

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ СТЕПЕНИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ОПЛАТЕ ПОТРЕБИТЕЛЕМ ЗА ГЕНЕРИРУЕМУЮ И ПОТРЕБЛЯЕМУЮ РЕАКТИВНУЮ МОЩНОСТЬ И ЭНЕРГИЮ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

А.И. Зеленкевич

В статье рассмотрена оптимизированная по минимуму оплаты методика определения степени компенсации реактивной мощности в сети 0,4 кВ при оплате потребителем за генерируемую и потребляемую реактивную мощность. Рассмотрен комплекс способов и средств ограничения величины отклонения у потребителя при перекомпенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: реактивная мощность, отклонение напряжения, оплата.

В 2007 г. в Республике Беларусь была введена в действие «Инструкция по расчету и применению скидок к тарифам на активную электрическую мощность и энергию за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии».

Данная Инструкция определяет порядок расчетов потребителей с энергоснабжающими организациями за реактивную энергию, принимаемую из сети энергосистемы и отдаваемую в сеть энергосистемы. Усиление экономической ответственности потребителей перед энергоснабжающими организациями за поддержание нормальных режимов напряжения на границах балансовой принадлежности электрических сетей должно способствовать улучшению качества электроэнергии и уменьшению потерь в сетях.

Введение платы за реактивную энергию призвано экономически стимулировать потребителей к оснащению автоматическими конденсаторными установками (АКУ). Причем, правильный выбор и рациональное использование АКУ в сетях потребителей способны минимизировать указанные размеры платы до нуля.

В [1] была рассмотрена экономическая эффективность компенсации реактивной мощности при учете потребляемой и генерируемой реактивной мощности и энергии при различных способах расчета мощности ступеней автоматических конденсаторных установок (АКУ). Исследования показали, что применение методики расчета величины ступеней АКУ не учитывающие введение данных скидок и надбавок не позволяет эффективно использовать АКУ. Срок окупаемости капита-

ловложений в АКУ при выборе мощности ступеней по критерию минимума пере- и недокомпенсации реактивной мощности значительно превышает срок окупаемости при выборе мощности ступеней по критерию минимума оплаты за генерируемую и потребляемую реактивную мощность и энергию.

Расчеты проводились для схемы представленной на рисунке 1.

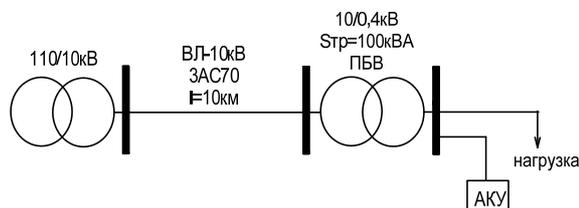


Рисунок 1 – Расчетная схема

В качестве графиков изменения электрических нагрузок приняты типовые графики нагрузок сельскохозяйственных потребителей приведенные в [2].

Величина скидок и надбавок к плате за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии потребителем в сутки без применения установки КРМ приведена в таблице 1.

Изменения потерь напряжения в сети 10 и 0,38 кВ без компенсации реактивной мощности при стабилизации напряжения на питающей подстанции на уровне +5 % и оптимальной надбавке ПБВ трансформатора 10/0,4 кВ равной +2,5 % представлены на рисунке 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ СТЕПЕНИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ОПЛАТЕ ПОТРЕБИТЕЛЕМ ЗА ГЕНЕРИРУЕМУЮ И ПОТРЕБЛЯЕМУЮ РЕАКТИВНУЮ МОЩНОСТЬ И ЭНЕРГИЮ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Таблица 1 – Величина скидок и надбавок к плате за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии потребителем в сутки без применения установки КРМ

	часы максимума нагрузок		часы минимума нагрузок		Сумма
	потреблено	генерировано	потреблено	генерировано	
Количество реактивной энергии, квар·ч	423,75	0	200	0	
скидка, тыс. руб	-	-	114,5	-	114,5
надбавка, тыс. руб	242,7	-	-	-	242,7
	разница, тыс. руб				+128,1

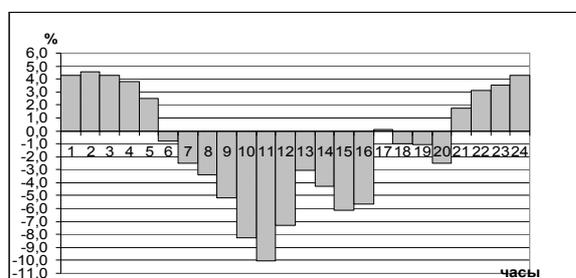


Рисунок 2 – Величина отклонения напряжения у потребителя (без компенсации реактивной мощности при стабилизации напряжения на питающей подстанции на уровне +5 % и надбавке ПБВ трансформатора 10/0,4 кВ +2,5 %)

Как видно из рисунка, в часы максимума нагрузок отклонение напряжения у потребителя выходит за допустимые пределы. Следовательно, необходимо принять меры по повышению уровня напряжения. Одним из способов уменьшения потерь напряжения в элементах электроустановок является компенсация реактивной мощности.

