

УДК 621.311

УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТАРИФА НА ПЕРЕДАЧУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОВЫШАЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗА ПОТРЕБЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

А.В. Кузнецов¹, И.В. Аргентова²

¹ Ульяновский государственный технический университет
Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32

² ОАО «Ульяновскэнерго»
Россия, 432028, г. Ульяновск, пр. 50-летия ВЛКСМ, 23А

E-mail: kav2@ulstu.ru, argentum926@yandex.ru

Рассмотрены предложения по уточнению методики расчета тарифа на передачу электроэнергии, которые позволяют ликвидировать правовой барьер по взиманию платы за передачу реактивной мощности сверх установленных предельных значений в виде надбавок или повышающих коэффициентов к тарифу. Предложено новое решение, при котором из тарифа, рассчитанного по существующей методике, исключается стоимость потерь, связанных с передачей реактивной мощности сверх установленных предельных значений. Это решение позволит на практике оказывать стимулирующее воздействие на потребителей в части участия в регулировании режима реактивной мощности. Внедрение уточненной методики расчета тарифа на передачу электроэнергии в практику позволит урегулировать противоречивые взаимоотношения между потребителем и сетевой организацией в части применения повышающих коэффициентов к тарифу за превышение предельного значения соотношения реактивной и активной мощности в соответствии с «Методическими указаниями по расчету повышающего (понижающего) коэффициента к тарифам на услуги по передаче в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон по договорам об оказании услуг по передаче электрической энергии по единой национальной (общероссийской) электрической сети (договорам энергоснабжения)».

Ключевые слова: *потребитель электроэнергии, сетевая организация, система электроснабжения, реактивная мощность, передача электроэнергии, коэффициент реактивной мощности, тариф.*

Известным способом повышения экономичности энергетических систем является снижение потерь электроэнергии при ее передаче и преобразовании. Достаточно эффективное мероприятие снижения потерь электроэнергии – это компенсация реактивной мощности (КРМ), т. е. установка компенсирующих устройств (КУ) в электрических сетях потребителя и сетевой организации (ЭСО). КРМ снижает потери электроэнергии при ее передаче на участке сети от места установки КУ до источника питания. С этой точки зрения установка КУ желательна в непосредственной близости от электрических приемников, потребляю-

Анатолий Викторович Кузнецов (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Электроснабжение».

Инна Владимировна Аргентова, начальник ОП.

щих реактивную мощность, т. е. в сети потребителя. При этом потери снижаются как в сети потребителя, так и в сети ЭСО. Снижение потерь в сети потребителя положительно сказывается на потреблении потребителем электроэнергии, объем которой регистрируется коммерческими приборами учета, устанавливаемыми, как правило, на границе балансовой принадлежности сети ЭСО. Объем же снижения потребления в сети ЭСО при этом остается неопределенным для потребителя.

Устанавливая КУ, потребитель за счет своих средств снижает потери в ЭСО, т. е. оказывает ей услугу, размер которой должен быть вполне определен и соответственно возмещен в той или иной форме. С учетом этого между потребителем и ЭСО возникают взаимные обязательства, связанные с оплатой этой услуги. Размер оплаты этой услуги должен соответствовать стоимости потерь, обусловленных передачей реактивной мощности сверх установленных предельных значений. Определению размера услуги и форме ее оплаты посвящено немало работ [1], создавались и внедрялись в практику нормативные правовые документы.

В качестве формы оплаты услуги всегда предполагалась надбавка или повышающий коэффициент к тарифу на электроэнергию. Размер надбавки предполагает стоимость части потерь электроэнергии в ЭСО, которые имеют место при передаче потребителю реактивной мощности сверх установленных значений. При КРМ в своей сети потребитель имеет возможность избавиться от надбавки или, другими словами, получить плату за оказанную услугу по КРМ. Таким образом, надбавка является формализованным способом оплаты услуги за КРМ потребителю со стороны ЭСО и экономическим стимулом для установки и эксплуатации КУ.

