


Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национально исследовательский университет)  
Факультет «Энергетический»  
Кафедра «Системы электроснабжения»

РЕФЕРАТ

Группа Э-446

Уракова Екатерина Николаевна 

на тему: «Внедрение механизма оплаты за реактивную мощность для потребителей розничного рынка электроэнергии как мера повышения качества электроэнергии. Мировой опыт»

Научный руководитель: Валеев Рустам Галимьянович



Челябинск-2015 год

## Аннотация

Уракова Е.Н. Внедрение механизма оплаты за реактивную мощность для потребителей розничного рынка электроэнергии как мера повышения качества электроэнергии. Мировой опыт. – Челябинск: ЮУрГУ, Э – 446; 2015–38с., 7 ил., 4 табл., библиогр. список – 9 наим..

В данной работе дано полное определение реактивной мощности, проанализировано ее влияние на системы электроснабжения, проанализированы механизмы оплаты за реактивную мощность для потребителей розничного рынка электроэнергии России и Евросоюза.

Проведены сравнения тарифов и сделаны выводы с рекомендациями.

## Оглавление

Введение.....	4
1.Понятие реактивной мощности .....	5
2.Реактивная мощность на розничном рынке электроэнергии Российской Федерации.....	11
3.Реактивная мощность на рынке электроэнергии в мире.....	23
Библиографический список.....	37

## Введение

Реактивная мощность в электрических сетях во многом устанавливает значение их технико-экономических показателей. В данный момент проблему реактивной мощности особенно остро обсуждают как энергетики, так и потребители электроэнергии. Опубликовано много научных статей и нормативных документов, касающихся этой проблемы. Тем не менее, отмечается определенная однобокость в рассмотрении места и роли реактивной мощности в электрических сетях. Среди задач, которые возникают с генерированием, передачей и потреблением реактивной мощности, больше всего уделяется внимания влиянию ее на потери активной мощности (электроэнергии) в электрических сетях. Например, методики определения платы за перетоки реактивной электроэнергии, другими словами, компенсации реактивной мощности, разрабатывают с учетом только этого фактора.

В современных условиях дефицита энергетических ресурсов все более важную роль на промышленных предприятиях приобретают проблемы энергосбережения. Принятый Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности..» и Энергетическая стратегия России на период до 2030 года призваны обеспечить реализацию на промышленных предприятиях потенциала организационного и технологического энергосбережения.

Значительное влияние на потери электроэнергии в электрических сетях оказывают перетоки реактивной мощности. Поскольку на промышленных предприятиях большинство электроприемников наряду с активной мощностью потребляет также и реактивную (причем в зависимости от

характера электроприемников их реактивная нагрузка может составлять до 130 % активной нагрузки [9]), то перетоки реактивной мощности в промышленных электрических сетях могут быть весьма существенными. В настоящее время реактивная мощность нормируется Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 23.06.2015 № 380 «О порядке расчета значений соотношений потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств(групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии».[5]

## 1. Понятие реактивной мощности

В электрических цепях, содержащих комбинированные сопротивления (нагрузку), в частности, активную (лампы накаливания, электронагреватель и др.) и индуктивную (электродвигатели, распределительные трансформаторы, сварочное оборудование, люминесцентные лампы и др.) составляющие, общую мощность, забираемую от сети, можно выразить векторной диаграммой.

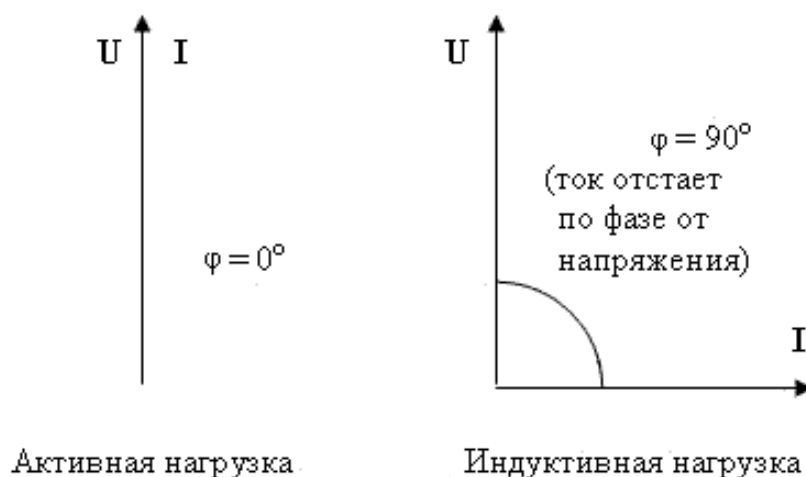


Рис. 1. Векторная диаграмма активной и индуктивной нагрузки

Отставание тока по фазе от напряжения в индуктивных элементах обуславливает интервалы времени (см. рис. 2), когда напряжение и ток имеют противоположные знаки: напряжение положительно, а ток отрицателен и наоборот. В эти моменты мощность не потребляется нагрузкой, а подается обратно по сети в сторону генератора. При этом электроэнергия, запасаемая в каждом индуктивном элементе, распространяется по сети, не рассеиваясь в активных элементах, а совершая колебательные движения (от нагрузки к генератору и обратно). Соответствующую мощность называют реактивной.

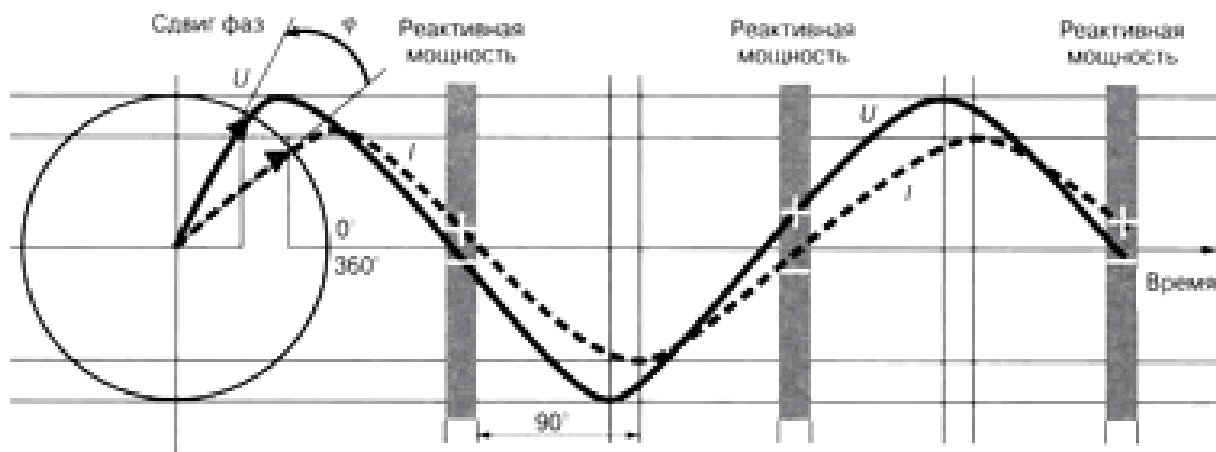


Рис 2. К понятию о реактивной мощности: сдвиг по фазе синусоидального тока и напряжения

Полная мощность складывается из активной мощности, совершающей полезную работу, и реактивной мощности, расходуемой на создание магнитных полей и создающей дополнительную нагрузку на силовые линии питания. Соотношение между полной и активной мощностью, выраженное через косинус угла между их векторами, называется коэффициентом (фактором) мощности(см. рис. 3)[1,9].

