

## Рациональная компенсация реактивной мощности потребителей деревоперерабатывающих производств

В.А. Скорняков<sup>1 a</sup>, А.А. Федяев<sup>2 b</sup>, А.В. Сергеевичев<sup>1 c</sup>, Ар.А. Федяев<sup>1 d</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>a</sup>910sav@gmail.com, <sup>b</sup>vends1@mail.ru, <sup>c</sup>alexander910@yandex.ru, <sup>d</sup>art\_fedyayev@mail.ru

Статья поступила 8.12.2016, принята 26.01.2017

*В 2010 г. распоряжением правительства РФ утверждена государственная программа «Электроснабжение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Ее основные технические мероприятия в энергосетевом хозяйстве направлены на снижение потерь электроэнергии до 8-9 % к 2020 г. Одним из конкретных технических мероприятий Программы в энергосетевом хозяйстве является снижение доли реактивной мощности потребителей, а также ее рациональная компенсация. Передача необходимой реактивной мощности к потребителю всегда сопровождается дополнительными потерями активной мощности и электроэнергии в сетях. Так, при поступлении к потребителю активной и реактивной мощности в сети возникают потери активной мощности, зависящие как от одной, так и от другой составляющей полной мощности. Можно добиться снижения дополнительных потерь от реактивной мощности за счет ее компенсации в местах потребления. Для этого на предприятиях обычно используются батареи конденсаторов, и реже — синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения. Установка устройств компенсации у потребителей позволяет уменьшить реактивную и полную мощности в сетях, разгрузить генераторы электростанций и подключить к ним дополнительные потребители электроэнергии. Это подтверждает важность решения вопроса компенсации реактивной мощности, а также необходимость более значительных затрат на эти цели по сравнению с другими отраслями промышленности и принципиальную целесообразность средств индивидуальной компенсации для отдельных крупных электродвигателей длительного режима работы. В настоящее время компенсация преобладающих реактивных нагрузок потребителей чаще осуществляется путем установки конденсаторных батарей непосредственно на трансформаторных подстанциях, что не обеспечивает снижение существенных потерь активной мощности и электроэнергии во внутренних низковольтных сетях и достижение требуемого уровня напряжения у потребителей, удаленных от подстанции. В связи с этим следует ориентироваться на преимущественное использование групповых и индивидуальных устройств компенсации. Рациональная компенсация реактивной мощности способствует снижению потерь мощности из-за перетоков реактивной мощности, обеспечению надежности качества потребляемой электроэнергии за счет регулирования и стабилизации уровня напряжений в электросетях, достижению высоких технико-экономических показателей работы электроустановок.*

**Ключевые слова:** компенсация реактивной мощности; потери активной мощности; устройства компенсации.

## Rational compensation of wattless power of consumers of wood processing production

V.A. Scorniyakov<sup>1 a</sup>, A.A. Fedyaev<sup>2 b</sup>, A.V. Sergeevichev<sup>1 c</sup>, Ar.A. Fedyaev<sup>1 d</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, 5, Institutsky per., St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Bratsk State University, 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>a</sup>910sav@gmail.com, <sup>b</sup>vends1@mail.ru, <sup>c</sup>alexander910@yandex.ru, <sup>d</sup>art\_fedyayev@mail.ru

Received 8.12.2016, accepted 26.01.2017

*The Order of the Russian Federation Government approved the state program "Power supply and increase in power effectiveness for the period till 2020" in 2010. Its main technical actions in the sphere of power network economy are directed to reduce the losses of electric power to 8 – 9% by 2020. One of specific measures of the Program is the reduction of the share of wattless power of consumers and its rational compensation. The transfer of necessary wattless power to the consumer is always followed by incidental losses of active power and electric power in networks. Thus, when the consumer receives active and wattless power, the losses of active power in the network, depending on both components of gross output, occur. The compensation of wattless power in the place of consumption helps to reduce its incidental losses. For this purpose, the enterprises use either capacitor banks or synchronous motors working in overexcitement mode. The installation of compensating devices at the consumers makes it possible to reduce wattless and gross power in networks, unload generators of power plants and connect some extra electric power consumers to them. It confirms the importance of dealing with the problem of wattless power compensation; the need for more considerable costs on wattless power compensation in comparison with other industries and, the principal utility of individual compensating installations of wattless power for separate large electric motors of continuous duty. At present the compensation of prevailing wattless loads of consumers is carried out more often by direct installation of capacitor banks on the transformer substations, which does not provide the reduction of incidental losses either of active*

power or electric power in internal low-voltage networks and a required tension level at the consumers removed from a substation. In this regard, it is necessary to concentrate on a preferential use of group and individual compensating devices. Rational wattless power compensation leads to the reduction in power losses because of a wattless power overflow, the reliable quality of consumed electric power due to regulation and stabilization of voltage level in power supply networks and, the achievement of high technical and economical rates in a working process of electrical installations.

