

сылки и достаточные основания для проведения дальнейших научных и конструкторских изысканий в направлении совершенствования и широкого внедрения в народное хозяйство республики сооружений очистки нефте-содержащих сточных вод малых стокообразующих объектов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Муратова Л.А., Гольдин А.Я., Молодов П.В. Водопотребление и водоотведение автотранспортных и автотормонтных предприятий.-М.: Транспорт, 1988.-207с.
2. Лазовский С.В., Сурский В.А. Новая жизнь старых нефтеловушек // Вода. 2001.- № 2.- С. 2-3.
3. Временные указания по применению, подбору и оценке эффективности работы локальных комплексов АО "Лабко" для очистки нефте- и жиросодержащих сточ-

ных вод. Россия, АО"Лабко", 2000. -92 с.

4. Локальные комплексы очистки сточных вод фирмы "ЛАВКО" // Водоснабжение и санитарная техника. 2001.- № 2.- С. 21-22.

5. Кравцов А.М. Проблемы очистки нефтесодержащих сточных вод. Конструкции и расчеты узлов сооружений водоочистки // Современное состояние, проблемы и перспективы использования водных ресурсов Беларуси: Материалы Водного Форума / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. ЦНИИКИВР.- Минск, 2003. - С. 199-203.

6. Пат. 67 U BY, МКИ С 02 F 1/24. Устройство для очистки сточных вод / М.В. Кравцов, А.М. Кравцов. № 19990041; Заявл.12. 04.1999; Опубл. 30.12.1999 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. 1999. - № 4.- С. 197.

УДК 621.316.1:621.319.4

## НОВЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ПОДХОДЫ К РАСЧЕТАМ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ЗА РЕАКТИВНУЮ ЭНЕРГИЮ

А.И. Жуковский, канд. техн. наук (УО БГАТУ)

Большинство приемников электрической энергии переменного тока (электродвигатели, трансформаторы, газоразрядные лампы и т.п.) вместе с активной энергией потребляют из сети реактивную энергию, которая необходима для создания переменного электромагнитного поля. В свою очередь, компенсирующие устройства, устанавливаемые у потребителей, могут не только компенсировать потребляемую реактивную мощность, но и генерировать ее в сеть энергосистемы. Реверсивные потоки реактивной мощности в электрических сетях приводят к дополнительным потерям активной энергии и в ряде случаев вызывают недопустимые отклонения напряжения у потребителей, снижают пропускную способность сетей, приводят к недоиспользованию генераторов на электростанциях и другим негативным последствиям.

Вполне естественно, что энергосистеме невыгодно бесконтрольное потребление и генерация реактивной энергии потребителями, из-за чего она ежегодно несет убытки, исчисляемые десятками миллионов долларов. На протяжении последних 30 лет неоднократно предпринимались попытки введения в действие штрафных санкций к потребителям за несанкционированный

прием и отдачу реактивной энергии, однако, в силу ряда юридических и экономических причин, ожидаемого результата они не принесли.

В частности, в 1991 году был введен в действие Прейскурант №09-01, в котором были установлены скидки и надбавки к тарифам на электрическую энергию за компенсацию реактивной мощности (КРМ) [1]. По существу это были тарифные ставки за 1 квар·ч реактивной энергии, потребляемой из сети и генерируемой в сеть энергосистемы. Существование платы за реактивную энергию дисциплинировало потребителей в плане потребления и генерации реактивной энергии и подстегивало их к оснащению собственными компенсирующими устройствами.

Вследствие высоких темпов инфляции в начале 90-х годов тарифные ставки на электроэнергию стали быстро обесцениваться, и в 1993 году было введено в действие «Положение о государственном регулировании тарифов на электрическую энергию, отпускаемую от электрических сетей Минэнерго Республики Беларусь». Однако механизм индексации ставок на реактивную энергию в данном «Положении» своего отражения не нашел. В итоге к началу 2003 года применявшиеся ставки пол-

ностью обесценились, и концерном «Белэнерго» было принято вынужденное решение о приостановлении взимания платы с потребителей за реактивную энергию.