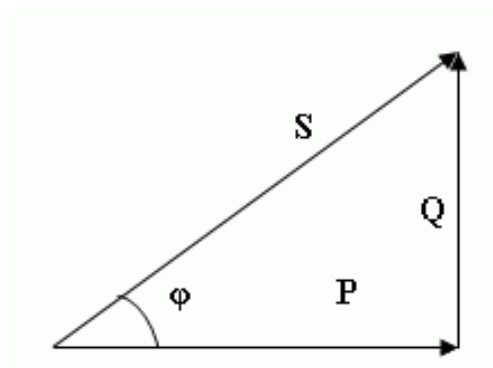


Рис.3. Соотношение мощностей

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \cos \varphi = P/S,$$

где  $P$  – активная мощность, кВт;  $S$  – полная мощность, кВА;  $Q$  реактивная.мощность,квар.

Активная энергия преобразуется в полезную – механическую, тепловую и другие виды энергии. Реактивная же энергия не связана с выполнением полезной работы, а расходуется на создание электромагнитных полей в электродвигателях, трансформаторах, индукционных печах, сварочных трансформаторах, дросселях и осветительных приборах. Таким образом, основными потребителями реактивной мощности на коммунальных промышленных предприятиях являются:

- асинхронные двигатели (45–65 %);
- трансформаторы всех степеней трансформации (20–25 %);
- электропечные установки (8 %);
- воздушные линии электропередачи и другие электроприемники (вентильные преобразователи, сварочное оборудование, люминесцентные лампы, реакторы и т.п.) (10 %). [9]

Реактивная мощность при синусоидальном напряжении однофазной сети равна:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

в трехфазной сети – как алгебраическая сумма фазных реактивных мощностей.

Реактивная мощность  $Q$  пропорциональна реактивному току, протекающему через индуктивный элемент:

$$Q = U \cdot I_L,$$

где  $I_L$  – реактивный (индуктивный) ток,  $U$  – напряжение сети.

Таким образом, полный ток, питающий нагрузку, складывается из активной и индуктивной составляющих

$$I = I_R + I_L.$$

В зависимости от вида используемого оборудования нагрузка подразделяется на активную, индуктивную и емкостную. Наиболее часто потребитель имеет дело со смешанными активно-индуктивными нагрузками. Соответственно, из электрической сети происходит потребление как



активной, так и реактивной энергии.

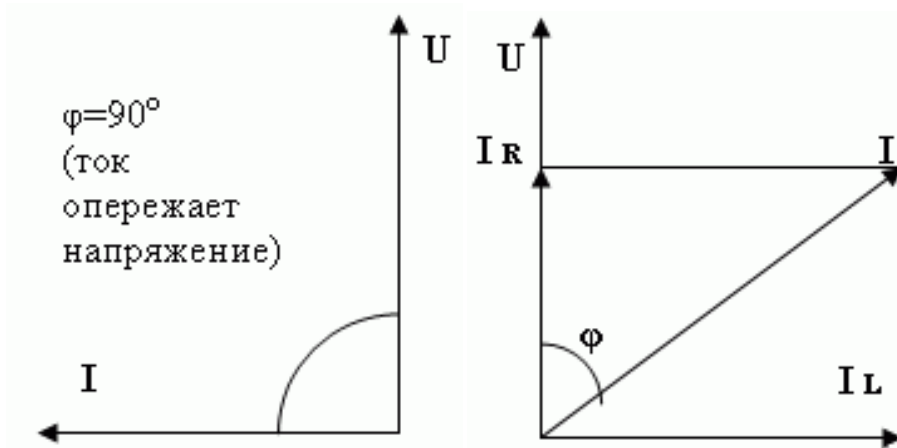


Рис.4 Соотношение токов и напряжений.

Реактивная мощность влияет на следующие показатели энергетических систем электроснабжения (см. рис. 5)[8,2].

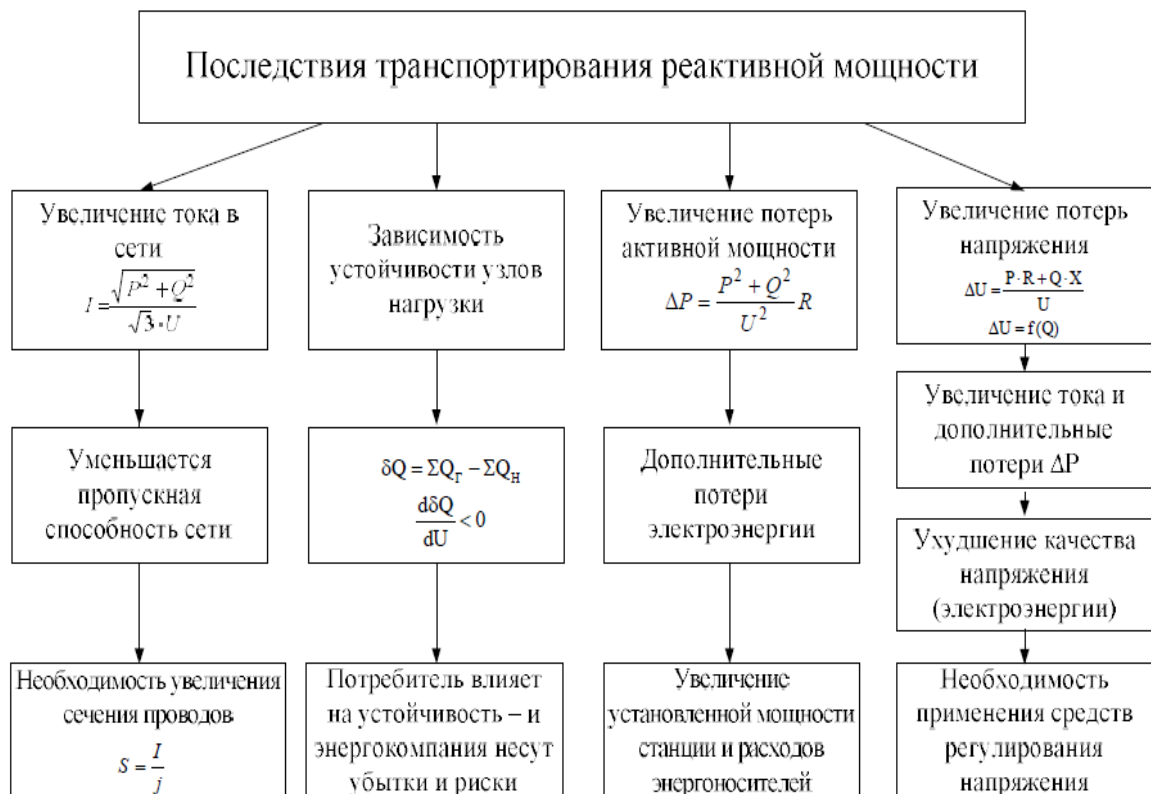


Рисунок 5. Факторы влияния реактивной мощности на электрическую сеть.

Делаем вывод, что производство и передача реактивной мощности связаны с затратами, которые в рыночных условиях должны возмещаться.

Оплата услуги за регулирование реактивной мощности и поддержание напряжения в электрических сетях должна формироваться не только за счет потерь электроэнергии, вызванных передачей реактивной учетом других факторов влияния реактивной мощности на электрическую сеть, а основными показателем качества электроэнергии является  $\cos \varphi$ , чем он ниже тем качество выше.