**Keywords:** wattless power compensation; real-power losses; compensating installations.

### Введение

В 2010 г. распоряжением правительства РФ утверждена государственная программа «Электроснабжение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Ее основные технические мероприятия в энергосетевом хозяйстве направлены на снижение потерь электроэнергии до 8-9 % к 2020 г.

Одним из конкретных технических мероприятий Программы в электросетевом хозяйстве является снижение доли реактивной мощности потребителей, а также их рациональная компенсация.

Компенсация реактивной мощности промышленных потребителей электрической энергии является наиболее эффективным способом снижения потерь электроэнергии, одним из средств регулирования напряжения в электрических сетях, повышения их пропускной способности и экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) [1–10].

**Методика исследований.** Передача необходимой реактивной мощности к потребителю всегда сопровождается дополнительными потерями активной мощности и электроэнергии в сетях. Так, при поступлении к потребителю активной ( $P$ ) и реактивной ( $Q$ ) мощности в сети сопротивлением  $R$  возникают потери активной мощности, зависящие как от одной, так и от другой составляющей полной мощности ( $S$ ):

$$\Delta P = \left( \frac{S^2}{U^2} \right) \cdot R = \left( \frac{P^2}{U^2} \right) \cdot R + \left( \frac{Q^2}{U^2} \right) \cdot R = \Delta P_a + \Delta P_q, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  — общие потери активной мощности в сети, Вт;  $S$  — полная мощность, ВА;  $U$  — напряжение электрической сети, В;  $R$  — сопротивление сети, Ом;  $Q$  — реактивная мощность сети, ВАр;  $\Delta P_a$  — потери мощности за счет активной составляющей, Вт;  $\Delta P_q$  — потери мощности за счет реактивной составляющей, Вт.

Можно добиться снижения дополнительных потерь от реактивной мощности ее компенсацией в местах потребления. В качестве устройств компенсации реактивной мощности (КУ) на предприятиях обычно используются батареи конденсаторов, и реже — синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения.

Установка КУ у потребителей позволяет уменьшить реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности в сетях, разгрузить генераторы электростанций и подключить к ним дополнительные потребители электроэнергии. При этом снижаются затраты на строительство новых электростанций и обеспечивается экономия ТЭР.

Потери электроэнергии в сети сопротивлением  $R$  за время  $T$  прямо пропорциональны квадрату тока:

$$\Delta W = I^2 RT = I_a^2 RT + I_q^2 RT = \Delta W_a + \Delta W_q, \quad (2)$$

где  $I_a$  и  $I_q$  — соответственно активная и реактивная составляющие тока, А;  $\Delta W_a$ ,  $\Delta W_q$  — потери электроэнергии, обусловленные соответственно активными и реактивными токами, Вт.

Снижение дополнительных потерь электроэнергии  $\Delta W_q$  от индуктивных токов происходит за счет емкостных токов КУ. При этом уменьшается полный ток сети  $I$ , что приводит к сокращению всех видов потерь мощности, электроэнергии и напряжения. Последнее обстоятельство облегчает поддержание заданного уровня напряжения и выполнения требований к качеству электроэнергии без значительных дополнительных затрат.

Рациональная компенсация реактивной мощности позволяет также уменьшить количество и мощность силовых трансформаторов, сечения токоведущих элементов при проектировании электрических сетей или, используя возросшую способность эксплуатируемых сетей, подключить к ним дополнительные потребители.

Исследования показали, что средняя эксплуатационная загрузка электродвигателей станков и механизмов фанерных предприятий не превышает 30–50 % [11]. Это объясняется выбором двигателей по наиболее тяжелым режимам, которые на практике реализуются весьма редко.

