION FACTORS FOR TRANSMISSION TARIFF

Petr I. Bartolomey

D.Sc. (Engineering), Professor, Automated Electrical Systems Department, Ural Federal University named after the first president of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: bpi@ural.ru

Andrey A. Pazderin

Graduand, Automated Electrical Systems Department, Ural Federal University named after the first president of Russia B.N. Yeltsin, the head of technological connection department of Urals branch of public joint-stock company «Federal Grid Company of Unified Energy System», Yekaterinburg, Russia. E-mail: paa_83@mail.ru

The article considers the method of distribution of losses between nodes of electricity supply from the network on the basis of the distribution of electricity flows. The approach is based on the balance equations for the nodes and branches of the design scheme, which are written for electricity flows and loss flows. The method makes it possible to obtain a loss distribution similar to the proportional sharing method without calculating the targeting coefficients. On the basis of the distributed losses,

correction factors are introduced for transmission tariffs that encourage consumers to further reduce losses.

Keywords: transmission tariff, electric energy losses, energy flow model, balance problem, correction factors.

REFERENCES

- Green R. Electricity transmission pricing: an international comparison. *Utilities Policy*. 1997, Vol. 6. No.3. Pp. 177-184.
- ENTSO-E Overview of Transmission Tariffs in Europe:

- Synthesis 2016 (ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity) [www.entsoe.eu].
3. Study on tariff design for distribution systems. Final Report. 20150313 Tariff report fina_revREF-E.PDF This is a document from the site ec.europa.eu.
 4. Baseem Khan, Ganga Agnihotri. A Comprehensive Review of Embedded Transmission Pricing Methods Based on Power Flow Tracing Techniques Chinese Journal of Engineering. Vol. 2013. Article ID 501587
 5. Kharbas B., Fozdar M., Tiwari H. Transmission tariff allocation using combined MW-mile & postage stamp methods. IEEE PES International Conference on Innovative smart grid Technologies. India. Dec. 2011. Pp. 6-11.
 6. Lo K.L., Hassan M.Y. Positive and negative aspects of MW-mile method for costing transmission transaction. 37th Int. Universities Power Engineering Conf. (UPEC). September 2002. Vol.1. Pp. 358-362.
 7. D. Avinash, B. Chalapathi. MW-Mile method considering the cost of loss allocation for transmission pricing. 2015 Conference on Power, Control, Communication and Computational Technologies for Sustainable Growth. PCCCTSG 2015. 7503892. Pp. 128-131.
 8. Gamm A.Z., Golub I.I. Targeting of active and reactive power transfer in the electric power system. *Elektrichestvo* [Electricity]. 2003. No. 3. Pp. 9. (In Russian)
 9. Bartolomey P.I., Panikovskaya T.Y., Tihonov S.A. New procedures of distribution of power losses and electrical energy // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. [Proceedings of universities. Power engineering issues]. 2008. No. 11-12/1. pp. 50-56. (In Russian)
 10. Pazderin A.A., Pazderin A.V., Sofin V.V. Technical and economic model of electric energy transmission in power grid. *Elektrichestvo* [Electricity], 2017. No. 7. P. 4-12. (In Russian)
 11. Pazderin A.A., Pazderin A.V., Firsova D.A. Energy-cost flows model of electric energy distribution at an electric network. The 11th IEEE International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering. CPE-POWERENG 2017. Cadiz. Spain. P. 308-312.
 12. Bartolomey P.I., Egorov A.O., Mashalov E.V., Pazderin A.V. Solution of complex energy flow problem in an electrical network. *Elektrichestvo* [Electricity] 2007. No. 2. P. 8-13. (In Russian)
 13. Bartolomey P.I., Pazderin A.V. Observability of electric energy distribution in networks. *Izvestia vishih uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*. [Proceedings of universities. Power engineering issues]. 2004. No. 9-10. P. 24-33. (In Russian)
 14. Pazderin A.V. Isolation of business losses of electrical energy on the basis of solving the problem of energy distribution. *Promishlennaya energetika*. [Industrial power engineering]. 2004. No. 9 (In Russian)
 15. Confirmation of the main provisions of performance of retail markets of electric energy: the Russian Federation Government regulation as of 31.08.2006 no. 530. Legislative Assembly of the RF. 11.09.2006. no. 37. Pp. 38-76. (In Russian)
 16. Order of the RF Ministry of Energy as of 23.06. 2015 no. 380 «Calculation of active and reactive power consumption for certain power receivers of electric energy consumers». (In Russian)

Бартоломей П.И., Паздерин А.А. Задача потокораспределения потерь электроэнергии и поправочные коэффициенты к тарифам на передачу // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 3(44). С. 4-9. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3\(44\)-4-9](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3(44)-4-9)

Bartolomey P.I., Pazderin A.A. Electric energy loss flow problem and correction factors for transmission tariff. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 3(44), pp. 4-9. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3\(44\)-4-9](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3(44)-4-9)