## 2. Реактивная мощность на розничном рынке электроэнергии Российской Федерации

Экономика РФ в данный момент проходит достаточно сложный, но в то же время оригинальный и интересный период своего развития. В России наблюдаются, приоритетность государственных инвестиций и их масштабы, несмотря на очевидную необходимость, вызывают определенные трудности, так как должна быть обоснована их экономическая эффективность и целесообразность. Таким образом, актуальной оказывается задача определения наиболее важных целей инвестиций в экономику РФ и оценка их приоритетности.

На выработку реактивной энергии топливо практически не расходуется. Однако эта "обменная" энергия загружает электрические сети, отнимая некоторую часть пропускной способности и приводя к дополнительным потерям активной энергии. В то же время реактивная энергия легко может производиться с помощью конденсаторных установок непосредственно на местах, где она требуется. Практика такого производства реактивной энергии широко распространена во всем мире и известна как компенсация реактивной мощности. При определении необходимой степени такой компенсации выделяют два аспекта: технические условия, ограничивающие уровень передаваемой реактивной мощности техническими параметрами сети (при его превышении напряжение в узлах падает ниже допустимого, а в ряде случаев нарушается устойчивая работа линий электропередачи), и экономические условия, устанавливающие предельный уровень потребления реактивной мощности, которую экономически целесообразно получать из сети энергоснабжающей организации, а не от собственных компенсирующих устройств потребителя. Экономическая целесообразность производства реактивной энергии на местах

наступает в подавляющем большинстве случаев раньше, чем технические ограничения по ее передаче [9].

Рассмотрим ценообразование стоимости реактивной мощности в реальном времени. С точки зрения экономики определение стоимости реактивной мощности в реальном времени представляет собой, по сути, расчет предельных затрат. Определение стоимости в реальном времени может быть получено методом оптимизированного потока мощности (OPF). В 1991, Бауман, используя модель на основе этого метода для потока мощности переменного тока, первым исследовал проблему тарификации реактивной мощности в реальном времени с использованием теории ценообразования в реальном времени. Он показал, что когда оптимальное распределение потока устремляется к сходимости, то коэффициенты Лагранжа  $\lambda_{pi}$  и  $\lambda_{qi}$  в уравнениях баланса соответствуют оценке стоимости активной и реактивной мощности в узле  $i$  в реальном времени, поэтому оптимизация потокораспределения является важным инструментом для расчета цены в реальном времени.

Здесь для расчета цены реактивной энергии в реальном времени в качестве целевой функции модели оптимизированного потока энергии использованы минимальные издержки производства. Оптимизация потокораспределения имеет целью минимизацию общей стоимости производства энергии. Если в источниках реактивной мощности системы учитываются только издержки производства при генерации, то целевая функция оптимального распределения потока мощности OPF может быть представлена следующим образом:

$$\min C(x) = \sum_{i=1}^{N_G} (C_{pi}(P_{gi}) + C_{qi}(Q_{gi}))$$

здесь  $C_{pi}$  и  $C_{qi}$  – функции издержек генерации соответственно активной и реактивной мощности,  $N_G$  – общее число узлов генерации.

Расчет оптимизированного потока энергии ограничивается следующими условиями[7]:

1 - уравнение баланса потока:

$$P_{gi} - P_{Li} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0$$

$$Q_{gi} - Q_{Li} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0$$

2 - ограничение активной и реактивной мощности генераторов:

$$P_{gi, \min} \leq P_{gi} \leq P_{gi, \max}$$

$$Q_{gi, \min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi, \max}$$

3 - ограничение пропускной способности (передаваемой мощности) линии:

$$P_{lk, \min} \leq P_{lk} \leq P_{lk, \max}, \quad k \in L$$

4 - ограничение напряжения узла:

$$V_{i, \min} \leq V_i \leq V_{i, \max}$$

Рассмотрим цели регулирования реактивной мощности :

1. Стабилизация напряжения на высоковольтных шинах предприятий и сетей.

2. Известно, что падение напряжения на шинах равна:

$$\Delta U = f(\Delta Q)$$

Если за счет регулирования реактивной мощности изменение реактивной мощности  $\Delta Q$  будет практически равно 0, то просадка напряжения на шинах при неизменном значении  $S_{кз}$  будет также практически равна нулю. Такой режим можно обеспечить, организовав непрерывный переток реактивной мощности между емкостной и

индуктивной составляющими компенсирующего устройства.

3. Подавление высших гармоник, присутствующих в сети от работы многочисленных преобразователей частоты и напряжения, причем, по мере развития промышленности доля таких преобразователей, как известно, неумолимо растет.

4. Улучшение коэффициента мощности предприятий  $\cos \varphi$ .

5. Снижение фликера – низкочастотных колебаний ( $f \leq 50$  Гц), оказывающих вредное воздействие на здоровье человека (на зрение).

Правильная компенсация реактивной мощности позволяет:

- снизить общие расходы на электроэнергию;
- уменьшить нагрузку элементов распределительной сети (подводящих линий, трансформаторов и распределительных устройств), тем самым продлевая их срок службы;

- снизить тепловые потери тока и расходы на электроэнергию;
- снизить влияние высших гармоник;
- подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;
- добиться большей надежности и экономичности распределительных сетей.

Кроме того, в существующих электрических сетях:

- исключить генерацию реактивной энергии в сеть в часы минимальной нагрузки;

- снизить расходы на ремонт и обновление парка электрооборудования;
- увеличить пропускную способность системы электроснабжения потребителя, что позволит подключить дополнительные нагрузки без увеличения стоимости сетей;

- обеспечить получение информации о параметрах и состоянии сети, а во вновь создаваемых сетях – уменьшить мощность подстанций и сечения кабельных линий, что снизит их стоимость.

Чем ниже коэффициент мощности  $\cos \varphi$  при одной и той же активной

нагрузке электроприемников, тем больше потери мощности и падение напряжения в элементах систем электроснабжения. Поэтому следует всегда стремиться к получению наибольшего значения коэффициента мощности.

Значения коэффициента мощности некомпенсированного оборудования приведены в табл. 1, а усредненные значения коэффициента мощности для систем электроснабжения различных предприятий – в табл. 2. В оптимальном режиме показатель должен стремиться к единице и соответствовать нормативным требованиям.[9]

Уровень компенсируемой реактивной мощности  $Q_k$  определяется как разность реактивных мощностей нагрузки предприятия  $Q_{\Pi}$  и представляемой предприятию энергосистемой  $Q_{\text{Э}}$ :

$$Q_k = Q_{\Pi} - Q_{\text{Э}} = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_{\Pi} - \operatorname{tg} \varphi_{\text{Э}}).$$

Таблица 1. Значения коэффициента мощности некомпенсированного оборудования

Тип нагрузки	Примерный коэффициент мощности
Асинхронный электродвигатель до 100 кВт	0,6–0,8
Асинхронный электродвигатель 100–250 кВт	0,8–0,9
Индукционная печь	0,2–0,6
Сварочный аппарат переменного тока	0,5–0,6
Электродуговая печь	0,6–0,8
Лампа дневного света	0,5–0,6

Таблица 2. Усредненные значения коэффициента мощности для систем электроснабжения различных предприятий

Тип нагрузки	Примерный коэффициент мощности $\cos \varphi$
Мясоперерабатывающее производство	0,6–0,7
Мебельное производство	0,6–0,7
Лесопильное производство	0,55–0,65
Молочные заводы	0,6–0,8
Механообрабатывающие заводы	0,5–0,6
Авторемонтные предприятия	0,7–0,8
Пивоваренные заводы	~ 0,6
Деревообрабатывающие предприятия	~ 0,6
Цементные заводы	~ 0,7
Горные разрезы	~ 0,6
Сталелитейные заводы	~ 0,6

Ранее реактивная мощность наряду с активной мощностью учитывалась поставщиком электроэнергии, а, следовательно, подлежала оплате по действующим тарифам и составляла значительную часть счета за электроэнергию.