Поэтому у значительной части отдельных потребителей электроэнергии, установок, цехов и трансформаторных подстанций средние и максимальные фактические реактивные нагрузки превышают соответствующие активные нагрузки. Следовательно, формирование их полной нагрузки  $S$  происходит при преобладающем участии реактивных нагрузок  $Q$ . Это свидетельствует о важности решения вопроса компенсации реактивной мощности, а также необходимости более значительных затрат на компенсацию реактивной мощности по сравнению с другими отраслями промышленности и о принципиальной целесообразности средств индивидуальной компенсации реактивной мощности для отдельных крупных электродвигателей длительного режима работы [12].

В настоящее время компенсация преобладающих реактивных нагрузок потребителей чаще осуществляется путем установки конденсаторных батарей (КБ) непосредственно на трансформаторных подстанциях.

Такое размещение КУ не обеспечивает снижение существенных потерь активной мощности и электроэнергии во внутренних низковольтных сетях и требуемого уровня напряжения у потребителей, удаленных от подстанции. В связи с этим следует ориентироваться на преимущественное использование групповых и индивидуальных КУ.

В соответствии с новыми правилами, суммарную мощность компенсирующих устройств КУ промышленного предприятия с присоединенной мощностью 750 кВА и более целесообразно определять по условию [12]:

$$\sum Q_{ку} \leq Q_{мф} - Q_{мэ}, \quad (3)$$

где  $Q_{мф}$  — наибольшая из фактических или расчетных получасовых реактивных нагрузок предприятия в часы пик активной нагрузки энергосистемы,  $ВАр$ ;  $Q_{мэ}$  — заданная энергосистемой наибольшая (оптимальная) реактивная мощность в сети предприятия в часы пик активной нагрузки энергосистемы,  $ВАр$ .

При  $\sum Q_{ку} \leq Q_{мф} - Q_{мэ}$  полностью выполняются требования по компенсации реактивной мощности за квартал с наибольшей реактивной нагрузкой предприятия, но для других кварталов, с меньшей реактивной нагрузкой, выбранное значение  $Q_{ку}$  может оказаться избыточным. Однако, несмотря на ухудшение использования КУ, при этом обеспечивается резерв реактивной мощности в узлах сети, позволяющих выполнять технические требования к работе сетей и потребителей электрической энергии в послеаварийных режимах.

Выбор мощности, типа размещения и режима работы КУ должен осуществляться на основе результатов технико-экономических расчетов в соответствии с Типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений. Наилучший вариант характеризуется выполнением всех технических требований при наибольшей экономичности.

Обычно наибольший экономический эффект достигается при размещении КУ вблизи от потребителей реактивной мощности, т. е. непосредственно в цехах промышленных предприятий, у групповых распределительных пунктов (групповая компенсация) или у мощных электродвигателей (индивидуальная компенсация).

В настоящее время большая часть КУ предприятий находится именно на трансформаторных подстанциях. Перенесение их в цеха, ближе к потребителям реактивной мощности, позволит разгрузить низковольтные сети и повысит их пропускную способность, сократит потери электроэнергии в сети. Таким образом, только правильный выбор мощности в сочетании с рациональным размещением КУ обеспечивает наибольшее снижение потерь электроэнергии в сетях.

Практическая реализация имеющихся возможностей в этом направлении является важной задачей электроэнергетических служб.

Во избежание перекомпенсации на мощность групповых и индивидуальных КУ накладываются следующие ограничения:

– для регулируемых автоматических групповых КУ:

$$Q_{кгр} \leq Q_{мер}, \quad (4)$$

где  $Q_{кгр}$  — реактивная мощность групповых КУ,  $ВАр$ ;  $Q_{сгр}$  — средняя реактивная нагрузка группы потребителей электроэнергии,  $ВАр$ ;

– для нерегулируемых групповых КУ:

$$Q_{кгр} \leq 2Q_{сгр} - Q_{мер}, \quad (5)$$

где  $Q_{мер}$  — максимальная реактивная нагрузка группы потребителей электроэнергии,  $ВАр$ ;

– для индивидуальных КУ:

$$q_k \leq 1,1q_0 \approx 1,1 \frac{2,22 - 2,12 \cos \varphi_n \cdot P_n}{\eta_n}, \quad (6)$$

где  $q_n$  — реактивная мощность индивидуальных КУ,  $ВАр$ ;  $\eta_n$  — номинальный КПД двигателя;  $\cos \varphi_n$  — номинальный коэффициент активной мощности двигателя;  $P_n$  — номинальная мощность двигателя,  $кВт$ ;  $q_0$  — реактивная мощность, потребляемая асинхронным двигателем при холостом ходе,  $ВАр$ ;  $P_n$ ,  $\eta_n$ ,  $\cos \varphi_n$  — паспортные данные электродвигателя.

