

УДК 621.311

ОЦЕНИВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ПОТРЕБЛЕНИЮ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

МАМЕДЯРОВ О. С., РАХМАНОВ Н. Р.

*Азербайджанский Научно - Исследовательский Институт
Энергетики и Энергопроектирования.*

Рассматриваются вопросы учета расходуемой реактивной энергии и качества электрического напряжения при оценке стоимости потребленной энергии, а также влияние этих показателей на повышение эффективности функционирования системы электро-снабжения в рыночных условиях. Предложены методы дифференцированной оценки стоимости реактивной энергии и качества напряжения у электропотребителей.

В настоящее время энергетическая отрасль Азербайджана после проведенных этапов реструктуризации представлена АООТ " Азерэнержи ", где сосредоточены основные генерирующие источники- тепловые и гидроэлектростанции и высоковольтные питающие электрические сети напряжением 110 кВ и выше, а также электрическими распределительными сетями 110 кВ и ниже, переданных на управление частным энергокомпаниям, которые в течение 25 лет будут инвестировать развитие и эксплуатацию этих сетей. При этом, с целью обеспечения обобщенных функций электроэнергетики в рыночных условиях, защиты потребителей от энергетических монополий и реализации долгосрочных целей в области энергетической безопасности страны, государство сохраняет за собой регулирующие функции, с помощью которых осуществляется контроль выполнения всеми участниками общих правил функционирования энергетического рынка.

Ключевым и наиболее важным правилом государственного регулирования энергетического рынка является регулирование стоимости производства и потребления электроэнергии, определяемой и устанавливаемой правительством для каждого временного этапа развития страны. Так, например, в настоящее время действует правительственная тарифная комиссия, которая осуществляет регулирование тарифов за пользование электроэнергией, устанавливая их дифференциально для разных категорий потребителей (население, бюджетные организации, коммерческие структуры и т. д.).

На ближайшем временном этапе реформирования энергетики в соответствии с государственной энергетической программой Азербайджана планируется передача частным энергокомпаниям также и процесса производства электроэнергии на основе внешнего инвестирования и строительства новых электростанций средней мощности. Таким образом, в энергетической отрасли в процессе производства, передачи и распределения электроэнергии будут участвовать несколько акционерных компаний, образующих внутренний энергетический рынок страны, в котором каждая компания действует не только для достижения собственной коммерческой цели, но и единой общественной цели - обеспечение надежности и бесперебойности энергоснабжения, энергетической безопасности страны.

Роль государства в процессе формирования рынка электроэнергии - минимизировать расхождение интересов субъектов рынка путем нахождения компромисса между коммерческими и общественными целями энергокомпаний.

В условиях же полного конкурентного рынка интересы всех участников - от производителей до потребителей электроэнергии, должен регулироваться свободно самим рынком. Однако, пока к полному конкурентному рынку переход не осуществляется, и это положение оправдано, ибо при этом свободные цены привели бы к росту цены на электроэнергию. Такое положение наблюдается, в частности, в России, где, с учетом необходимости инвестирования нового строительства электростанций, цены на электроэнергию должны расти, по сравнению с нынешними, однако, при свободном рынке это будет почти в два раза выше, чем при сохранении регулируемой монополии с самофинансированием [1].

Принимая во внимание сложившуюся в нашей стране структуру электроэнергетики и базируясь на имеющемся к настоящему времени опыте эксплуатации, интересы структурных подразделений и их стремление к повышению уровня технической эксплуатации, обеспечивающих высокое качество электроснабжения в целом, могут заключаться в рациональном использовании реактивной мощности энергосистемы и обеспечении качества электроэнергии у электропотребителей. Ответственность за выполнение этих условий обеспечивалась за счет скидок и надбавок к действующим тарифам за электроэнергию. Конкретные значения этих скидок и надбавок определялись действующими Правилами пользования электрической энергией и другими документами [2, 3, 4].

В подготовленных для издания "Правилах электроснабжения в Азербайджанской Республике" также предусматривается учет качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ -13109 -97 [5] и стоимости израсходованной предприятиями реактивной энергии.