Отсутствие платы за реактивную энергию, потребляемую из сети и генерируемую в сеть энергосистемы, сыграло крайне негативную роль для белорусской энергетики.

По результатам исследований института «Белэнергосетьпроект», в ряде сетей в часы максимальных нагрузок коэффициенты реактивной мощности достигают значений  $\text{tg}\varphi = 0,7 - 0,9$ , при рекомендуемых значениях  $\text{tg}\varphi = 0,3 - 0,4$  [4]. Дефицит реактивной мощности в сетях энергосистемы в часы максимальных нагрузок требует ввода в действие дополнительных генерирующих мощностей на электростанциях а, следовательно, и дополнительного расхода топлива, увеличивает потери энергии в сетях и снижает их пропускную способность. Напротив, в часы минимальных нагрузок в ряде узлов энергосистемы (Молодечно, Барановичи) из-за избытков реактивной мощности наблюдаются завышенные уровни напряжения, которые невозможно уменьшить при помощи сетевых регуляторов напряжения, что потребовало установить дорогостоящие шунтирующие реакторы для поглощения избытков реактивной мощности.

Бесконтрольное потребление и генерация реактивной энергии отрицательно сказываются и на работе самих потребителей. Из-за потребления реактивной энергии из сети в дневное время суток, особенно в часы максимальных нагрузок (с 8.00 до 11.00 часов), у потребителей понижаются уровни напряжения, что сопровождается ухудшением режимов работы электроприемников: перегревом обмоток и ускоренным износом изоляции электродвигателей, уменьшением вращающего момента на валу и затруднением пуска двигателей под нагрузкой, уменьшением светового потока источников оптического излучения. Напротив, из-за генерации реактивной энергии в сеть в ночное время суток у потребителей повышаются уровни напряжения, что также негативно сказывается на работе электроприемников: возрастает потребление реактивной мощности электродвигателями, увеличивается ток холостого хода трансформаторов, сокращается срок службы ламп накаливания и люминесцентных ламп.

Поскольку разнородные потребители (производственные, коммунально-бытовые), как правило, присоединяются к единым центрам питания, потребление реактивной энергии одним, но мощным потребителем негативно влияет на работу всех остальных. Самыми незащищенными в этом плане оказываются бытовые потребители, у которых уровни напряжения зачастую выходят за допустимые пределы, нормируемые Стандартом [2]. Это чревато выходом из строя дорогостоящей бытовой техники, из-за чего имеют место прецеденты с возбуждением судебных

исков к энергоснабжающим организациям концерна «Белэнерго» со стороны потребителей, как юридических, так и физических лиц.

В соответствии с Гражданским кодексом Республики Беларусь абонент (потребитель электрической энергии) по договору энергоснабжения обязуется оплачивать принятую электроэнергию, а также соблюдать предусмотренный договором режим ее потребления [3]. Несанкционированное потребление и генерацию реактивной энергии, приводящие к выходу из строя электрооборудования, с полным основанием можно считать нарушениями режима электропотребления.

На практике в большинстве случаев судебные органы не в состоянии удовлетворить иски потребителей из-за несовершенства законодательства, невозможности установления истинной причины выхода из строя электрооборудования и доказательства вины энергоснабжающей организации, причиняющей материальный вред. Это вносит дополнительную напряженность во взаимоотношения энергоснабжающих организаций и потребителей и никоим образом не способствует цивилизованному развитию рынка электроэнергии в Республике Беларусь.

Подытожив вышесказанное, можно констатировать, что сложившаяся в Республике Беларусь ситуация с бесконтрольным потреблением и генерацией реактивной энергии не выгодна ни одной из сторон, участвующих в процессе производства, распределения и потребления электроэнергии. Выход из нее видится только один - создание нормативно-правовой базы, регламентирующей взаимоотношения энергоснабжающих организаций и потребителей в области потребления и генерации реактивной энергии.

