

- shkola, 2004. – 101 p. (Ukr.)
3. Koshyk O.B. Analysis methods for modeling curves light distribution LED light sources / O.B. Koshyk // Lighting engineering and electroenergetics. – 2009. – № 3. – P. 65-68. (Ukr.)
 4. Kolotyuk A.P. Simulation of lighting devices based on LEDs / A.P. Kolotyuk, V.O. Shevchenko // Lighting engineering and electroenergetics. – 2010. – № 1. – P. 24-30. (Ukr.)
 5. Govorov F.P. Simulation of the parameters and characteristics of lighting devices on the basis of energy-saving led light sources / F.P. Govorov, N.I. Nosanov, T.I. Romanova, O.V. Korol // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – № 2. – P. 95-96. (Rus.)

Рецензент: С.С. Душкін
д-р техн. наук, проф., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова

Стаття надійшла 08.10.2015

УДК 621.3.016.25

© Жежеленко І.В.¹, Нестерович В.В.²

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПЛАТЫ ЗА ПЕРЕТОКИ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены методики оценки реактивной энергии, подлежащей оплате, при отсутствии результатов измерений на основе проектных расчетов. Рассмотрены и сопоставлены подходы к оценке платы за перетекание реактивной энергии, потребленной промышленным предприятием, принятые в Украине, России и Польше. Выявлены общие черты и различия рассмотренных методик. Дано обоснование понятия «реактивная мощность», используемого в работе.

Ключевые слова: реактивная мощность, реактивная энергия, перетоки реактивной энергии, система электроснабжения, экономический эквивалент реактивной мощности.

Жежеленко І.В., Нестерович В.В. Аналіз методів оцінки плати за перетікання реактивної енергії в мережах промислових підприємств. Розглянуто методики оцінки реактивної енергії, що підлягає сплаті, за відсутності результатів вимірювань на основі проектних розрахунків. Розглянуті і зіставлені підходи до оцінки плати за перетікання реактивної енергії, спожитої промисловим підприємством, прийняті в Україні, Росії та Польщі. Виявлено спільні риси і відмінності розглянутих методик. Дано обґрунтування поняття «реактивна потужність», що використовується в роботі.

Ключові слова: реактивна потужність, реактивна енергія, перетоки реактивної енергії, система електропостачання, економічний еквівалент реактивної потужності.

I.V. Zhezhelenko, V.V. Nesterovych. Assessment methods analysis of payments for reactive energy flows in the networks of the industrial enterprises. Assessment methods analysis of payments for reactive energy to be paid for in the absence of measurements results on the strength of design calculations have been studied. Approaches to payments assessment for flowing reactive energy consumed by an industrial enterprise, adopted by Ukraine, Russia and Poland have been examined and compared. Similarities and differences of the approaches under review have been revealed. The approach, acting in

¹ д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, kafedra.epp.pstu@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, nesterovych_v_v@pstu.edu

Ukraine, provides for the use of the reactive power economic equivalent concept as mandatory. Its value depends on the node voltage mode, the units of the load and other factors. In practice, a certain average value, which is given to a power consumer by the power supply company, is used. The paper notes that this approach is fraught with considerable error in calculating the payment for reactive power flows at the design stage of the power supply system. Probably, this fact is responsible for not using this approach either in Russia or in EU countries. There are currently no works, making it possible to compare the efficiency of methods for calculating reactive power flow costs according to the procedures adopted in Ukraine, Russia and other countries. In all these methods there are no requirements for the initial data correctness. It is not clear either what the required accuracy of the final result must be. The concept "reactive power" used in the work has been justified as well.

Keywords: reactive power, reactive energy, reactive power flow, power supply system, reactive power economic equivalent.