При  $q_0 < 13$  кВАр установка индивидуальных КУ не рекомендуется.

Выбор КУ и числа ступеней для установки автоматической компенсации реактивной мощности (АКРМ) производятся следующим образом.

Потери активной мощности в цепи ( $\Delta p$ ) равны,  $Вт$ :

$$\Delta p = 3I^2Z, \quad (7)$$

где  $Z$  — полное сопротивление цепи,  $Ом$ ;  $I$  — ток в цепи,  $A$ :

$$I = \frac{S}{3U_n} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{3U_n}, \quad (8)$$

где  $U_n$  — номинальное напряжение электрической сети,  $V$ . Тогда:

$$\Delta p = \frac{3P^2Z}{(3U_n)^2} + \frac{3Q^2Z}{(3U_n)^2} = \Delta P_a + \Delta P_p, \quad (9)$$

где  $\Delta P_p$  — потери активной мощности, вызванные наличием реактивной нагрузки,  $Вт$ .

Задача заключается в снижении потерь активной мощности, вызванных наличием реактивной нагрузки:

$$\Delta P_p = \frac{Q^2Z}{U_n^2}. \quad (10)$$

Мощность конденсаторов, включенных при АКРМ, равна:

$$\Delta Q = Q - q \frac{Q}{n}, \quad (11)$$

где  $n$  — суммарное число включенных секций КБ;  $q$  — число секций, включенных при текущем значении реактивной мощности  $Q$ ,  $ВАр$ .

Степень снижения потерь активной мощности за счет АКРМ можно определить как:

$$\beta = \frac{\Delta P_p^{(АКРМ)}}{\Delta P_p} = \left( \frac{\Delta Q}{Q} \right) = \left( \frac{Q - q \frac{Q}{n}}{Q} \right) = \left( 1 - \frac{q}{n} \right)^2. \quad (12)$$

Поскольку перекомпенсация недопустима, число секций, включенных при данном  $Q$ :

$$q = n - 1. \quad (13)$$

Тогда:

$$\beta = \frac{\Delta P_p^{(АКРМ)}}{\Delta P_p} = \frac{1}{n^2}, \quad (14)$$

где  $\beta$  — степень снижения потерь активной мощности;  $\Delta P_p^{(АКРМ)}$  — потери активной мощности, вызванные наличием реактивной нагрузки АКРМ,  $Вт$ .

Из последнего выражения следует, что степень снижения потерь активной мощности ( $\beta$ ) обратно пропорциональна квадрату числа ступеней компенсации.

При  $n = 3$  эта степень уже достаточно мала ( $\beta = \frac{1}{9}$ ), и

дальнейшее увеличение числа ступеней неэкономично.

Всегда при выборе мощности КБ и, следовательно, ее сопротивления, а также места подключения необходимо убедиться в отсутствии резонансных явлений. Одной из малоизученных проблем, влияющих на качество питающего напряжения, в том числе у конечных электропотребителей, является резонанс токов (параллельный резонанс). Это опасное явление возникает при наличии и возрастании доли нелинейных электропотребителей (прежде всего «компьютерных» и аналогичных им нагрузок) и одновременном, практически повсеместном, использовании установок компенсации реактивной мощности (УКРМ), подключенных к шинам низкого напряжения трансформаторов.

Это явление резонанса, связанное с работой силовых трансформаторов и установок компенсации реактивной мощности, в общем представлении есть не что иное, как хорошо известный из теории электротехники резонансный контур.

Применительно к нашим условиям можно сказать, что установка компенсации реактивной мощности является в контуре емкостью, а трансформатор — индуктивностью. Таким образом, индуктивность обмоток трансформатора, а также количество включенных конденсаторов УКРМ и определяют резонансную частоту рассматриваемой цепи.