Первые важные шаги на пути к этому уже сделаны. Научно-исследовательской лабораторией института «Белэнергосетьпроект» (при непосредственном участии автора) разработана «Инструкция о порядке расчетов потребителей электрической энергии с энергоснабжающими организациями за реактивную энергию, принимаемую из сети энергосистемы и отдаваемую в сеть энергосистемы» (далее Инструкция). Инструкция прошла все этапы согласования и предложена к внедрению в качестве государственного нормативного документа. Ее основные положения подробно изложены в обобщающей статье В.Г. Пекелиса и А.И. Жуковского [4].

Инструкция устанавливает порядок расчетов потребителей электрической энергии с энергоснабжающими организациями за реактивную энергию, принимаемую из сети энергосистемы и отдаваемую в сеть энергосистемы. Цели Инструкции - исключение несанкционированного потребления и генерации реактивной энергии, а также усиление взаимной экономической ответственности потребителей и энергоснабжающих организаций за поддержание нормированных уровней напряжения на границах балансовой

принадлежности электрических сетей и на выводах электроприемников.

Для реализации данных целей предлагается ввести два вида платы:

- за реактивную энергию, потребляемую из сети энергосистемы в часы максимальных нагрузок (дневные часы суток: с 6.00 до 23.00);

- за реактивную энергию, генерируемую в сеть энергосистемы в часы минимальных нагрузок (ночные часы суток: с 23.00 до 6.00).

Дифференциация платы за потребленную и генерированную реактивную энергию по часам суток потребует модернизации систем коммерческого учета электроэнергии. В противном случае, при использовании однотарифных электросчетчиков, вся потребленная реактивная энергия будет считаться потребленной исключительно в дневные часы суток, а вся генерированная реактивная энергия - генерированной в ночные часы суток. Это обстоятельство существенно увеличит указанные размеры платы.

Плата за реактивную энергию, потребляемую из сети энергосистемы в дневные часы суток, рассчитывается по формуле

$$P_{п.д} = b_{п} \cdot \psi \cdot W_{п.д}^Q, \quad (1)$$

где  $b_{п}$  - ставка за потребляемую реактивную энергию, руб./квар·ч;  $W_{п.д}^Q$  - количество реактивной энергии, потребленной из сети энергосистемы в дневные часы суток за расчетный период, (квар·ч);  $\psi$  - показатель электроудаленности.

Плата за реактивную энергию, генерируемую в сеть энергосистемы в ночные часы суток, рассчитывается по формуле

$$P_{г.н} = \frac{b_{г} \cdot W_{г.н}^Q}{\psi + C}, \quad (2)$$

где  $b_{г}$  - ставка за генерируемую реактивную энергию, руб./квар·ч;  $W_{г.н}^Q$  - количество реактивной энергии, генерированной в сеть энергосистемы в ночные часы суток за расчетный период, (квар·ч);  $C = 0,4$  - эмпирическая постоянная.

Что сулит потребителям введение платы за потребляемую и генерируемую реактивную энергию, рассмотрим на конкретных примерах. Определим размеры платы за реактивную энергию за один расчетный период (месяц) для потребителей, являющихся абонентами Минского Энергонадзора (табл. 1). В расчетах используем значения базовых ставок за потребляемую и генерируемую реактивную энергию, равные, соответственно,  $b_{п} = 16,17$  руб./квар·ч и  $b_{г} = 21,02$  руб./квар·ч, в

долларах США  $b_{п} = 0,0075$  долл./квар·ч)

и  $b_{г} = 0,00975$  долл./квар·ч, при официальном курсе НБ РБ, равном 2156 белорусских рублей за один доллар. Для сопоставления совокупной платы потребителей за реактивную энергию с платой за активную энергию используем действующие значения базовых ставок двухставочного  $a = 11447,6$  руб./кВт и одноставочного  $c = 129,8$  руб./кВт·ч,  $b = 106,4$  руб./кВт·ч тарифов, также сформированные при указанном курсе валют.