Постановка проблеми. При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий, как правило, решаются вопросы определения необходимого уровня компенсации реактивной мощности и, соответственно, выбора мест установки, типа и мощности устройств компенсации этой мощности. В связи с этим, при технико-экономическом обосновании возможных вариантов компенсации реактивной мощности большое значение приобретает методика определения возможного ущерба, вызванного недокомпенсацией или перекомпенсацией реактивной мощности. Одним из путей решения этой проблемы является оценка платы за перетоки реактивной мощности. Инструктивные материалы [1], посвященные определению платы за перетоки реактивной энергии, как правило, основываются на предварительно полученных путем измерений значениях реактивной мощности, что затрудняет их непосредственное использование в проектной практике.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных вопросам оплаты потребления реактивной энергии потребителями [2-7], однако отсутствуют работы, позволяющие сопоставить эффективность методов расчета затрат на перетекание реактивной мощности на стадии проектирования систем электроснабжения согласно методикам, принятым в Украине и других странах. Разработка соответствующих материалов весьма актуальна.

Во всех рассмотренных методиках отсутствуют требования к корректности исходных данных; неясно также, какая точность окончательных расчетов необходима. Решения этих вопросов должны стать задачей ближайшего будущего.

Целью данной работы является анализ и сопоставление подходов к оценке ущерба, связанного с перетоками реактивной мощности в сетях промышленных предприятий в Украине и за рубежом, которые могут быть применены при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий.

Изложение основного материала. При расчетах и анализе электромагнитных процессов в электроэнергетических системах и установках используется понятие «реактивная мощность» (реактивная энергия). Корректное использование его требует разъяснения существа этого понятия.

Реактивная мощность имеет место в электрических сетях переменного (синусоидального) тока, который, как известно, характеризуется значениями тока I , напряжения U и сдвига по фазе φ между ними. Если ток и напряжение совпадают по фазе ($\varphi=0$), то в сети передается активная мощность $P=UI=I^2R$. Движение электронов в проводнике обеспечивает передачу активной мощности (энергии) от источника к потребителю.

В проводниках и окружающем их пространстве существует переменное магнитное поле (в предыдущем случае – практически только внутри проводника), составляющие которого – магнитное и электрическое поле – изменяются с двойной частотой сети, что связано с попеременным накоплением энергии в электрическом и магнитном полях (то есть в индуктивностях оборудования и емкостях конденсаторов).

Для количественной оценки характеристики реактивной мощности рассмотрим энергетические процессы в индуктивности (в емкости процессы аналогичны). Как известно [8], значение энергии магнитного поля, Дж:

$$W_{эл} = \frac{Li^2}{2}, \quad (1)$$

где L – индуктивность элемента, Гн; i – сила тока, протекающего через элемент, А.
Мгновенное значение мощности в индуктивности, Вт

$$\frac{dW}{dt} = Li \frac{di}{dt}. \quad (2)$$

При $i = I_m \sin \omega t$ имеем

$$\frac{dW}{dt} = \omega LI^2 \sin 2\omega t = Q \sin 2\omega t, \quad (3)$$

где I_m – амплитудное значение силы тока, А;
 ω – угловая частота электрического тока, рад/с;
 Q – реактивная мощность, ВАр.

Аналогично оценке реактивной мощности как $Q = \omega LI^2$, для активной мощности используется выражение $P = I^2 R$, Вт.

Для анализа процессов, связанных с реактивной мощностью, большое значение имеет соотношение $Q/P = \operatorname{tg} \varphi$, где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

В ряде случаев [1, 12] вводится понятие граничного значения $\operatorname{tg} \varphi_c$ (обычно принимаемого равным 0,25 [1]). При превышении этого значения потребителю начисляются надбавки к тарифу.

Потери мощности ΔP определяются известным выражением, кВт

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \Delta P_p + \Delta P_Q, \quad (4)$$

где ΔP_p и ΔP_Q – составляющие потерь, обусловленные протеканием активной и реактивной мощности, кВт.

На практике всегда $\Delta P_p > \Delta P_Q$ (либо $\Delta P_p \gg \Delta P_Q$).