Экономические стимулы для потребителей электроэнергии в части соблюдения ими установленных значений коэффициентов реактивной мощности применялись в нашей стране с 30-х годов прошлого столетия. С 1946 по 1974 годы действовали правила обеспечения реактивной мощностью потребителей электроэнергии для действующих электроустановок. Рекомендованное значение коэффициента мощности было установлено в пределах от 0,9–0,92 для электроустановок 6–10 кВ. С 1974 по 1981 годы действовала методика применения скидок и надбавок за коэффициент мощности для обеспечения рациональных режимов потребления реактивной мощности электроустановками [2]. В 1982 году вводится в действие «Правила пользования электрической и тепловой энергией», где предусматривалось применение скидок и надбавок к тарифу за электрическую энергию за компенсацию реактивной мощности в электроустановках потребителей. Скидки и надбавки считались от заданного энергоснабжающей организацией оптимального значения. С 1991 по 2001 годы действовали «Правила применения скидок и надбавок к тарифам на электрическую энергию за потребление и генерацию реактивной энергии» и «Инструкция по системному расчету компенсации реактивной мощности в электрических сетях». Производился расчет экономических значений реактивной мощности и энергии, и в случае превышения этих значений потребитель оплачивал ЭСО надбавку, пропорциональную потребленной реактивной мощности.

В дальнейшем «Правила...» были отменены как несоответствующие действующему законодательству. После отмены «Правил применения скидок и надбавок к тарифам на электрическую энергию за потребление и генерацию реактивной энергии» приказом Минэнерго от 28 декабря 2000 года № 167 и практически до настоящего времени никакой правовой основы для оплаты потреби-

телю услуг по КРМ, а следовательно, и оптимизации коэффициента реактивной мощности энергосистема не имела. Очевидно, что в такой ситуации многие потребители электроэнергии отключили имевшиеся у них компенсирующие устройства, а некоторые вовсе их демонтировали. Контроль и управление процессом потеряны.

В настоящее время Постановление Правительства РФ от 4 мая 2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» предусматривает обязанность потребителя соблюдать установленные значения соотношения потребления активной и реактивной мощности. Величины соотношений активной и реактивной мощности определены Приказом Минпромэнерго от 22 февраля 2007 года № 49. Данный порядок утверждает предельные значения коэффициента реактивной мощности $tg \varphi_{пред}$ для потребителей с присоединенной мощностью 150 кВт и выше (кроме населения и приравненных к населению). Приказом ФСТ №219-э/6 от 31.08.2010 утверждены «Методические указания по расчету повышающего (понижающего) коэффициента к тарифам на услуги по передаче в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон по договорам об оказании услуг по передаче электрической энергии по единой национальной (общероссийской) электрической сети (договорам энергоснабжения)». Согласно данной методике при нарушении установленных норм потребителем, имеющим границу раздела балансовой принадлежности по единой национальной (общероссийской) электрической сети (110 кВ, 220 кВ и выше), применяется надбавка в виде повышающего коэффициента к тарифу на передачу электрической энергии.

Тариф на передачу, к которому применяется надбавка, является регулируемым. Значение этого тарифа определяется на основе таких нормативных документов, как «Основы ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике» [3], «Методические указания по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую энергию на розничном рынке», «Методика расчета норматива технологических потерь электроэнергии (НТПЭ)» [4]. Он включает в себя затраты на содержание электрических сетей ЭСО, а также стоимость электроэнергии, потерянной в электрической сети при ее передаче в соответствии с нормативом, рассчитанным по методике расчета НТПЭ.

Анализ показывает, что в действующей методике расчета НТПЭ для расчета потерь при формировании регулируемого тарифа на передачу наряду с другими параметрами используются фактические значения передаваемой реактивной мощности. Это значит, что в случаях, когда фактические значения Q_{ϕ} реактивной мощности превышают установленные предельные $Q_{пред}$, потери, рассчитанные по методике расчета НТПЭ, включают в себя потери, связанные с передачей сверхпредельных значений реактивной мощности. Значит, оплата услуги по КРМ в соответствии с действующими нормативами включена в тариф, к которому применяется надбавка. Таким образом, услуга оплачивается дважды, что порождает правовое несоответствие и нежелание потребителя заниматься КРМ. Необходимо изменить методику расчета НТПЭ в случае использования расчета для регулируемого тарифа на передачу электроэнергии.

Предложения по изменению методики расчета НТПЭ применительно к рас-

чету регулируемого тарифа на передачу электроэнергии опубликованы в [5]. В [5] показано, что для того, чтобы в утверждаемый тариф на передачу электроэнергии потери, связанные с передачей сверхпредельных значений, не были включены, необходимо использовать при расчетах НТПЭ при $Q_\phi > Q_{пред}$ вместо фактических значений реактивной мощности Q_ϕ установленные предельные значения реактивной мощности $Q_{пред}$. В этом случае оплата потерь, связанных с передачей реактивной мощности до предельных значений, будет включена в тариф, а оплата потерь, связанных с передачей сверхпредельных значений, может производиться в виде надбавки. Суть изменений методики расчета НТПЭ сводится к корректировке формул для расчета нагрузочных потерь $\Delta W_{нагр}$.