Необходимо отметить, что, несмотря на очевидную необходимость учета реально использованной реактивной энергии и качества электроэнергии, подаваемой к электроприемникам, как в прошлом, так и в настоящее время, не отработан механизм количественного учета этих факторов и поэтому они не реализовывались в полной мере. В результате этого потребители получали ущерб никем не компенсированный, а энергосистема имела повышенные потери электроэнергии, также не компенсируемые виновниками ухудшения качества электроэнергии. Эти ущербы значительны. Например, при снижении напряжения на зажимах осветительных приборов на 20 %, приводящем к снижению светоотдачи примерно на 50 %, за счет включения дополнительных источников света потребление электроэнергии увеличивается на 190 % [6]. На асинхронных электродвигателях повышаются потери мощности и уменьшается производительность механизмов. Другие показатели КЭЭ - несинусоидальность напряжения, несимметрия токов в трехфазных сетях, провалы напряжения, отклонение частоты и др. часто приводят к массовому выходу из строя электрооборудования, к повреждению элементов и искажению результатов в ЭВМ и т.д.

Все это показывает, что необходимы нормативные документы, регламентирующие соблюдение установленных требований к КЭЭ, учету стоимости потребляемой реактивной энергии, а также разработки методического положения по обязательному учету этих факторов при присоединении новых объектов к электроснабжающей системе и осуществлении денежных расчетов между электропотребителями и электроснабжающей организацией.

В рыночных условиях точная оценка стоимости производства и передачи электроэнергии является определяющим фактором для регулирования взаимовыгодного технического и экономического сотрудничества между всеми субъектами рынка. Известно, что для таких рыночных условий стоимостная цена на электроэнергию определяется на природной основе в виде равенства приростов затрат на производство и распределение электроэнергии в энергосистеме при изменении активной и реактивной нагрузок в отдельных узлах [7]. В зависимости от типа нагрузок в узлах, могут отличаться и цены на потребляемую электроэнергию в данном узле. Рассмотрим формирование узловых цен на электроэнергию только за счет реактивной составляющей мощности

нагрузки. Учитывая, что изменение реактивной мощности нагрузки в значительной степени проявляется в виде изменения суммарных потерь в электрической сети, рассмотрим математическую модель изменения суммарных активных потерь при изменении реактивной мощности в конкретных узлах. В соответствие с [11], суммарные потери в электрической сети приближенно могут быть определены [8] суммированием активных составляющих потерь по всем связям в виде:

$$\pi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} \pi_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} g_{ij} (U_i^2 + U_j^2 - 2U_i U_j \cos \delta_{ij}) \quad (1)$$

где U_i, U_j - модули напряжений узлов i, j ;

g_{ij} - активная проводимость связи $i - j$;

δ_{ij} - угол между векторами U_i, U_j ;

$(n+1)$ - общее число узлов электрической сети, включая балансирующий.

Проведя разложение функции (1) в ряд Тейлора и учитывая, только составляющие первой степени, получим, что изменение потерь мощности выражается через модули узловых напряжений как

$$\Delta \pi = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \pi}{\partial U_i} \Delta U_i \quad (2)$$

Производная от потерь по модулю напряжения i -го узла

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{\partial U_i} &= \frac{\partial}{\partial U_i} \left\{ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} g_{ij} (U_i^2 + U_j^2 - 2U_i U_j \cos \delta_{ij}) \right\} = \sum_{j=1}^{n+1} g_{ij} (U_i - U_j \cos \delta_{ij}) \\ &= -2 \sum_{j=1}^{n+1} g_{ij} \frac{P_{ij} r_{ij} + Q_{ij} x_{ij}}{U_i} \end{aligned} \quad (3)$$

где P_{ij}, Q_{ij} - активные и реактивные мощности связи $i - j$.

В случае допущения однородности сети $d = \frac{r_{ij}}{x_{ij}} = idem$ активную проводимость связи $i - j$ можно представить в виде:

$$g_{ij} = \frac{r_{ij}}{z_{ij}^2} = \frac{d}{(1+d^2)x_{ij}} ; \quad i, j = 1, (n+1) \quad (4)$$

Предполагая далее одинаковость для всех узлов сети коэффициентов мощности, $\cos \varphi = idem$, получим из (3) с учетом (4)

$$\frac{\partial \pi}{\partial U_i} = 2 \frac{d}{1+d^2} (d \cos \varphi + \sin \varphi) I_i = -2 \beta I_i \quad (5)$$

где

$$I_i - \text{узловой ток (ток нагрузки узла } i) \quad \beta = \frac{d}{1+d^2} (d \cos \varphi + \sin \varphi)$$

После подстановки выражения (5) в (2) и проведения некоторых преобразований для определения степени влияния изменения реактивной мощности i -го узла на изменение суммарных активных потерь в электрической сети, получаем выражение

$$\Delta \pi = -2 \beta \Delta Q_i \frac{(U_i - U_s)}{U_i}$$

где U_s - напряжение балансирующего узла; ΔQ_i - изменение реактивной мощности в узле i .