Величину ступеней РКУ определим по модифицированной методике, приведенной в [3]. За критерий оптимальности примем минимум оплаты за генерируемую и потребляемую реактивную мощность и энергию. Для этого в часы минимума нагрузок АКУ отключим полностью, не взирая на снижение $\cos \varphi$, а в часы максимума нагрузок — включим все ступени АКУ для того, чтобы генерировать в сеть максимум реактивной мощности.

Результаты расчетов ступеней и уставок срабатывания РКУ приведены в таблице 2. Суточный график работы РКУ представлен на рисунке 3.

Таблица 2 – Результаты расчетов ступеней и уставок срабатывания РКУ

	Мощность Qк, квар		Уставка срабатывания, квар
	расчетная	стандартная	
1 ступень	5,16	0	0
2 ступень	60,16	62,5	42,5
3 ступень	98,13	100	79,4

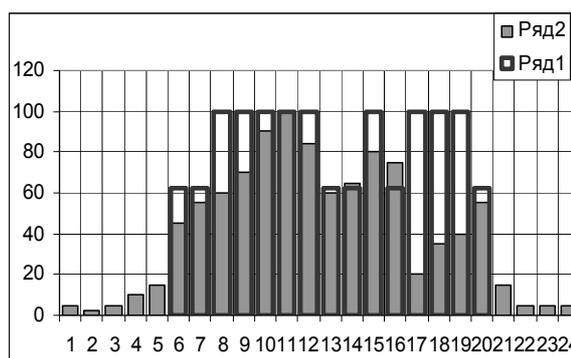


Рисунок 3 – Суточный график работы РКУ

Влияние применения РКУ с параметрами, рассчитанными по модифицированной методике, на уровни напряжения в сети представлены на рисунке 4.

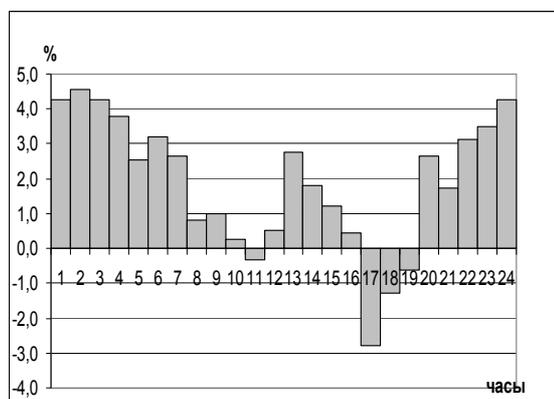


Рисунок 4 – Величина отклонения напряжения у потребителя (при компенсации реактивной мощности со ступенями РКУ определенными по модифицированной методике)

Как видно из рисунка, отклонение напряжения у потребителя не выходит за допустимые пределы.

Плата за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии потребителем с применением установки по КРМ с параметрами определенными по минимуму оплаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Величина скидок и надбавок к плате за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии потребителем в сутки при применении установки КРМ

	часы максимума нагрузок		часы минимума нагрузок		Сумма
	потреблено	генерировано	потреблено	генерировано	
Количество реактивной энергии, квар·ч	0	285	47	0	
скидка, тыс. руб	163,1	-	26,9	-	190
надбавка, тыс. руб	-	-	-	-	-
разница, тыс. руб.					-190

Как показывает анализ данных в таблицах 1 и 5, снижение платы за электроэнергию составит 318152 руб./сут.

Рассмотрим случай, когда у потребителя установлена РКУ с мощностью превышающей минимально-необходимую для компенсации реактивной мощности.

При использовании РКУ с дополнительной 4-й ступенью мощностью 200 квар, суточный график работы будет иметь вид, представленный на рисунке 5.

Влияние применения РКУ с параметрами, превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности, на уровни напряжения в сети представлены на рисунке 6.

Плата за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии потребителем с применением установки по КРМ с параметрами, превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности, приведены в таблице 4.

Как показывает анализ данных в таблицах 3 и 4, при увеличении максимальной мощности РКУ до 200 квар, снижение платы за электроэнергию составит 343428 руб/сут, что составляет 30 %.

В тоже время, как видно из графика 6, при перекомпенсации уровень напряжения в сети значительно увеличивается и отклонение напряжения у потребителя выходит за допустимые пределы.

Избежать подобного можно введя в устройство управления РКУ функции предварительного определения уровня напря-

жения при включении следующей (большей) ступени конденсаторов. Пример реализации подобного запрета на включение рассмотрен в [4].