Предлагается использовать коэффициент приведения потерь для ветвей схемы сети. Новое значение потерь в ветвях схемы при использовании $tg \varphi_{пред}$ вместо $tg \varphi_\phi$ в каждой ветви схемы снизится при этом в $K = \frac{(1 + tg^2 \varphi_{пред})}{(1 + tg^2 \varphi_\phi)}$ раз. Указанное соотношение является коэффициентом приведения потерь при фактическом значении реактивной мощности к ее значению при $tg \varphi_{пред}$. Этот коэффициент получен из соотношения

$$\frac{\Delta W_{пред}}{\Delta W_\phi} = \frac{I_{пред}^2}{I_\phi^2} = \frac{(1 + tg^2 \varphi_{пред})}{(1 + tg^2 \varphi_\phi)} = K, \quad (1)$$

где $\Delta W_{пред}$, $I_{пред}$ – потери электроэнергии и ток при значении реактивной мощности, соответствующем $tg \varphi_{пред}$;

ΔW_ϕ , I_ϕ – потери электроэнергии и ток при фактическом значении реактивной мощности.

По мнению авторов статьи [5], потери, рассчитанные с использованием коэффициента приведения K , уменьшатся на величину, соответствующую передаче по сети сверхпредельных значений реактивной мощности. Однако авторы не учли, что в общем случае в сложной сети не у всех потребителей $tg \varphi_\phi > tg \varphi_{пред}$. У части потребителей может быть $tg \varphi_\phi < tg \varphi_{пред}$. Эти потребители не обязаны увеличивать мощность своих КУ. Если несколько таких потребителей питаются через одну магистральную ветвь, то в этой ветви вполне может быть $tg \varphi_\phi < tg \varphi_{пред}$. В соответствии же с предложенным решением в [5] к таким ветвям применяется коэффициент приведения (1), который предполагает снижение фактического $tg \varphi_\phi$ до значения предельного $tg \varphi_{пред}$. На самом же деле фактический $tg \varphi_\phi$ в ветви уже ниже $tg \varphi_{пред}$. А если по этой же ветви питается хотя бы один потребитель, у которого предполагается КРМ, то после КРМ значение $tg \varphi_\phi$ изменится на новое более низкое значение $tg \varphi_{нов}$. Коэффициент приведения K не учитывает этого. Он предполагает снижение $tg \varphi_\phi$ только до $tg \varphi_{пред}$,

не ниже. Результаты расчета становятся неточными. Новое значение потерь, рассчитанное с учетом коэффициента приведения K , получается завышенным.

Предложенные в [5] выражения для расчета потерь применимы только для частного случая, когда у всех потребителей $tg \varphi_{\phi} > tg \varphi_{пред}$. В общем случае это не так. Чтобы получить выражения для расчета потерь в общем случае, предлагается рассмотреть более подробно электрическую схему сетевой организации. В общем случае она может быть достаточно сложной и включать в себя определенное число нагрузок потребителей, определенное количество ветвей и узлов. Каждая ветвь питает определенное число нагрузок. В одной части нагрузок может быть $tg \varphi_{\phi} > tg \varphi_{пред}$, эти нагрузки требуют КРМ. В другой части нагрузок, наоборот, $tg \varphi_{\phi} \leq tg \varphi_{пред}$ – в этих нагрузках не требуется КРМ. В питающей эти нагрузки ветви после КРМ происходит изменение потока реактивной мощности за счет нагрузок, требующих КРМ. Нагрузки, не требующие КРМ, изменения потока реактивной мощности в ветви не вызывают.

Изменение потоков реактивной мощности в каждой i -той ветви, питающей одну нагрузку ($k=1$) или несколько нагрузок ($k=1,2,\dots,f_i$), при КРМ вызывает изменения значений в них $tg \varphi_{\phi,i}$ на новые значения. Если предположить, что изменения происходят в фиксированном интервале времени $\Delta t_{i,j}$, в течение которого токовую нагрузку $I_{i,j}$ i -го элемента сети с сопротивлением R_i принимают неизменной, где j – номер интервала времени, то

$$tg \varphi_{нов,i,j} = \frac{\sum_1^{f_i} Q_{i,j,k} - \sum_1^{f_i} P_{i,j,k} (tg \varphi_{i,j,k} - tg \varphi_{Q,i,j,k})}{\sum_1^{f_i} P_{i,j,k}} = tg \varphi_{\phi,i,j} - \frac{\sum_1^{f_i} P_{i,j,k} (tg \varphi_{\phi,i,j,k} - tg \varphi_{Q,i,j,k})}{\sum_1^{f_i} P_{i,j,k}}, \quad (2)$$