Из приведенных примеров видно, что суммарная плата за реактивную энергию для различных потребителей составляет около 5-9 % от платы за активную энергию, что весьма существенно. Дополнительные издержки предприятия на электроэнергию непременно увеличат себестоимость выпускаемой продукции или оказываемых услуг, что снизит её конкурентоспособность на рынке. Это обстоятельство идет вразрез с государственной политикой, которая предусматривает в 2005-2006 гг. снижение энергоемкости производимой продукции на 5-6 %.

Еще одно принципиальное новшество в организации расчетов потребителей с энергоснабжающими организациями за потребляемую и генерируемую реактивную энергию - учет электрической удаленности потребителей от системных источников реактивной мощности. Объективно наибольший ущерб энергосистеме наносят потребители, удаленные от источников питания и потребляющие реактивную энергию из сети при ее дефиците (в часы максимальных нагрузок), а также близлежащие к источникам питания потребители, генерирующие реактивную энергию в сеть при ее избытке (в часы минимальных нагрузок). Это обстоятельство обусловлено увеличением эквивалентного сопротивления электрической сети по мере удаления от источников питания энергосистемы и введением в схемы дополнительных ступеней трансформации.

С учетом данного фактора, в новой Инструкции предложено определять размеры платы за потребляемую и генерируемую реактивную энергию с учетом электрической удаленности потребителей от системных источников реактивной мощности, что вполне обоснованно. Для этих целей все питающие присоединения потребителей, через которые проходят границы балансовой принадлежности электрических сетей, классифицированы по пяти группам, для каждой из которых установлено фиксированное значение показателя электроудаленности ( $\psi$ ) (табл. 2).

К примеру, потребитель, получающий питание по линии 10 кВ от ПС 35/10 кВ имеет показатель электроудаленности  $\psi = 1$ , а для аналогичного потребителя, получающего питание по линии 10 кВ от генераторного распреедустройства электростанции  $\psi = 0,4$ . Это означает, что в соответствии с формулой (1) за одно и то же количество потребленной реактивной

### 1. Расчет платы за электроэнергию для отдельных потребителей Минского Энергонадзора

Характеристики электропотребления	Потребитель		
	СП ЗАО «Белтелекабель»	КУП «Минский мясокомбинат»	ТКУП «Минский Комаровский рынок»
Количество реактивной энергии, потребленной в дневные часы суток, квар · ч.	182387	704264	127881
Количество реактивной энергии, генерированной в ночные часы суток, квар · ч.	832	0	0
Плата за потребленную реактивную энергию, тыс. руб.	2595,2	10021,4	1819,7
Плата за генерированную реактивную энергию, тыс. руб.	11,8	0	0
Суммарная плата за потребленную и генерированную реактивную энергию, тыс. руб.	2607	10021,4	1819,7
Количество потребленной активной энергии, кВт · ч.	230944	1474227	279277
Максимальная потребляемая активная мощность, кВт.	480	2846	-
Суммарная плата за потребленную активную энергию, тыс. руб.	30067,3	189437,6	36250,2
Соотношение платы за реактивную и активную энергию, %	<b>8,67</b>	<b>5,29</b>	<b>5,02</b>

энергии размер платы для первого потребителя будет в 2,5 раза больше, чем для второго.

Наибольшую электроудаленность имеют потребители, получающие питание по линиям напряжением 10-35 кВ от системных подстанций напряжением 35 и 110 кВ, а также по линиям напряжением 0,4 кВ через промежуточные трансформаторные подстанции. К данной категории относятся преимущественно производственные потребители, расположенные в сельской местности и в небольших районных центрах. Для таких потребителей показатель электроудаленности будет максимальным а, следовательно, и удельный размер платы за потребленный 1 квар · ч реактивной энергии также будет максимальным.