После отмены приказом Минэнерго России от 10.01.2000 г. № 2 «Правил пользования электрической и тепловой энергией» потребители электрической энергии перестали участвовать в поддержании коэффициента мощности и компенсации реактивной мощности на шинах нагрузок [2]. Это привело к возрастанию потоков реактивной мощности в линиях электропередачи и значительному росту потерь электроэнергии в электрических сетях, возникновению дефицита реактивной мощности в узлах нагрузки и, как следствие, снижению напряжения на шинах подстанций распределительных электрических сетей, увеличению до предельно допустимых значений токов полной нагрузки линий электропередачи и трансформаторных подстанций и ограничению их пропускной способности



по активной мощности из-за необоснованной их загрузки реактивной мощностью.

31.08.2006 г. вышло постановление Правительства РФ №530, которым утверждены изменения «Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг»[4]. Согласно вышеуказанным правилам потребители электрической энергии должны соблюдать значения соотношения потребления активной и реактивной мощности, определенной в договоре в соответствии с порядком, утвержденным Минтопэнерго России. А согласно приказу от 23.07.2015г. №380 «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии» были определены предельные значения коэффициента реактивной мощности для потребителей, присоединенных к сетям напряжением ниже 220 кВ (табл. 3)[5].

При оплате за пользование электроэнергией предусмотрены скидки и надбавки к тарифу за высокий и низкий коэффициент мощности.

Таблица 3. Предельные значения коэффициента реактивной мощности.

Напряжения в точке поставки потребителя электрической энергии	tg φ
напряжением 110 кВ (154 кВ)	0,5
напряжением 35 кВ (60 кВ)	0,4
напряжением 1– 20 кВ	0,4
напряжением ниже 1кВ	0,35

Компенсация реактивной мощности – одно из наиболее доступных, эффективных и простых способов снижения потерь электроэнергии как для потребителя, так и для электросетевой компании, а также снижения себестоимости выпускаемой потребителями продукции.

Снизить потребление реактивной мощности, а, следовательно, и потери активной мощности, можно двумя способами:

- без применения компенсирующих устройств (КУ),
- с применением КУ.

Также существуют мероприятия, допускаемые в виде исключения.

Рассмотрим требования к потреблению и генерации реактивной мощности. Известно, что часть реактивной мощности, определяемую технико-экономическими расчетами, выгодно получать от компенсирующих устройств (КУ), устанавливаемых непосредственно у потребителей. В договор на пользование электроэнергией (ДПЭ) записывают полученные с помощью таких расчетов экономические значения реактивной мощности  $Q_{эв}$  часы больших нагрузок электрической сети (в случае двухставочного тарифа) и реактивной энергии  $W_{Qэ}$ , за месяц (при обоих видах тарифа), потребление которых оплачивается по пониженному тарифу. Этот тариф соответствует приблизительно 75 % стоимости реактивной мощности, получаемой от собственной конденсаторной установки. Потребление сверхустановленных значений оплачивается по повышенному тарифу, соответствующему 250 % указанной стоимости. Данное соотношение делает выгодным для потребителя снижение потребления реактивной мощности до заданного энергосистемой оптимального значения, потому что окупаемость установок, компенсирующих потребление реактивной мощности выше оптимального значения, составляет 2,2 года, а ниже этого значения – более 15 лет.

В соответствии с Прейскурантом № 09–01 «Тарифы на электрическую и тепловую энергию» потребитель оплачивает потребление реактивной энергии в часы больших нагрузок и генерацию реактивной мощности в часы малых нагрузок электрической сети [6]. Если в соответствии с режимами работы сети энергосистемы последней выгодно получать от потребителя реактивную энергию в часы больших нагрузок сети или обеспечить ее потребление в часы малых нагрузок, то энергосистема оплачивает эту энергию в виде скидки с тарифа.

Для контроля за потреблением и генерацией реактивной энергии по

полной схеме необходимы четыре счетчика и реле времени, включающее первую пару счетчиков в часы больших, а вторую – в часы малых нагрузок сети. Счетчики каждой пары должны иметь стопоры в противоположных направлениях. Первый счетчик работает в часы больших нагрузок сети и фиксирует потребление реактивной энергии, которое оплачивается потребителем (часть по лишенному, часть по пониженному тарифу); в случае двухставочного тарифа этот счетчик должен иметь указатель 30-минутного максимума. Второй счетчик работает в те же часы, что и первый, но фиксирует генерацию реактивной энергии, оплачиваемую энергосистемой. Третий счетчик работает в часы малых нагрузок сети и фиксирует потребление реактивной энергии, оплачиваемое энергосистемой. Четвертый счетчик работает в те же часы, что и третий, но фиксирует генерацию реактивной мощности, оплачиваемую потребителем.

Следует иметь в виду, что генерация реактивной мощности в часы больших нагрузок сети (второй счетчик) и ее потребление в часы малых нагрузок сети (третий счетчик) оплачивается энергосистемой только в случае, если это оговорено в ДПЭ. В противном случае достаточно двух счетчиков без реле времени, по которым потребитель оплачивает реактивную мощность по ставкам, указанным в графах «надбавки» таблицы, независимо от нагрузки сети. В большинстве случаев достаточно двух счетчиков, по первому из которых оплачивается реактивная энергия, поставляемая энергосистемой, на производство и передачу которой энергосистема затрачивает определенные средства, а по второму – реактивная энергия, генерируемая потребителем в сеть, на поглощение которой энергосистема также затрачивает средства. Требования к схеме учета в конкретном случае оговариваются в ДПЭ.

При отсутствии одного из реактивных счетчиков или общих, потребление и генерацию реактивной мощности в соответствии с Правилами пользования электроэнергией определяют расчетным способом, исходя из измерения максимальной реактивной нагрузки  $Q_{\phi}$  в контрольный день.

Потребляемую реактивную энергию вычисляют по формуле

$$W_{Qn} = Q_{\phi} \cdot T_{\text{раб}},$$

$T_{\text{раб}}$  – фактическое число часов работы потребителя в месяце (с учетом числа смен и рабочих дней в месяце).

Рассчитанная таким образом реактивная энергия превышает значение, которое фиксировал бы счетчик, на величину площади, соответствующей установленной мощности КУ.

Способы учета реактивной энергии, принудительно потребляемой в часы малых или генерируемой в часы больших нагрузок электрической сети, устанавливаются по договоренности между энергосистемой и потребителем. Мощность электрических станций, необходимая для покрытия нагрузок потребителей, определяется их максимальной суммарной нагрузкой.

Период максимума суммарной суточной нагрузки потребителей называется часами максимума нагрузки системы (рис. 2). В эти часы фиксируется оплачиваемая потребителями активная мощность.