или

$$tg \varphi_{нов,i,j} = tg \varphi_{\phi,i,j} - \frac{\sum_1^{f_i} \frac{I_{i,j,k}}{\sqrt{1 + tg \varphi_{\phi,i,j,k}^2}} (tg \varphi_{\phi,i,j,k} - tg \varphi_{Q,i,j,k})}{\sum_1^{f_i} \frac{I_{i,j,k}}{\sqrt{1 + tg \varphi_{\phi,i,j,k}^2}}}, \quad (3)$$

где

$$tg \varphi_{Q,i,j,k} = \begin{cases} tg \varphi_{пред,i,j,k}, & \text{если } tg \varphi_{\phi,i,j,k} > tg \varphi_{пред,i,j,k} \\ tg \varphi_{\phi,i,j,k}, & \text{если } tg \varphi_{\phi,i,j,k} \leq tg \varphi_{пред,i,j,k} \end{cases}. \quad (4)$$

В выражениях (2), (3), (4):

$\sum_1^{f_i} P_{i,j,k}$, $\sum_1^{f_i} Q_{i,j,k}$ – сумма активных и реактивных мощностей потребителей, получающих питание через рассматриваемую i -тую ветвь в j -том интер-

вале времени $\Delta t_{i,j}$;

f_i – число потребителей, получающих питание по рассматриваемой i -той ветви в j -том интервале времени $\Delta t_{i,j}$;

$I_{i,j,k}$ – значение полного тока в ответвлении к потребителю с номером k в j -том интервале времени $\Delta t_{i,j}$;

$tg \varphi_{\phi,i,j,k}$, $tg \varphi_{пред,i,j,k}$ – фактическое и предельное значение коэффициента реактивной мощности каждой нагрузки с номером k , получающей питание через i -тую ветвь в j -том интервале времени $\Delta t_{i,j}$;

$tg \varphi_{\phi,i,j}$ – фактическое значение коэффициента реактивной мощности в i -той ветви в j -том интервале времени $\Delta t_{i,j}$;

$tg \varphi_{Q,i,j,k}$ – промежуточная переменная.

Значение $tg \varphi_{Q,i,j,k}$ показывает, необходима в нагрузке КРМ или нет. Переменная принимает значение $tg \varphi_{Q,i,j,k} = tg \varphi_{пред,i,j,k}$, если КРМ предусмотрена, и значение $tg \varphi_{Q,i,j,k} = tg \varphi_{\phi,i,j,k}$, если КРМ не предусмотрена. В последнем случае изменения коэффициента реактивной мощности нагрузки не происходит. Этот потребитель не вносит изменений в значение $tg \varphi_{нов,i,j}$. Значение $tg \varphi_{пред,i,j,k}$ в соответствии с [6] не зависит от номера ветви и интервала времени. Оно определяется напряжением сети, к которой присоединен потребитель, поэтому можно считать, что $tg \varphi_{пред,i,j,k} = tg \varphi_{пред}$ (0,5; 0,4; 0,35 по уровням напряжения соответственно 110, 35-10, 0,4 кВ).

Чтобы определить значение $tg \varphi_{нов,i,j}$, необходимо для каждой i -той ветви схемы выделить нагрузки, питание которых осуществляется по рассматриваемой ветви, их число f_i и параметры каждой k -той из них для использования в (2), (3), (4). С учетом сказанного в действующей методике расчета НТПЭ при использовании метода оперативных расчетов вместо формулы

$$\Delta W_{нагр} = 3 \sum_1^n R_i \sum_1^m I_{i,j}^2 \Delta t_{i,j} \quad (5)$$

предлагается использовать выражение

$$\Delta W_{нагр,нов} = 3 \sum_1^n R_i \sum_1^m \frac{(1 + tg^2 \varphi_{нов,i,j})}{(1 + tg^2 \varphi_{\phi,i,j})} I_{i,j}^2 \Delta t_{i,j} = 3 \sum_1^n R_i \sum_1^m K_{i,j} I_{i,j}^2 \Delta t_{i,j}. \quad (6)$$

При этом в (6) $K_{i,j}$ – коэффициент приведения потерь:

$$K_{i,j} = \frac{(1 + tg^2 \varphi_{нов,i,j})}{(1 + tg^2 \varphi_{\phi,i,j})}, \quad (7)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{\text{нов},i,j}$ вычисляется по (2), (3), (4).