**Результаты исследований.** Для расчета условий возникновения резонансных явлений на участке цепи «трансформатор – УКРМ» необходимо знать емкость конденсаторов, т. е. число включенных в работу ступеней установки компенсации реактивной мощности, а также параметры силового трансформатора, в частности его номинальную мощность ( $S_T$ ) и напряжение короткого замыкания ( $U_{кз}$ ). Зная эти исходные данные, можно определить номер гармоники промышленной частоты, на которой возникает резонанс:

$$N = \sqrt{\frac{S_T}{U_{кз} \cdot Q_{УКРМ}}}, \quad (15)$$

где  $Q_{УКРМ}$  — реактивная мощность установки компенсации реактивной мощности (УКРМ),  $ВАр$ .

Произведем расчет на примере трансформатора 1 000 кВА,  $U_{кз} = 0,65$  В при работе трех ступеней УКРМ мощностью по 100 кВАр.

#### Результаты расчетов

Количество ступеней в работе	Мощность УКРМ, кВАр	Номер гармоники, $N$
1	100	12,40
2	200	8,77
3	300	7,16

В зависимости от гармонического состава нагрузки (нелинейной), на участке «трансформатор – УКРМ» могут возникать резонансные явления для одной из гармоник (см. таблицу), что способно привести к следующим опасным последствиям:

- ухудшение качества питающего напряжения на шинах низкого напряжения трансформатора, а именно увеличение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, а также коэффициентов  $n$ -й гармонической составляющей напряжения;

- влияние на условия работы силовых трансформаторов, изначально рассчитанных на условия работы при 50 Гц. Известно, что при протекании несинусоидальных токов по обмоткам трансформаторов за счет явления поверхностного эффекта и эффекта близости резко возрастают тепловые потери в них, кроме того, возникают потери, связанные с магнитными потоками рассеяния. Это приводит к значительному повышению температуры элементов трансформатора даже при токах, величина которых существенно ниже номинальных для трансформатора данного типа и мощности;

- возрастают потери мощности  $\Delta P$  в конденсаторах за счет уменьшения сопротивления с ростом частоты, что приводит к их дополнительному нагреву, вспучиванию, а иногда даже к взрыву:

$$\Delta P = \sum_{n=1}^N U_{(n)}^2 \cdot n \cdot \omega \cdot C \cdot tg\delta, \quad (16)$$

где  $U$  — напряжение гармоники, В;  $n$  — порядок гармоники;  $C$  — емкость конденсатора, ф;  $\omega = 2\pi f$  — угловая частота напряжения сети ( $f = 50$  Гц);  $tg\delta$  — характеристика диэлектрика конденсатора.

Для четкого ответа на вопрос, будет ли резонанс и на какой частоте, нужно знать гармонический состав потребителей и проводить реальные измерения и наблюдения. Но необходимо иметь в виду, что наличие мощной линейной нагрузки демпфирует нелинейную нагрузку, снижая тем самым «остроту» резонансных явлений.

Например, приводы деревообрабатывающих станков питаются от преобразователей, снабженных 6-пульсным выпрямителем, который выдает в сеть следующие гармоники: 1, 5, 7, 11, 13, 17, 19.

Сравнивая данные расчетов в таблице и вышеприведенные гармоники, можно сказать, что возможен резонанс на 7-й и 11-й гармониках.

Для защиты УКРМ от резонансных токов можно использовать трехфазный дроссель, смещающий частоту резонанса контура, образованного КБ, дросселем и трансформатором ниже диапазона частот наиболее мощных гармоник. Последовательно с каждым конденсатором рекомендуется ставить трехфазный дроссель таким образом, чтобы система «конденсатор – дроссель» имела индуктивный характер на критических частотах и емкостный характер — на основной частоте 50 Гц. Для этого система «конденсатор – дроссель» должна иметь резонансную частоту ниже наименьшей частоты гармоники, присутствующей в сети, которая в нашем случае 7-я (350 Гц).

## Выводы

Одним из эффективных путей рационального использования электроэнергии и повышения технико-экономических показателей работы электрооборудования является компенсация реактивной мощности (КРМ).

Рациональная КРМ способствует снижению потерь мощности из-за перетоков реактивной мощности, обеспечению надежности качества потребляемой электроэнергии за счет регулирования и стабилизации уровня напряжения в электросетях, достижению высоких технико-экономических показателей работы электроустановок.