Применительно к реактивной мощности в новых нормативных документах установлены дополнительные понятия:

– часы больших и малых нагрузок электрической сети, которые устанавливаются энергосистемой каждому потребителю, исходя из анализа его графика нагрузки и степени его совпадения с графиком нагрузки сети, от которого он питается. Как правило, эти периоды покрывают суточный период, например часы больших нагрузок сети – с 8 до 22 ч, а малых – с 22 до 8 ч;

– часы максимума и минимума нагрузки сети, которым соответствуют указанные в ДПЭ максимальные и минимальные отклонения напряжения.

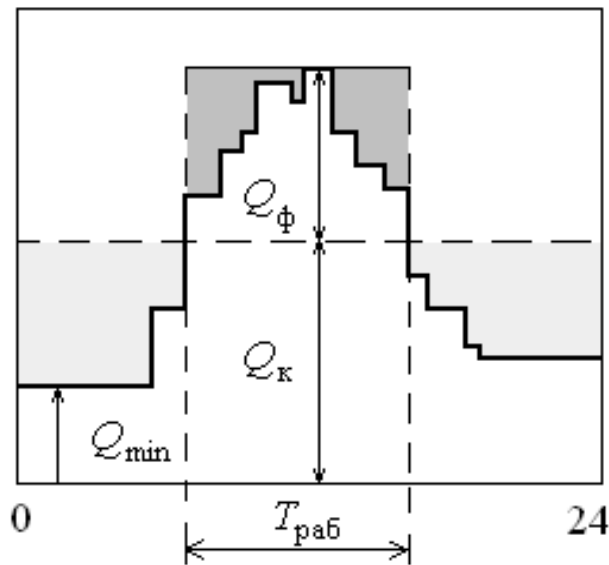


Рисунок 6. График суммарной суточной нагрузки  
 $Q_{\phi}$ ,  $Q_{к}$  и  $Q_{\min}$  – фактическая, компенсированная и минимальная  
 реактивные мощности

Часы больших и малых нагрузок потребителя могут не совпадать с часами больших и малых нагрузок сети, а часы максимума его нагрузки – с часами максимума нагрузки сети и часами максимума нагрузки энергосистемы. Например, часы максимума нагрузки потребителя – с 12 до 16 ч, часы максимума нагрузки сети – с 8 до 12 ч и с 15 до 19 ч, а часы максимума нагрузки энергосистемы – с 8 до 10 ч и 18 до 20 ч.

По данному параграфу можно сделать вывод, что бы улучшить качество электроэнергии в Российской Федерации можно принять следующие меры:

- внесение в договора электроснабжения (поставки электрической энергии) условий о выполнении потребителями требований ранее выданных технических условий на присоединение в части поддержания указанных в них значений  $\cos\varphi$  ( $\operatorname{tg}\varphi$ ) или
- внесение в договора электроснабжения (поставки электрической энергии) условий о взаимных мерах по обеспечению качества электрической энергии, при этом потребитель обязуется (обязывается) выдерживать заданные электросетевой компанией параметры

соотношения потребляемых активной и реактивной мощности, как это и требует «Типовой договор энергоснабжения одноставочного (двуставочного) абонента»;

- проведение совместно с потребителями инвентаризации и ревизии, имеющихся у потребителей источников компенсации реактивной мощности и принятие всех мер по их вводу в работу, как одного из требований выданных технических условий на присоединение;
- установку устройств компенсации реактивной мощности в энергоузлах распределительных сетей, имеющих высокую загруженность линий электропередачи реактивной мощностью;
- проведение семинаров с участием руководителей и специалистов электросетевых компаний, включая муниципальные сети и сети потребителей, и представителей потребителей на тему «Реактивная мощность и ее значение в надежности и экономике электроснабжения» с целью повышения заинтересованности внедрения систем компенсации реактивной мощности.

## Реактивная мощность на рынке электроэнергии в мире

Провели анализ тарифов на передачу электроэнергии за учетную единицу в 2014 году по "базовому варианту" в 34 европейских странах. Тарифы на передачу электроэнергии за учетную единицу рассчитываются, принимая во внимание следующее: 1. начисления за расходы, связанные с деятельностью операторами магистральных сетей (ОМС); и, в соответствующих случаях, 2. прочие нормативные начисления, взимаемые или фактурированные ОМС, но прямо не связанные с деятельностью ОМС. Таким образом, настоящий обзор не имеет своей целью сравнивать отдельные тарифы на передачу, его целью является сравнение расчетных тарифов за учетную единицу, выраженных в €/МВт•ч.[3,4]

С целью сделать настоящий обзор как можно более сопоставимым, при расчете тарифов за учетную единицу во внимание принимаются тарифы и начисления, связанные со следующими расходами:

### 1. Расходы, связанные с деятельностью ОМС:

- Расходы на инфраструктуру (эксплуатационные и капитальные расходы),
- Стоимость системных услуг,
- Расходы на компенсацию потерь;

2. Прочие нормативные начисления, фактурированные или взимаемые с помощью различных механизмов операторами магистральных сетей в каждой из стран, которые напрямую не связаны с деятельностью ОМС:

- Например: невозвратные издержки, расходы на содействие выработке энергии из возобновляемых или комбинированных источников, нормативные сборы, расходы на диверсификацию и надежность энергоснабжения и пр.
- Основными носителями дохода для тарифа за учетную единицу является мощность, энергия или и то, и другое. На рисунке7

представлены доли соответствующих компонентов тарифа для базового варианта, т.е здесь включены так же стоимость потерь, стоимость договора на подключение и т.д. [3].