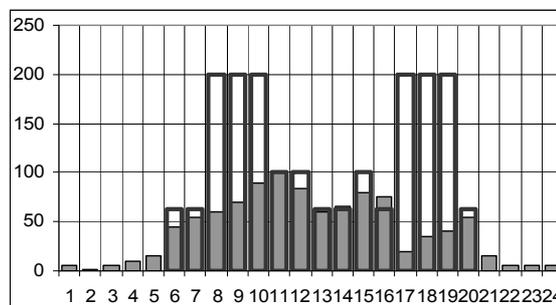


Рисунок 5 – Суточный график работы РКУ с мощностью превышающей минимально-необходимую для компенсации реактивной мощности

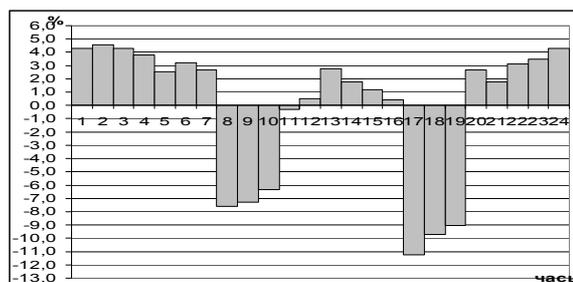


Рисунок 6 – Величина отклонения напряжения у потребителя (при компенсации реактивной мощности со ступенями РКУ, превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности)

Таблица 4 – Величина скидок и надбавок к плате за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии потребителем в сутки при применении установки КРМ с параметрами, превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности

	часы максимума нагрузок		часы минимума нагрузок		Сумма
	потреблено	генерировано	потреблено	генерировано	
Количество реактивной энергии, квар·ч	0	885	47	0	
скидка, тыс. руб	-	506,6	26,9	-	533,4
надбавка, тыс. руб	-	-	-	-	-
Разница, тыс. руб					-533,4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ СТЕПЕНИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ОПЛАТЕ ПОТРЕБИТЕЛЕМ ЗА ГЕНЕРИРУЕМУЮ И ПОТРЕБЛЯЕМУЮ РЕАКТИВНУЮ МОЩНОСТЬ И ЭНЕРГИЮ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Другим решением данной проблемы является использование в сетях трансформаторов 10/0,4 кВ с устройством РПН.

Рассмотрим приведенный выше вариант, но при использовании трансформатора 10/0,4 кВ (типа ТМН (РФ), ТЕТ (Чехия) и др.) с устройством РПН.

Влияние применения РКУ с параметрами, превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности, на уровне напряжения в сети при использовании трансформатора 10/0,4 кВ с РПН представлены на рисунке 7.

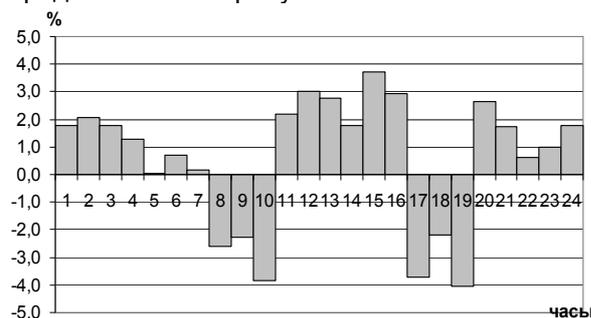


Рисунок 7 – Величина отклонения напряжения у потребителя (при компенсации реактивной мощности со ступенями РКУ превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности) при использовании трансформатора 10/0,4 кВ с РПН

Из рисунка видно, что отклонение напряжения у потребителя не выходит за допустимые пределы.

Как показывают расчеты, при использовании РПН 10/0,4 кВ отклонение напряжения у потребителя не выходит за допустимые пределы при увеличении мощности РКУ в 1,9–2,2 раза по сравнению с мощностью, рассчитанной для полной компенсации реактивной мощности потребителя. При использовании для питания потребителей подстанций «глубокого ввода» (110/10кВ, 35/10кВ) появляется возможность еще большего увеличения мощности РКУ. Это обусловлено тем, что уровень напряжения у потребителя можно регулировать еще и РПН трансформатора 35/10 кВ.

Влияние применения РКУ с параметрами, превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности, на уровне напряжения в сети при использовании трансформаторов 35/10 кВ и 10/0,4 кВ с РПН представлены на рисунке 8.

Из рисунка видно, что отклонение напряжения у потребителя не выходит за допустимые пределы.