Производная функции $\Delta P_Q = \frac{Q^2}{U^2} R = D$ называется экономическим эквивалентом реактивной мощности (ЭЭРМ), кВт/кВАр:

$$D = \frac{d(\Delta P_Q)}{dQ} = \frac{2QR}{U^2}. \quad (5)$$

Характерное значение ЭЭРМ для узлов электрических сетей Польши [9] составляет:

узел электростанции	– 0,02;
узел 15 кВ подстанции 110/15 кВ	– 0,05;
узел 0,4 кВ подстанции 15/0,4 кВ	– 0,15.

Для подстанций 110/10 кВ меткомбинатов Мариуполя значение D составляет $D = 0,03$.

Значение ЭЭРМ в расчетах платы за перетекание реактивной мощности используется в Украине, Молдове, Китае и ряде других стран.

Значения реактивной энергии при отсутствии данных, характеризующих перетекание реактивной мощности (например, на стадии проектирования), подлежащие оплате WQ_n , кВт·час, определяются по формуле [1]

$$WQ_n = WP \operatorname{tg} \varphi_n, \quad (7)$$

где WP – потребление активной энергии за расчетный период, кВт·час;
 $\operatorname{tg} \varphi_n$ – нормативный коэффициент реактивной мощности, равный: 1,0 – для тяговых подстанций переменного тока железнодорожного транспорта; 0,5 – для тяговых подстанций постоянного тока железнодорожного транспорта, а также городского электротранспорта, метрополитена; 0,8 – для других потребителей.

Приведенные значения $\operatorname{tg} \varphi_n$ для различного рода потребителей теоретически не обоснованы; они получены, очевидно, в результате усреднения экспертных оценок различных специалистов-теоретиков, практиков, менеджеров.

Значение WP определяется согласно [10] либо принимается по данным проектных расчетов.

Фактический коэффициент мощности потребителя в среднем за расчетный период:

$$\operatorname{tg} \varphi_\phi = WQ_{\text{номр}} / WP, \quad (7)$$

где WP и $WQ_{\text{номр}}$ – потребление активной, кВт·год, и реактивной, кВАр·год, энергий за расчетный период.

Выражение для определения основной платы $\Pi 1$, грн., за реактивную электроэнергию:

$$\Pi 1 = WQ_n DT, \quad (8)$$

где T – средняя ставка тарифа, грн./кВт·час.

При недостаточном оснащении электрических сетей потребителя средствами компенсации реактивной мощности назначается надбавка $\Pi 2$, грн., определяемая по формуле

$$\Pi 2 = \Pi 1 (K_\phi - 1), \quad (9)$$

где K_ϕ – коэффициент, значение которого зависит от величины $\operatorname{tg} \varphi_\phi$ [1].

Для $\operatorname{tg} \varphi_\phi = \operatorname{tg} \varphi_n = 0,8$ может быть принято значение $K_\phi \approx 1,3$.

Надбавка (штраф) начисляется, если граничный коэффициент мощности $\operatorname{tg} \varphi_r \geq 0,25$.

В практике Польши затраты, связанные с перетеканием реактивной мощности (энергии), рассчитываются по выражениям, аналогичным (8), с использованием понятия ЭЭРМ [9]. Значения реактивной мощности, входящие в расчеты, принимаются по эксплуатационным данным; рекомендации по расчету их предполагаемых значений нет.

Институтом «Тяжпромэлектропроект» были разработаны и утверждены «Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий» [13].

Область применения указаний [13] – проектирование установок компенсации реактивной мощности в сетях общего назначения промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной электрической мощностью 750 кВ·А и выше, получающих питание от энергосистем.

Указаниями [13] могут руководствоваться все организации при проектировании новых и реконструируемых предприятий независимо от отрасли промышленности и ведомственной принадлежности организации.

Методика, предложенная Тяжпромэлектропроект, в основном корреспондируется с [1]; однако наличие сложных расчетных выражений делает эту методику громоздкой и неудобной в практическом использовании.