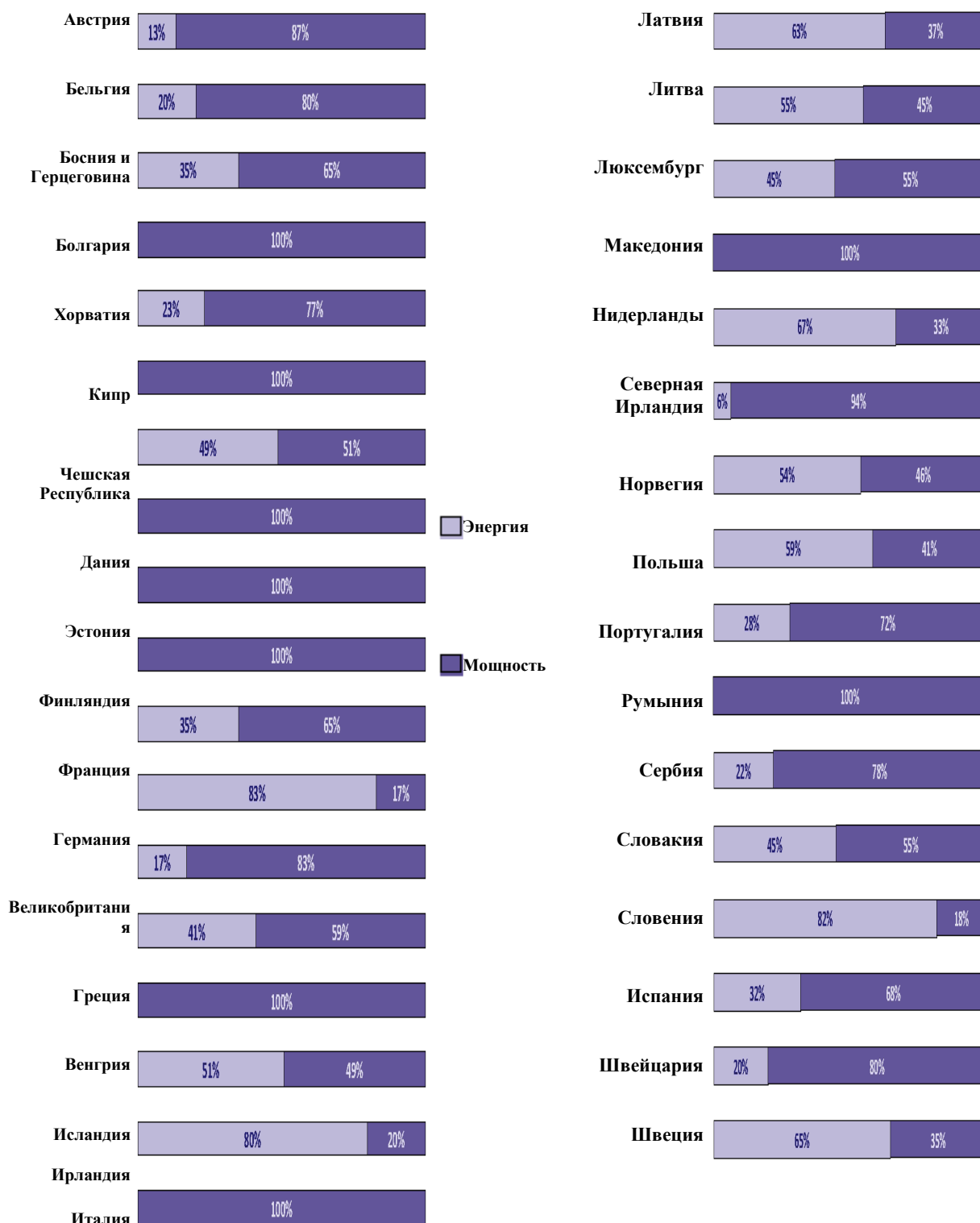


Рисунок 7. Энергетические и мощностные компоненты тарифа на передачу за учетную единицу



В некоторых странах Евросоюза взимается плата за реактивную энергии. Тарифные ставки взимаются за каждый МВар·ч измеренной реактивной энергии или только при определенных условиях.

Существует две модели расчета начислений за реактивную энергию:

- Реактивный тариф: стандартная тарифная ставка применяется к каждому МВар·ч произведенной и/или потребленной реактивной энергии.
- Пеня: Произведенная и/или потребленная реактивная энергия оплачивается только при определенных условиях, например: избыток отобранной или поданной энергии в течение определенного периода, либо чрезмерные уровни  $\cos \varphi$  или  $\tan \varphi$ .

В таблице подытожены основные характеристик механизмов расчета начислений за реактивную энергию, используемых ОМС для пользователей, подключенных к сети электропередачи[3].

Таблица 4. Реактивная энергия

Страна	Реактивный тариф (да/нет)	Пеня (да/нет)	Количество / условия применения
Австрия	нет	нет	
Бельгия	нет	Да	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Системный оператор Elia обеспечивает поставки реактивной энергии каждые 15 минут, которые превышают <math>\tan \varphi = 0.329</math> по каждой точке отбора. Это приводит к возникновению дополнительных поставок реактивной энергии в соответствии со статьей 209 §4 и §5 Технического кодекса. Это является соотношением времени суток и реактивного режима определенного потребителя.</li> <li>• В случае отсутствия ежеквартального превышения отбора реактивной энергии, 10% от действующей абонентской платы в каждой точке дополнительной поставки реактивной энергии определяется как превышение на 32.9% от 10% от действующей абонентской платы в данной точке.</li> <li>• В случаях, когда емкостная реактивная мощность потребителя, находящегося в режиме отбора, не превышает следующие предельные значения, то пеня за дополнительную поставку реактивной энергии составляет 0 €/МВар·ч.</li> </ul>

			Уровень напряжения (кВ)	Предельные значения емкостной реактивной энергии (МВар)
			400-380	9
			220-150	9
			132-50	2.5
Босния и Герцеговина	да	нет	<p>Тариф на избыточный отбор реактивной энергии оплачивается квалифицированными потребителями, подключенными к сети электропередачи. Тариф составляет 5.56 €/МВар·ч.</p> <p>Избыточный отбор реактивной энергии представляет собой положительную разницу между измеренной реактивной мощностью и реактивной мощностью, соответствующей коэффициенту мощности <math>\cos \varphi = 0.95</math>, т.е. реактивная мощность превышает 33% от отбираемой активной мощности.</p>	
Болгария	да	нет	<p>Тариф взимается с пользователей, подключенная мощность которых составляет <math>&gt; 100</math> кВт в случаях, когда они отбирают электроэнергию из сети и у распределительных компаний.</p> <p>Расчет количества потребляемой реактивной мощности, за которую взимается тариф, производится по следующей формуле:</p> $E_{rp} = E_{r\text{потребленная}} - 0.49E_{a\text{потребленная}}$ <p>Где:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>E_{rp}</math>: количество реактивной мощности, за которую взимается тариф.</li> <li>• <math>E_{r\text{потребленная}}</math>: количество реактивной мощности, потребленной пользователем.</li> <li>• 0.49: коэффициент, соответствующий <math>\cos \varphi = 0.9</math></li> <li>• <math>E_{a\text{потребленная}}</math>: количество активной мощности, потребленной пользователем.</li> </ul> <p>Тариф на потребленную реактивную мощность составляет 10% от базовой оптовой цены на активную мощность.</p>	

			Тариф на поданную реактивную мощность составляет 100% от базовой оптовой цены на активную мощность.
Хорватия	да	нет	<p>Реактивная энергия оплачивается ежемесячно в соответствии с измеренным потреблением.</p> <p>Тариф на реактивную энергию составляет 0.0209 €/кВар·ч</p> <p>Тариф оплачивается потребителем, напрямую подключенным к сети 110 кВ.</p> <p>В соответствии с тарифной системой, тарифная составляющая за избыточную реактивную энергию, как индуктивную, так и емкостную, одинакова для всех уровней напряжения, но избыточная реактивная энергия рассчитывается как положительная разница между фактически измеренной реактивной энергией и реактивной энергией, соответствующей среднему коэффициенту мощности ниже 0.95, т.е. реактивная энергия составляет примерно 33% реактивной энергии.</p> <p>Плата с потребителей взимается ежемесячно.</p>
Кипр	нет	нет	
Чешская Республика	нет	нет	
Дания	нет	нет	
Эстония	да	нет	Плата основана на потребленной и произведенной реактивной энергии. Какие-либо лимиты, ограничения или дифференциация отсутствует. Не зависит от $\cos \varphi$ . Ставка тарифа на реактивную энергию составляет 1.67 €/МВар·ч.
Финляндия	нет	да	<p>Согласованные пределы, основанные на ежегодно потребляемой реактивной энергии для каждой группы точек подключения. В случае превышения пределов взимается пеня:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3,000 €/МВар за избыточную реактивную мощность (месячный максимум).</li> <li>• 10 €/МВар·ч за избыточную реактивную энергию.</li> </ul>