Особенно в тяжелом положении при введении в действие Инструкции окажутся мощные предприятия АПК: животноводческие комплексы, птицефабрики, перерабатывающие предприятия лесной и пищевой промышленности. Потребление реактивной энергии из сети энер-

госистемы для них становится экономически невыгодным. В этих условиях единственно верным решением для них видится незамедлительное и масштабное оснащение собственными источниками реактивной мощности, в частности, автоматическими конденсаторными установками (АКУ). Применение АКУ позволит свети к минимуму потребление реактивной энергии из сети и полностью исключить её генерацию в сеть. Кроме того, АКУ позволяют эффективно регулировать напряжение в сетях потребителей.

Единственным отрицательным, но, несомненно, важным фактором является высокая стоимость АКУ, требующая от потребителей значительных капитальных вложений и служащая главным сдерживающим фактором в приобретении компенсирующих устройств. Удельная стоимость современных АКУ напряжением 0,4 кВ с учетом затрат на проектирование и монтажно-наладочные работы составляет 15-20 долл./ (квар · ч).

## 2. Значения показателя электроудаленности для различных категорий потребителей

Номер группы	Характеристики потребителей	$\psi$
I	Потребители, получающие питание по линиям напряжением 6, 10 кВ с шин генераторного напряжения электростанций энергосистемы, а также по линиям напряжением 0,4 кВ через промежуточные ТП	0,4
II	Потребители, получающие питание по линиям напряжением 330 (220) кВ от электростанций энергосистемы, имеющие трансформаторные подстанции глубокого ввода; потребители, получающие питание по линиям напряжением 6, 10 и 35 кВ с шин подстанций напряжением 330 (220) кВ энергосистемы, а также по линиям напряжением 0,4 кВ через промежуточные ТП	0,64
III	Потребители, получающие питание по линиям напряжением 110 кВ от электростанций или подстанций энергосистемы напряжением 330 (220) кВ, имеющие трансформаторные подстанции глубокого ввода	0,75
IV	Потребители, получающие питание по линиям напряжением 6, 10 и 35 кВ с шин подстанций напряжением 110 кВ энергосистемы, а также по линиям напряжением 0,4 кВ через промежуточные ТП	0,88
V	Потребители, получающие питание по линиям напряжением 6, 10 кВ с шин подстанций напряжением 35 кВ энергосистемы, а также по линиям напряжением 0,4 кВ через промежуточные ТП	1,0

Однако подсчитано, что срок окупаемости установленных АКУ, при использовании в расчетах за потребляемую и генерируемую реактивную энергию ставок равных, соответственно, 0,0075 долл./ (квар·ч) и 0,00975 долл./ (квар·ч), соответствует 2 годам. С учетом дополнительного снижения потерь энергии от передачи реактивной мощности в собственных сетях потребителей срок окупаемости будет меньше и при самых неблагоприятных условиях не превысит 1,5 года. Нормативный же срок службы современных компенсирующих устройств составляет 10-12 лет [4, 5].

Из всех изложенных материалов можно сделать обобщающий вывод: введение платы для потребителей за реактивную энергию объективная реальность, и к ней необходимо быть готовыми заранее. Для минимизации затрат на оплату реактивной энергии потребителям рекомендуется интенсивно оснащаться собственными источниками реактивной мощности, в частности автоматическими конденсаторными установками, и совершенствовать системы учета электрической энергии на основе современных многотарифных цифровых электросчетчиков и систем АСКУЭ. Учитыва-

вая значительные капитальные вложения на эти цели, работы могут вестись поэтапно, в том числе с привлечением банковских кредитов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Прейскурант № 09-01. Тарифы на электрическую и тепловую энергию. - М.:Прейскурантиздат, 1990. - 26с.
2. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.- Мн.: Белстандарт, 1999. - 29с.
3. Гражданский кодекс Республики Беларусь. - Мн.: Амалфея, 2002. - С. 286-290.
4. Пекелис В.Г., Жуковский А.И. Потребляемая и генерируемая реактивная энергия. Порядок расчетов с абонентами // Энергетика и ТЭК. 2004. №10.-С.12 - 14.
5. Жуковский А.И. Компенсация реактивной мощности сельских потребителей - эффективный способ энергосбережения // Агропанорама.- 2002. - №4. - С. 28-30.