Соответственно, оценка производной потерь в конечных приращениях $\Delta\pi$ и ΔQ будет определяться в виде

$$\frac{\Delta\pi}{\Delta Q_i} = 2\beta \frac{U_\delta - U_i}{U_i}$$

Стоимость реактивной мощности при заданной цене затрат на производство и распределение электрической энергии U будет

$$C_Q = \frac{\partial C}{\partial Q_i} = -2\beta \frac{(U_i - U_\delta)}{U_i}$$

Обозначим выражение $-2\beta \frac{U_i - U_\delta}{U_i}$ через K , тогда стоимость 1 квар. ч реактивной энергии через стоимость 1 кВт. ч активной энергии определится как

$$C_Q = C.K$$

Как видно из приведенных выше выражений, потери активной мощности в сети в зависимости от величины потребляемой реактивной мощности и соответственно стоимость потребленной реактивной энергии определяются конструктивными параметрами

сети $\left(d = \frac{r_0}{x_0} \right)$ и режимным параметром -напряжением в узле нагрузки (U_i). Фактиче-

ские значения d для наиболее распространенных электрических сетей с проводами АС сечением от 150 до 400 мм² составляет от 0,5 до 0,2. Ниже в таблице приведены расчетные значения K в зависимости от $\cos \varphi$ нагрузки и напряжения в узле для значений $d=0,2$ и $d=0,4$. На рис. представлены зависимости $K(U_i, \cos\varphi)$ для $d=0,4$. При этом за U_0 принято $U_{ном}$, а $U_i^* = U_i/U_{ном}$.

Таблица

Cos φ / U_i^*	K (d=0,2)					K (d=0,4)				
	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
0,85	0,057	0,055	0,051	0,046	0,041	0,120	0,119	0,112	0,104	0,095
0,9	0,035	0,034	0,032	0,029	0,025	0,075	0,074	0,069	0,065	0,06
0,95	0,017	0,016	0,015	0,0135	0,012	0,036	0,035	0,033	0,031	0,028
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,05	-0,0155	-0,015	-0,013	-0,0134	-0,011	-0,032	-0,032	0,03	0,028	0,026
1,1	-0,029	-0,028	-0,0243	-0,0243	-0,021	-0,061	-0,06	-0,057	-0,053	-0,049

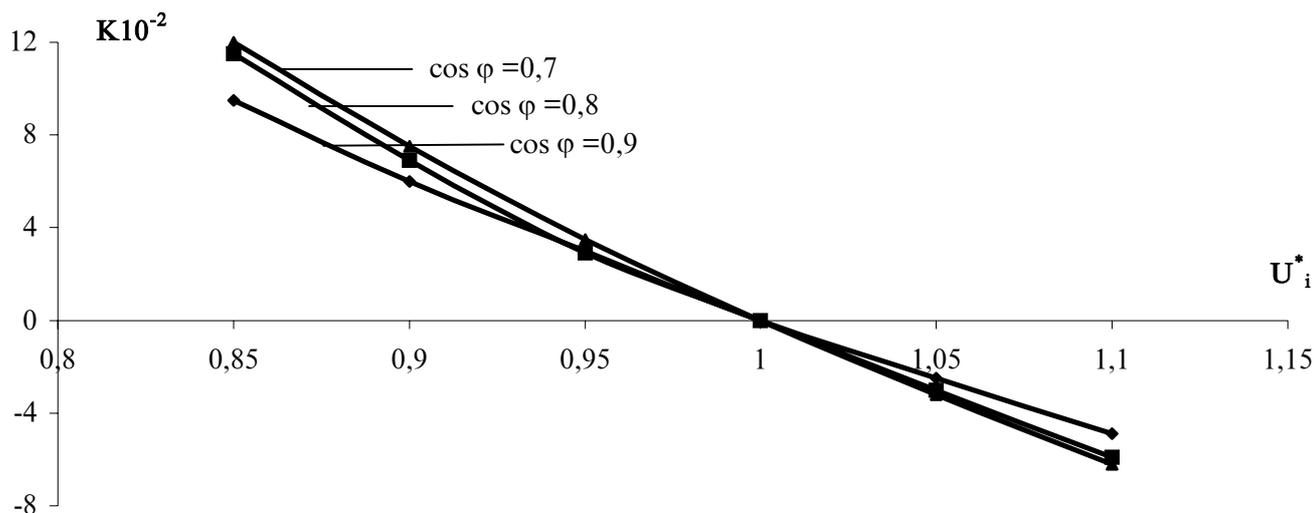


Рис.