			По емкостной энергии предел составляет $\frac{1}{4} \times$ индуктивный предел. Плата взимается со всех пользователей (производители, потребители, ОРС). Географическая дифференциация отсутствует.
Франция	нет	да	<p>Если соотношение реактивная энергия/активная энергия (<math>\text{tg } \varphi</math>) <math>&gt;0.4</math> по каждой точке подключения с 01/11 по 31/03 (с понедельника по субботу, с 6:00 до 22:00):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.33 евроцентов/кВар·ч – плата потребителей 500-350 кВ.</li> <li>• 1.42 евроцентов/кВар·ч – плата потребителей 350-130 кВ.</li> <li>• 1.59 евроцентов /кВар·ч – плата потребителей 130-50 кВ (данные значения применяются с 01/08/2013 по 31/07/2014).</li> </ul> <p>Потребители по тарифу с временной дифференциацией (т.е. напряжение подключения ниже 350 кВ) должны платить, только если <math>\text{tg } \varphi</math> выше 0.4 во время пиковых нагрузок, а также во время зимних среднепиковых нагрузок.</p>
Германия	да/нет	да/нет	<p>Схемы платежей за реактивную энергию различаются из-за различий в условиях договоров между ОМС и потребителями.</p> <p>В некоторых обстоятельствах потребители платят за использование реактивной мощности (плата составляет до 8.70 €/МВар·ч).</p> <p>Электростанции получают компенсацию за предоставление реактивной мощности.</p>
Великобритания	нет	нет	
Греция	нет	нет	
Венгрия	нет	нет	
Исландия	нет	да	<p>Тарифная схема компании Landsnet предусматривает минимальный средний коэффициент мощности <math>\cos \varphi</math> 0.9 на выходе для операторов распределительной системы и <math>\cos \varphi</math> на уровне 0.98 для энергоемких пользователей в каждой точке поставки.</p> <p>В случаях, когда средний коэффициент мощности</p>

			за один месяц снижается ниже указанных пределов, то плата за энергию и за мощность увеличивается на 2% за каждый 1% уменьшения коэффициента мощности ниже указанного предела.
Ирландия	да	да	Плата за опережение/отставание включена в Программу стимулирования эффективности производителей электроэнергии. Опережающая реактивная мощность 0.30 €/ МВт•ч. Отстающая реактивная мощность 0.30 €/ МВт•ч. Прочие начисления приведены в Расчете затрат.
Италия	нет	да	Плата в евроцентах за кВар·ч применяется в отношении реактивной энергии (индуктивной), отбираемой из передающих / распределительных сетей, когда $\cos \varphi$ превышает установленный предел. $\cos \varphi$ рассчитывается для каждой точки подключения, кроме случаев, когда между двумя точками находится высоковольтное распределительное подключение; а таком случае $\cos \varphi$ рассчитывается для совокупности точек подключения. В обоих случаях плата составляет: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Реактивная энергия в диапазоне между 50% и 75% активной энергии: 0.86 €/кВар·ч.</li> <li>• Реактивная энергия свыше 75% активной энергии: 1.1 €/кВар·ч.</li> </ul> Затем ОРС платят Terna за реактивную энергию, отобранную из сети электропередачи, а Terna платит ОРС за реактивную энергию, отобранную из распределительной сети. Разница между суммой, уплаченной и полученной Terna, увеличивает или уменьшает сумму оплаты за дополнительные услуги.  Также предусмотрена плата в пользу ОРС, взимаемая с конечных потребителей, доступная мощность которых превышает 16.5 кВт, за реактивную энергию, отобранную из распределительной сети свыше установленного предела $\cos \varphi$ .
Латвия	да	нет	В Латвии тарификация за реактивную мощность между ОМС и ОРС не предусмотрена. Тариф на реактивную мощность существует только для

			потребителей, когда коэффициент мощности $\text{tg } \varphi$ превышает 0.4: тариф на реактивную мощность для потребителей составляет 4.27 €/МВар·ч (если $\text{tg } \varphi > 0.4$ ). Тариф на реактивную мощность для производителей в сети электропередачи составляет 12.81 €/МВар·ч.
Литва	да	нет	Применяется ко всем потребителям, по каждой точке подключения: 0.487 €/МВар·ч для потребителей и 0.973 €/МВар·ч для производителей реактивной энергии.
Люксембург	нет	да	Производимая и потребляемая реактивная энергия оплачивается, если $\cos \varphi$ меньше 0.9.
Македония	нет	да	Взимается пеня за любое чрезмерное потребление реактивной энергии, если коэффициент мощности $\cos \varphi$ менее 0.95.
Нидерланды	нет	нет	Значение $\cos \varphi$ должно находиться между 0.8 и 1.0. Регламент не применяется к договорам о реактивной энергии между ОМС и потребителями. Этот пункт включен в контракт на подключение.
Северная Ирландия	нет	нет	
Норвегия	да	нет	<p>Реактивные тарифы применяются к точкам подключения, где реактивная нагрузка создает проблемы для системы. Плата взимается за индуктивную и емкостную энергию.</p> <p>Тарифная ставка на 2014 год составляет 30 норвежских крон (=3.58 €)/кВар·ч (округляется до 20 МВар).</p> <p>Географическая дифференциация отсутствует, нет также разницы в оплате для производителей и потребителей энергии, однако характер реактивной нагрузки приводит к тому, что производители практически никогда не платят данный тариф.</p> <p>Реактивная нагрузка рассчитывается:</p> <p>По истечении периодов максимальной и минимальной нагрузки выбирается пять контрольных часов. Основа для расчетов – максимальная реактивная нагрузка в течение этих</p>

			пяти часов.
Польша	нет	да	<p>Компания PSE S.A. взимает пеню за чрезмерное потребление реактивной мощности конечными потребителями, подключенными к сети электропередачи в узлах, подключения конечного потребления, а ОПС имеют только одну точку подключения.</p> <p>Пеня рассчитывается за каждый МВар·ч пассивной энергии, отобранной из высоковольтной сети или сети сверхвысокого напряжения, когда коэффициент мощности <math>\text{tg } \varphi</math> выше 0.4, а также за каждый МВар·ч пассивной энергии, поданной в сеть электропередачи независимо от значения коэффициента мощности.</p> <p>Плата за чрезмерное потребление пассивной энергии (<math>\text{tg } \varphi</math> выше 0.4) рассчитывается по следующей формуле:</p> $O_b = k \times C_{rk} \times \left( \sqrt{\frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi_0}} - 1 \right) \times A$ <p>где:</p> <p><math>k</math> – коэффициент, равный 0.5,</p> <p><math>C_{rk}</math> – цена за единицу активной энергии,</p> <p><math>\text{tg } \varphi</math> – измеренное значение коэффициента мощности за период, используемый для расчета платы за чрезмерное потребление пассивной энергии,</p> <p><math>\text{tg } \varphi_0</math> – значение коэффициента мощности = 0.4, определенное в Договоре между компанией PSE S.A. и потребителем,</p> <p><math>A</math> – количество активной энергии, отобранной потребителем из сети электропередачи за расчетный период.</p> <p>Плата за пассивную энергию подаваемую в сеть электропередачи (емкостная реактивная энергия) рассчитывается как произведение количества</p>