Согласно [13] расчетные активная P_p , кВт, и реактивная Q_p , кВАр, нагрузки определяются согласно [10] в целях выбора элементов сети электроснабжения по условиям их нагрева.

В расчеты вводится также так называемое экономическое значение реактивной мощности Q_ϕ , кВАр, потребляемой из сети энергосистемы в часы больших нагрузок электрической сети. Значение Q_ϕ связано со значением расчетной активной нагрузки выражением

$$Q_\phi = P_p \operatorname{tg} \varphi_\phi, \quad (10)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_\phi$ – максимальное значение экономического коэффициента реактивной мощности, определяемого энергоснабжающей организацией оптимизационным или нормативным методами.

Значение Q_ϕ для конкретного потребителя указывается в договоре на пользование электроэнергией. Рассчитывается также значение реактивной мощности Q_n , потребляемой из сети энергосистемы и превышающей экономическое значение.

Удельная стоимость потребления реактивной мощности и энергии C_{Q_ϕ} , не превышающего экономическое значение, руб. / кВАр·год, определяется по формуле

$$C_{Q_\phi} = (C_1 + d_1 T_{MQ_\phi} \cdot 10^{-2}) \cdot 1,6 K_1, \quad (11)$$

где C_1 – плата за потребляемую реактивную мощность, руб./кВАр·год, (согласно [12] $C_1 = 1,2$);
 d_1 – плата за потребляемую реактивную энергию, коп./кВАр·ч;
 T_{MQ_3} – годовое число часов использования максимальной реактивной мощности при потреблении, не превышающем экономическое значение, ч;
 K_1 – коэффициент удорожания компенсирующих устройств.

Удельная стоимость электроэнергии, для общности расчетов, должна быть фиксированной; с учетом курса рассматриваемого момента (если это потребуется) – согласно значению коэффициента дефляции.

Для потребителей, не имеющих приборов учета, значение C_{Q_3} определяется как

$$C_{Q_3} = d_1 T_{MQ_3} \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 K_1. \quad (12)$$

В России утвержден приказом Минэнерго порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных потребителей электроэнергии [11], а также «Методические указания по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности потребителей» [12].

Тарифы на электроэнергию дифференцированы по четырем уровням напряжения сети, к которой подключен потребитель. При этом значения граничного $\text{tg } \varphi$ составляют 0,5, 0,4 и 0,35 для сетей с напряжением 110 (154) кВ, 6-35 кВ и 0,4 кВ, соответственно.

Эти значения представлены с учетом предельно допустимых минимальных значений напряжения в узлах сети.

Расчетные значения реактивной мощности определяются либо путем измерений, либо – на стадии проектирования – по расчетному значению потребляемой активной мощности в часы больших и малых нагрузок.

Составляющая повышения тарифа в часы больших нагрузок Π_6 сверх установленных выше значений:

$$\Pi_6 = 0,2 (\text{tg } \varphi_\phi - \text{tg } \varphi_s) d, \quad (21)$$

где $\text{tg } \varphi_\phi$ – среднее значение коэффициента реактивной мощности в период больших нагрузок, измеренных приборами, либо рассчитанных методами, принятыми в проектной практике;

$\text{tg } \varphi_s$ – экономическое значение $\text{tg } \varphi$ ($\text{tg } \varphi_s = 0,2$);

d – соотношение электрической энергии, потребленной при больших нагрузках, к общему потребленному количеству за расчетный период;

$\text{tg } \varphi_\phi$ – фактическое значение $\text{tg } \varphi$, которое рассчитывается либо по графикам нагрузки, если они имеются, либо по проектируемым графикам, которые определяются в процессе проектирования, с учетом нормативных документов по расчету электрических нагрузок.