В выражении (6):

n – число ветвей схемы сети;

$\Delta t_{i,j}$ – интервал времени, в течение которого токовую нагрузку $I_{i,j}$ i -го элемента сети с сопротивлением R_i принимают неизменной;

m – число интервалов времени.

Выражение (5) отличается от (6) использованием коэффициента приведения $K_{i,j}$. Нетрудно убедиться, что в частном случае, который рассмотрен в [5], когда все нагрузки требуют КРМ, $\operatorname{tg} \varphi_{\text{нов},i,j}$ принимает значение, равное $\operatorname{tg} \varphi_{\text{нов},i,j} = \operatorname{tg} \varphi_{\text{пред},i,j}$. Коэффициент приведения (7) и предложенный в [5] (1) становятся равными друг другу. Новые выражения (2), (3), (4), (6), (7) для расчета потерь применимы для схем сетей любой сложности и конфигурации, в том числе в частном случае, рассмотренном в [5].

Предложенные изменения методики расчета нормативных технологических потерь сетевой организации применительно к расчету регулируемого тарифа на передачу электрической энергии исключают противоречия с действующим законодательством. Расчетные технологические потери электроэнергии не будут включать в себя потери, связанные с передачей сверхпредельных значений реактивной мощности. Стоимость этих потерь не будет включена в регулируемый тариф. Тогда с правовой точки зрения не будет противозаконным взимать плату за услугу по передаче сверхпредельных значений реактивной мощности с потребителей в форме повышающего коэффициента. Использование повышающих коэффициентов к тарифу на передачу на практике будет оказывать стимулирующее воздействие на потребителей в части участия в регулировании режима реактивной мощности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Железко Ю.С. Потери электрической энергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.: ил.
2. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий / А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.
3. Инструкция по организации в Министерстве энергетики РФ работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Приказ № 326 Минэнерго РФ от 30.12.2008 (<http://consultant.ru>).
4. О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике (вместе с «Основами ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике», «Правилами государственного регулирования (пересмотра, применения цен (тарифов) в электроэнергетике). Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2011 г. № 1178. (<http://consultant.ru>).
5. Кузнецов А.В., Аргентова И.В. Правовые аспекты применения повышающих коэффициентов к тарифам за потребление реактивной энергии // Промышленная энергетика. – 2013. – № 7. – С. 17–20.
6. Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения). Приказ № 49 Минпромэнерго РФ от 22.02.2007 (<http://consultant.ru>).

Статья поступила в редакцию 6 мая 2014 г.

UPDATING OF THE ELECTRIC POWER TRANSMISSION TARIFF CALCULATION METHOD DUE TO USE OF THE MULTIPLYING COEFFICIENTS TO REACTIVE POWER CONSUMPTION

A. V. Kuznetsov¹, I. V. Argentova²

¹ Ulyanovsk State Technical University
32, Severnyi Venets St., Ulyanovsk, 432027, Russian Federation

² Engineer, Head of subdivision of Ulyanovskenergo OJSC
23A, 50 let VLKSM Avenue, Ulyanovsk, 432028, Russian Federation

The aspects improving the design procedure of electric power transmission charge are considered. They allow to eliminate legal barriers concerning extra charge or increasing factors to charge for volt-amperes reactive transmission of excessive limit values. The new method assumes that the charge calculated by means of the existing approach excludes the cost of losses related to volt-amperes reactive transmission of excessive limit values. In practice this method makes possible to influence the consumers positively and regulate the volt-amperes reactive conditions. The improved design procedure of electric power charge regulates inconsistent relations between consumers and net organization concerning increasing factors to charge for exceed limit values of volt-amperes reactive and active power. It is done in accordance with “The recommended guidelines to the design procedure of increasing (decreasing) factors to transmission charges depending on consumption correlation of volt-amperes reactive and active power for power receivers (groups of power receivers) applied to determine the obligations of parties for service agreement on electric power transmission by means of the joint domestic (the Russian Federation) electric network (energy supply agreements)”.

Keywords: *consumer of electric power, grid operator, electric power supply system, volt-amperes reactive, electric power transmission, factor of volt-amperes reactive, charge.*

*Anatoly V. Kuznetsov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Inna V. Argentova, Head OP.*