			пассивной энергии, цены активной энергии $C_{rk}$ и коэффициента $k=0.5$ .
Португалия	да	да	<p>Пеня:</p> <p>Плата за индуктивную реактивную энергию, поданную сетью электропередачи не в внепиковые часы, взимается следующим образом:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 7.326 €/МВар·ч, если <math>0.3 \leq \text{tg } \varphi &lt; 0.4</math></li> <li>• 22.2 €/МВар·ч, если <math>0.4 \leq \text{tg } \varphi &lt; 0.5</math></li> <li>• 66.6 €/МВар·ч, если <math>\text{tg } \varphi \geq 0,5</math></li> </ul> <p>Тариф:</p> <p>Плата за реактивную энергию, полученную в сети электропередачи в внепиковые часы, взимается в размере 16.6 €/МВар·ч.</p>
Румыния	да	да	<p>Плата взимается с конечных потребителей, напрямую подключенных к сети электропередачи. Тариф на реактивную энергию дифференцирован по каждой зоне потребления (8 зон). Минимальное значение 1.17 €/кВар·ч, а максимальное –1.33 €/кВар·ч.</p> <p>Если <math>0.65 &lt; \cos \varphi &lt; 0.92</math>, то тарифы применяются в отношении:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• зарегистрированной емкостной энергии,</li> <li>• индуктивной энергии с разницей между потребленной реактивной энергией и соответствующей реактивной энергией <math>\cos \varphi = 0.92</math>.</li> </ul> <p>Если <math>\cos \varphi &lt; 0.65</math>, то пеня в трехкратном размере от тарифа взимается в отношении:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• зарегистрированной емкостной энергии,</li> <li>• индуктивной энергии с разницей между потребленной реактивной энергией и соответствующей реактивной энергией <math>\cos \varphi = 0.92</math>.</li> </ul>
Сербия	да	да	<p>Все пользователи сети электропередачи, кроме производителей, гидроаккумулирующих электростанций и вспомогательной мощности электростанций платят за реактивную энергию. Если потребленная реактивная энергия превышает уровень <math>\cos \varphi = 0.95</math>, плата за реактивную энергию в</p>



			<p>части превышения удваивается.</p> <p>Базовый тариф на реактивную энергию составляет 1.22 €/МВар·ч.</p> <p>Тариф на реактивную энергию, если <math>\cos \varphi &lt; 0.95</math> составляет 2.44 €/МВар·ч.</p> <p>Данные тарифы применяются к емкостной и индуктивной реактивной энергии.</p>						
Словацкая Республика	нет	нет							
Словения	нет	да	<p>Плата взимается с потребителей и ОРС. Если <math>\cos \varphi &lt; 0.95</math>, то энергия индуктивная. Плата взимается только за индуктивную энергию.</p> <p>Дифференциация по уровням напряжения, времени, периоду потребления и географическому признаку отсутствует</p> <p>Плата взимается по всем точкам подключения каждого пользователя.</p>						
Испания	да	да	<p>Плата в €/МВар·ч взимается за потребление реактивной энергии, превышающее 33% потребления активной энергии. Плата взимается с потребителей, подключенных к сети напряжением свыше 1 кВ.</p> <p>С несколькими исключениями, данная плата взимается за все тарифные периоды:</p> <table border="1" data-bbox="868 1503 1409 1715"> <thead> <tr> <th><math>\cos \varphi</math></th> <th>€/кВар·ч</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>0.80 &lt; \cos \varphi &lt; 0.95</math></td> <td>0.041554</td> </tr> <tr> <td><math>\cos \varphi &lt; 0.80</math></td> <td>0.062332</td> </tr> </tbody> </table> <p>Приказ ИЕТ/3586/2011</p>	$\cos \varphi$	€/кВар·ч	$0.80 < \cos \varphi < 0.95$	0.041554	$\cos \varphi < 0.80$	0.062332
$\cos \varphi$	€/кВар·ч								
$0.80 < \cos \varphi < 0.95$	0.041554								
$\cos \varphi < 0.80$	0.062332								
Швеция	нет	нет							
Швейцария	да	нет	<p>Индивидуальный дополнительный тариф за реактивную энергию для активных участников, не отвечающих требованиям (операторы</p>						

			<p>распределительной системы и электростанции в сети электропередачи): 0.78 центов/кВар·ч</p> <p>Индивидуальный дополнительный тариф за реактивную энергию вне бесплатного диапазона для пассивных участников (операторы распределительной системы в сети электропередачи): 0.78 центов/кВар·ч</p> <p>Ставка компенсации для активных участников за реактивную энергию, поставляемую в соответствии с требованиями (операторы распределительной системы и электростанции в сети электропередачи): 0.24 центов/кВар·ч</p>
--	--	--	--

Можно сделать вывод, что в отличие от России в большинстве стран Евросоюза уже давно оплачивают реактивную мощность, поэтому качество электроэнергии там выше.

## Заключение

Электрическая энергия, которую мы используем, состоит из двух составляющих: активной и реактивной. Обе составляющие энергии необходимы на соответствующем уровне для точной, эффективной и долгосрочной работы электрических двигателей.

В России реактивная энергия практически не берется в расчет и не измеряется, а о ее воздействии на электрические двигатели известно только экспертному сообществу. Большая часть сетей и электрического оборудования эксплуатируется в России с несоответствующим уровнем реактивной энергии. В результате наблюдается рост потерь электричества и рост потребления активной энергии, а следовательно, ее производства и увеличение сечения кабелей. Это приводит к росту как капитальных, так и операционных расходов. Ситуация может быть улучшена за счет компенсации реактивной энергии при помощи специального оборудования, например, УКРМ (установки компенсации реактивной мощности).

Большинство индустриальных стран Европы и мира ввели штрафы на реактивную энергию: 20 стран ЕС, а также США, Китай, Турция и Канада. Россия также практиковала штрафные санкции за чрезмерный уровень реактивной энергии, однако данные ограничения исчезли в конце 90-х – начале 2000-х гг. Большинство российских экспертов и инженеров в сфере электроэнергетики положительно относятся к введению подобной меры.

Рекомендации : Качество электрической энергии характеризуется параметром  $\cos \varphi$ . Чем ближе к единице  $\cos \varphi$ , тем более эффективным является энергопотребление. Штрафные меры на реактивную энергию можно считать обоснованными, если  $\cos \varphi$  определенного оборудования не достигает минимального уровня, установленного постановлением Министерства энергетики Российской Федерации № 380 от 23 июня 2015 г. Эти штрафные меры должны иметь прогрессивную шкалу в соответствии с

разницей между уровнем  $\cos \varphi$  и целевыми показателями. Полученные средства должны быть распределены между производителями электроэнергии и сетевыми компаниями, т.к. они больше всего подвергаются воздействию слишком высокого уровня реактивной энергии. Продавцы на вторичном рынке также должны получить свою долю, чтобы покрыть свои дополнительные расходы.

## Библиографический список

1. Бессонов Л.А . Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – 10-е изд.– М.: Гардарики, 2000. – 638 с.;
2. Приказ Минэнерго России от 10.01.2000 г. № 2 «Правил пользования электрической и тепловой энергией».
3. Хосе-Карлос Фернандез , Анджей Бартошик , Паула Альмейда .ENTSO-Европейское сообщество операторов магистральных сетей в области электроэнергетики. Обобщенный обзор тарифов на передачу электроэнергии в Европе, 2014 г.
4. Постановление Правительства РФ №530 от 31.08.2006 «Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг».
5. Приказ Министерства энергетики Российской федерации от 23.06.2015 № 380 «Опорядке расчета значений соотношений потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств(групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии»/
6. Прейскурант № 09–01 «Тарифы на электрическую и тепловую энергию».
7. <http://khomovelectro.ru/>
8. П. Д. Лежнюк, д. т. н., проф.; Ю. В. Грицюк, к. т. н.; В. М. Пирняк. Регулирование реактивной мощности напряжения в электрических сетях как вспомогательная услуга. Наукові праці ВНТУ, 2012, № 2
9. В.И. Идельчик .Электрические системы и сети: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 189.- 592 с.