Как видно из приведенных результатов, удельная стоимость реактивной энергии изменяется в зависимости от величины $\cos \varphi$ нагрузки, т.е. она должна устанавливаться дифференцировано для каждого потребителя.

Стоимость потребляемой предприятием реактивной энергии оценивается в пределах от 1,5 до 12% от стоимости производства и распределения активной энергии.

Другим очень важным для электроснабжения потребителей является качество электроэнергии (КЭЭ), подаваемой потребителям.

ГОСТ на КЭЭ [5] устанавливает 11 показателей, среди которых такие показатели качества напряжения, как отклонение и колебание напряжения, несинусоидальность, провалы и временные перенапряжения и т.д.

Для комплексной оценки этих показателей существуют специальные измерительно-вычислительные средства американского и российского производства [9,10], однако эти средства в нашей республике своего применения в настоящее время не нашли, в основном, по причине их высокой стоимости. Принимая во внимание, что энергетика переходит к рыночной системе управления, предприятия в своих экономических интересах должны изыскивать средства для приобретения этих устройств. Необходимо также иметь в виду, что в ближайшее время, возможно, не удастся обеспечить все объекты современными устройствами для комплексного контроля всех показателей КЭЭ, однако, на первых порах можно ограничиваться контролем только некоторых показателей КЭЭ, как, например, отклонение напряжения на шинах распределительных электрических сетей и у потребителей, и контролем потребления реактивной энергии промышленными предприятиями. Для этой цели могут использоваться ныне существующие статические анализаторы качества напряжения. Взаимоотношения между электропотребляющей и энергоснабжающей организациями должны регулироваться условиями договора на потребление электроэнергии. В договоре должно быть указано, какое напряжение должно поддерживаться при различных режимах нагрузки на шинах подстанции, являющейся границей между этими организациями. Необходимо планировать для предприятий, особенно промышленных предприятий, потребление и генерацию реактивной мощности в различных режимах нагрузки и осуществлять регулярный контроль их выполнения. Принимая во внимание, что отключения потребителей, не выполняющих договорные обязательства, не всегда возможны по производственным, социальным и другим условиям, нанесенный ущерб необходимо компенсировать за счет

стоимости использованной электроэнергии. Согласно готовящимся к изданию “Правилам электроснабжения республики”, предусматривается скидка на тариф за пользование электроэнергией в зависимости от КЭЭ в размере до 25 %. Стоимость же реактивной энергии, потребляемой потребителями, в “Правилах” четко не указана и поэтому можно руководствоваться приведенными выше стоимостными показателями по потребляемой реактивной энергии.

Исходя из вышеизложенного, считаем, что в настоящее время в реальных условиях нашей республики, необходимо:

1. Издание нормативного акта, согласно которому необходимо незамедлительно приступить к контролю и оценке КЭЭ в части напряжения в распределительных сетях напряжением 6 (10) и 0,4 кВ;

2. Планирование потребления реактивной мощности (энергии) промышленными и другими производственными предприятиями и создание системы ее контроля и дифференцированной оплаты;

3. Для стимулирования электроснабжения с нормативными качествами электроэнергии и компенсации ущерба от некачественной энергии применять скидку на стоимость отпускаемой потребителям электроэнергии в размере 25 % при отклонении напряжения более $\pm 10\%$ в течение времени более 5 % в сутки (согласно ГОСТ отклонение напряжения более $\pm 10\%$ считается недопустимым). Аналогичные санкции должны применяться и в отношении потребления реактивной мощности потребителями;