Если говорить конкретно о целесообразности вложений в компенсирующие установки КУ, то она диктуется нормативами, несоблюдение требований которых влечет за собой повышение тарифа на электроэнергию. Что касается централизованной компенсации, то это, несомненно, более удобно с точки зрения монтажа, но, как выяснилось, более дорого, чем при индивидуальной компенсации, что объясняется покупкой готового продукта. Во втором случае, при индивидуальной компенсации, решение более сложно с точки зрения монтажа, но более выгодно с позиции капитальных вложений. Также во втором случае уменьшаются потери в распределительной сети, что является дополнительным преимуществом. В обоих случаях уменьшается необходимая мощность трансформатора и в целом снижаются затраты на его покупку.

## Литература

1. Паули В.К., Воротников Р.А. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии // Энергоэксперт. 2007. № 2. С. 16-22.
2. Кухта О., Симонова Е. К вопросу об энергоэффективности компенсации реактивной мощности // Энергетическая политика Украины. 2004. № 9. С. 90-93.
3. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. М.: Энергоатомиздат, 1985. 224 с.
4. Овсейчук В.А. Компенсация реактивной мощности. К вопросу об технико-экономической целесообразности // Новости электротехники. 2008. № 6. С. 42-46.
5. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоиздат, 1987. 336 с.
6. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2006. 248 с.
7. Вагин Г.Я., Головкин Н.Н., Юртаев С.Н. К вопросу о применении синхронных двигателей для компенсации реак-

тивной мощности // Актуальные проблемы электроэнергетики: тр. НГТУ. 2008. С. 99-104.

8. Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 1990. 200 с.

9. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М., Федин В.Т. Компенсирующие и регулирующие устройства в электрических системах. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 112 с.

10. Power Factor Correction. Production Profile 2004 // Published by EPCOS AG. Ordering NO EPC: 26012-7600. Germany. 2004.

11. Александров П.П., Павлосюк В.А., Алябьев В.М. Рациональное использование и экономия энергоресурсов в деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесная промышленность, 1985. 135 с.

12. Алябьев В.М. Электротехника и промышленная электроника. Методические указания по определению нагрузок лесопромышленных предприятий. Л.: ЛТА, 1985. 62 с.

## References

1. Pauli V.K., Vorotnikov R.A. Reactive power compensation as an effective means of rational use of electricity // Energoekspert. 2007. № 2. P. 16-22.
2. Kukhta O., Simonova E. To the question of energy efficiency Reactive power compensation // Energeticheskaya politika Ukrainy. 2004. № 9. P. 90-93.
3. Zhelezko Yu.S. Reactive power compensation and improving power quality. M.: Energoatomizdat, 1985. 224 p.
4. Ovseichuk V.A. Reactive power compensation. To the question of technical and economic expediency // The News of Electrical Engineering. 2008. № 6. P. 42-46.
5. Ivanov V.S., Sokolov V.I. Modes of consumption and quality of the electricity supply systems of industrial enterprises. M.: Energoizdat, 1987. 336 p.
6. Kabyshev A.V., Obukhov S.G. Calculation and design of the systems of objects and installations. Tomsk: Izd-vo Tom. politekh. un-ta, 2006. 248 p.
7. Vagin G.Ya., Golovkin N.N., Yurtaev S.N. On the question of the application of synchronous motors for reactive power compensation // Aktual'nye problemy elektroenergetiki: tr. NGTU. 2008. P. 99-104.
8. Kovalev I.N. Selection of compensating devices in the design of electrical networks. M.: Energoatomizdat, 1990. 200 p.
9. Pospelov G.E., Sych N.M., Fedin V.T. Compensatory and control devices in electrical systems. L.: Energoatomizdat, 1983. 112 p.
10. Power Factor Correction. Production Profile 2004 // Published by EPCOS AG. Ordering NO EPC: 26012-7600. Germany. 2004.
11. Aleksandrov P.P., Pavlosyuk V.A., Alyab'ev V.M. Efficient use and saving of energy in the woodworking industry. M.: Lesnaya promyshlennost', 1985. 135 p.
12. Alyab'ev V.M. Electrical Engineering and Industrial Electronics. Metodicheskikh ukazaniya po opredeleniyu nagruzok lesopromyshlennykh predpriyatii. L.: LTA, 1985. 62p.