Например, в электрических сетях прокатных станов меткомбинатов значение $\text{tg } \varphi$ определяется, в основном, набросами реактивной мощности и при захвате металла валками: при работе устройств прямой или косвенной компенсации – $\text{tg } \varphi_\phi = 0,8 \div 0,85$, при системе генератор – двигатель – $\text{tg } \varphi_\phi = 0,65 \div 0,75$, в электрических сетях 10-110 кВ – $\text{tg } \varphi_\phi = 0,65$.

В промышленных электрических сетях с преобладанием двигательной (в основном асинхронной) нагрузки $\text{tg } \varphi_\phi$ в сетях 6-10 кВ составляет 0,3.

Поэтому при $\text{tg } \varphi_\phi < \text{tg } \varphi_s$ принимаем $\Pi_6 = 0$.

Дополнительные расходы ΔZ , грн., за невыполнение мероприятий по компенсации реактивной мощности

$$\Delta Z = W_{перед} T_{перед}, \quad (22)$$

где $W_{перед}$ – количество электроэнергии, поступившей из энергосистемы, кВт·час;

$T_{перед}$ – тариф на передачу электроэнергии, грн/кВт·час.

Выводы

1. Использование в методике [1], принятой в Украине, расчетного параметра «экономический эквивалент реактивной мощности» не способствует повышению корректности расчета платы за перетекание реактивной мощности при проектировании систем электроснабжения.

2. В настоящее время отсутствуют работы, позволяющие сопоставить эффективность методов расчета затрат на перетекание реактивной мощности согласно методикам, принятым в Украине, России и странах ЕС. Разработка соответствующих материалов весьма актуальна.

3. Во всех рассмотренных методиках отсутствуют требования к корректности исходных данных; неясно также, какая точность окончательных расчетов должна быть обеспечена. Решения этих вопросов должны стать задачей ближайшего будущего.

Список использованных источников:

1. Наказ про затвердження «Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії» від 17.01.2002 №19 / М-во палива та енергетики України. – Зареєстр. в М-ві юстиції України 01.02.2002 р. за № 93/6381. – К. – 17 с.
2. Железко Ю.С. Новые нормативные документы, определяющие взаимоотношения сетевых организаций и покупателей электроэнергии в части условий потребления реактивной мощности / Ю.С. Железко // Промышленная энергетика. – 2008. – № 8. – С. 2-6.
3. Расчет экономических эквивалентов реактивной мощности для узлов электрической сети [Электронный ресурс] / В.М. Пирняк [и др.] // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2013. – № 3. – С. 1-6. – Режим доступу : <http://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/388>.
4. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії та реактивну потужність між енергопостачальною організацією та її споживачами і суб'єктами оптового ринку електроенергії / Б.С. Рогольський [та ін.] // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро. – 2009. – № 5. – С. 10-20.
5. Герасименко А.А. Оптимальная компенсация реактивной мощности в системах распределения электрической энергии : монография / А.А. Герасименко, В.Б. Нешатаев. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 219 с.
6. Економічні еквіваленти реактивної потужності. Математичний та чисельний аналіз / Д.Б. Банін [та ін.] // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро. – 2004. – № 1. – С. 22-33.
7. Рогольський Б.С. Про використання економічних еквівалентів реактивної потужності для визначення плати за перетоки між енергопостачальними компаніями і їх споживачами / Б.С. Рогольський, О.М. Нанака // Промислова електроенергетика та електротехніка. Промелектро. – 2004. – № 4. – С. 44-51.
8. Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники : учебник для ВУЗов / Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 536 с. – (в 2-х т.; Т. 1).
9. Nowak M. Poradnik Inżyniera Elektryka / M. Nowak, R. Barlik. – 3 wyd. – Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1997. – 743 s. – 3 tom.
10. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок / ВНИПИ Тяжпромэлектропроект. – Введ. 1993–01–01. – М., 1992.
11. Приказ про утверждение «Порядка 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 (договоры энергоснабжения)» от 22.02.07 № 49 / Минпромэнерго. – М., 2007.
12. Приказ про утверждение методических указаний по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных 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) от 31.08.2010 № 219-э/6 / Федеральная служба по тарифам. – М., 2010.