4. В настоящее время стоимость (тариф) пользования активной энергией устанавливается тарифной комиссией правительства. Стоимость реактивной энергии отдельно не устанавливается. Согласно существовавшим до 1990 годам документам, доля реактивной энергии оценивалась около 2 % при потреблении реактивной энергии, не превышающих экономических значений и удваивающихся при превышении экономических значений. Таким образом, стоимость реактивной энергии оценивалась в пределах 2-5%. Существенное значение имеет экономическое стимулирование компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях. Это можно сделать за счет дифференцированной оплаты за потребленную реактивную энергию или надбавки к тарифу на электроэнергию (активную) в размере также 25 % при превышении потребления реактивной энергии на 10 % в режиме максимальной нагрузки;

5. Для реализации приведенных положений необходим специализированный орган, который должен быть в структуре Госстандарта и Госэнергонадзора. Это структура должна иметь в своем составе квалифицированных в этой области специалистов и оснащаться необходимыми измерительными приборами. В качестве приборов могут использоваться экономически более выгодные приборы российского производства: ЭРИС - КЭЭ.01, ППКЭ - 1-50, РЕСУРС - ЦР, ИВК ОМСК, включенные в Государственный реестр измерений Госстандарта России;

6. Госэнергонадзор Азербайджанской Республики (при Министерстве топлива и энергетики Азербайджанской Республики) должен осуществлять плановый аудит состояния энергохозяйства предприятий и организаций республики с оценкой качества отпускаемой и потребляемой предприятиями электроэнергии, обеспечивая права потребителя на качественную электроэнергию и его обязанности перед электроснабжающей организацией по соблюдению установленных лимитов на пользование реактивной энергией и ее дифференцированную оплату;

7. Необходима пропаганда среди производителей и потребителей электроэнергии об их правах на обеспечение КЭЭ, вплоть до арбитражной и судебной ответственности.

-
1. Беляев Л.С., Марченко О.В., Подковальников С.В. Рост цены электроэнергии, необходимый для развития электроэнергетики при переходе к конкурентному рынку. Энергетика № 5 2002 г. с. 49-61.

2. Правила пользования электрической и тепловой энергией. Энергоатомиздат, М. 1982.
3. Правила присоединения потребителя к сети общего назначения по условиям влияния на качество электроэнергии. Главгосэнергонадзор, М. 1991
4. Правила применения скидок и надбавок к тарифам за качество электроэнергии, Главгосэнергонадзор. М. 1991.
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 13109-97 " Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения ".
6. Məmmədyarov O.S., Qasimov Ə.H. Sənaye müəssisəsinin elektrik iş rejimlərinin analizinin hesabat - təcrübə metodu. Enerqetikanın problemləri, №2, 2001 il.
7. Гамм А.З. Оптимизация режимов энергообъединений в новых экономических условиях./ Электричество 1993. №11. с. 2-8.
8. Электрические системы. Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов /Под ред. В. А. Великова. М: ВШ, 1973. 320с.
9. Никифоров В. Н. Состояние и перспективы развития средств измерений показателей качества электроэнергии М. ВНИИЭ, 2000.
10. Соколов В. С. Организационные и технические проблемы измерения качества электроэнергии. М. ВНИИЭ, 2000.

**ELEKTRİK ENERJİSİNİN DƏYƏRİNİN ONUN KEYFİYYƏTİNƏ
VƏ REAKTİV GÜCÜN SƏRFİNƏ GÖRƏ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ VƏ
TƏNZİMLƏNMƏSİ**

MƏMMƏDYAROV O. S., RƏHMANOV N. R.

İstehlak olunan enerjinin dəyərini qiymətləndirilməsində sərf olunan reaktiv enerjinin nəzərə alınması və elektrik gərginliyinin keyfiyyət məsələləri, həmçinin bu göstəricilərin bazar şəraitində elektrik təchizat sisteminin effektivliyinin artırılmasına təsiri araşdırılıb. Elektrik tələbatçılarında gərginliyin keyfiyyətinin və reaktiv enerjinin dəyərini fərdi qiymətləndirilməsi metodları təklif olunub.

**ASSESSMENT AND REGULATION OF CONSUMED REACTIVE ELECTRIC
ENERGY PRICE AND POWER QUALITY**

MAMEDYAROV O. S., RAKHMANOV N. R.

The paper describes composition of problems to be tanevintoaccount consumed reactive power energy and voltage quality under assessment consumed electricity prices and influence of these indexes on the increase of electric distribution system effectiveness operation in electricity market conditions. The methods of differential assessment of reactive electric energy price and voltage quality on the electric users are suggested.