13. РТМ 36.18.32.6-92. Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий/ ВНИПИ Тяжпромэлектропроект. – Введ. 1993–01–01. – М., 1992.

Bibliography:

1. Order of approval of calculation method of fees for reactive power flow at 17.01.2002 No. 19 / Ministry of Fuel and Energy of Ukraine. – Registered in the Ministry of Justice of Ukraine 01.02.2002 No. 93/6381. – К. – 17 p. (Ukr.)
2. Zhelezko Ju.S. New regulations governing the relationship network organizations and buyers of electricity in terms of the consumption of reactive power / Ju.S. Zhelezko // Industrial power. – 2008. – № 8. – P. 2-6. (Rus.)
3. The calculation of the economic equivalents of reactive power to the electrical network nodes [Electronic resource] / V.M. Pyrniak [et al.] // Scientific works of Vinnytsia National Technical University. – 2013. – № 3. – P. 1-6. – Access mode : <http://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/388>.
4. Methods of payment of fees for flows of reactive energy and reactive power between the power supply organization and its customers and agents of the wholesale electricity market / B.S. Rohalskyi [et al.] // Industrial power engineering and electrical engineering. Promelektro. – 2009. – № 5. – P. 10-20. (Ukr.)
5. Gerasimenko A.A. Optimal reactive power compensation in electrical power distribution system : monograph / A.A. Gerasimenko, V.B. Neshataev. – Krasnoyarsk : Sib. feder. univ, 2012. – 219 p. (Rus.)
6. Economic equivalents of reactive power. Mathematical and numerical analysis / D.B. Banin [et al.] // Industrial power engineering and electrical engineering. Promelektro. – 2004. – № 1. – P. 22-33. (Ukr.)
7. Rogalskyi B.S. On the use of economic equivalents of reactive power to determine fees for overflows between distribution companies and their customers / B.S. Rogalskyi, O.M. Nanaka // Industrial power engineering and electrical engineering. Promelektro. – 2004. – № 4. – P. 44-51. (Ukr.)
8. Nejman L.R. Theoretical Foundations of Electrical Engineering : textbook for high schools / L.R. Nejman, K.S. Demirchjan. – L. : Enehoizdat, 1981. – 536 p. – (in 2 volumes; Vol. 1) (Rus.)
9. Nowak M. Poradnik Inżyniera Elektryka / M. Nowak, R. Barlik. – 3 wyd. – Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1997. – 743 s. – 3 tom. (Pol.)
10. РТМ 36.18.32.4-92. Guidelines for the calculation of electrical loads / VNIPI Tjzhpromelektroproekt. – Introduced 1993–01–01. – М., 1992. (Rus.)
11. Order on approval of «The procedure for calculating the values of the ratio of consumption of active and reactive power for the individual power receivers (groups of power units) of electricity consumers, used to determine the parties' obligations in contracts for the provision of services for the transmission of electric energy (power supply agreements)» at 22.02.07 No. 49 / Minpromenergo. – М., 2007. (Rus.)
12. Order on approval of instructional guidelines for the calculation of the increase (step-down) factors to the tariffs for the transmission of electric energy, depending on the ratio of consumption of active and reactive power for the individual power receivers (groups of power units) of electricity consumers, used to determine the parties' obligations under agreements on providing services for electric energy transmission on the unified national (all-Russia) electric grid (supply contracts) at 31.08.2010 No. 219-e/6 / The Federal Tariff Service. – М., 2010. (Rus.)
13. РТМ 36.18.32.6-92. Guidelines for designing installations of reactive power compensation in general purpose electric networks of industrial enterprises / VNIPI Tjzhpromelektroproekt. – Introduced 1993–01–01. – М., 1992. (Rus.)

Рецензент: С.В. Гулаков
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 23.11.2015