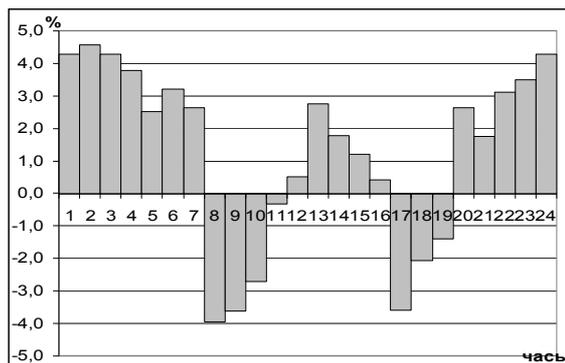


Рисунок 8 – Величина отклонения напряжения у потребителя (при компенсации реактивной мощности со ступенями РКУ превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности) при использовании трансформаторов 35/10 кВ и 10/0,4 кВ с РПН

Как показывают расчеты, даже при 4-кратном увеличении мощности РКУ при использовании РПН 35/10кВ и РПН 10/0,4кВ отклонение напряжения у потребителя не выходит за допустимые пределы.

Плата за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии потребителем с применением установки по КРМ с параметрами, превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности при использовании РПН 35/10кВ и РПН 10/0,4 кВ приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Величина скидок и надбавок к плате за потребление и генерацию реактивной мощности и энергии потребителем в сутки при применении установки КРМ с параметрами превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности при использовании РПН 35/10кВ и РПН 10/0,4кВ

	часы максимума нагрузок		часы минимума нагрузок		Сумма
	потреблено	генерировано	потреблено	генерировано	
Количество реактивной энергии, квар·ч	0	2085	47	0	
скидка, тыс. руб	-	1193,4	26,9	-	1220,3
надбавка, тыс. руб	-	-	-	-	
	Разница, тыс. руб				-1220,3

Скидка к тарифу на электроэнергию для данного потребителя составляет 1,22 млн. рублей за сутки, что составляет около 8-11 %

от всей суммы платежа за электроэнергию. Даже при существующем тарифе, установка дополнительной мощности РКУ целесообразна.

Работа РКУ в таком режиме возможна при совместном управлении устройством РПН 35/10 кВ, устройством РПН 10/0,4 кВ и РКУ. Пример возможной реализации такого управления приведен в [5].

Выводы

1. Применение устройств компенсации реактивной мощности, позволяет снизить для потребителя величину платы за электроэнергию, а также уменьшить потери напряжения в сети.

2. При применении установки КРМ с параметрами превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности, происходит дальнейшее значительное снижение платы за электроэнергию. В тоже время, при перекомпенсации уровень напряжения в сети значительно увеличивается и отклонение напряжения у потребителя может выйти за допустимые пределы.

3. При перекомпенсации ограничение величины отклонения напряжения у потребителя возможно либо при вводе в устройство управления РКУ функции предварительного определения уровня напряжения при включении следующей (большей) ступени конденсаторов, либо при использовании в сетях трансформаторов 10/0,4 кВ с устройством РПН.

4. При использовании трансформаторов 10/0,4 кВ с РПН отклонение напряжения у потребителя не выходит за допустимые пределы даже при увеличении мощности РКУ в 1,9–2,2 раза по сравнению с мощностью рассчитанной для полной компенсации реактивной мощности потребителя.

5. При компенсации реактивной мощности со ступенями РКУ превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной мощности) и использовании трансформаторов 35/10 кВ и 10/0,4 кВ с РПН, даже при 4-х кратном увеличении мощности РКУ отклонение напряжения у потребителя не выходит за допустимые пределы. Скидка к тарифу на электроэнергию для потребителя составляет около 8-11 % от всей суммы платежа за электроэнергию.

6. Компенсация реактивной мощности со ступенями превышающими минимально-необходимые для компенсации реактивной

мощности возможна при совместном управлении устройством РПН 35/10 кВ, устройством РПН 10/0,4кВ и РКУ.

7. Установка подобных РКУ с завышенной мощностью и трансформаторов 10/0,4 с РПН (типа ТМН (РФ), ТЕТ (Чехия) и др.) позволит сократить дефицит реактивной мощности в энергосистеме, снизить потери электроэнергии в электрических сетях потребителей, разгрузить питающие сети от передачи реактивной мощности, увеличив тем самым их пропускную способность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Счастный, В.П. Особенности компенсации реактивной мощности при различных способах учета электроэнергии / В.П. Счастный, А.И. Зеленкевич // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы международной научно-технической конференции. – Минск: УО "БГАТУ", 2009. – С. 55–58.

2. Будзко, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Н.М. Зуль – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.

3. Зеленкевич, А.И. Влияние различных способов компенсации реактивной мощности у потребителя на режим напряжения // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы 7 международной научно-технической конференции, РФ, Москва / ВИЭСХ. – Москва, 2010.

4. Устройство для управления оборудованием двухтрансформаторной подстанции: пат. 5573 Респ. Беларусь, МПК7Н 02J 3/18, Н 02Н 3/20, G 05B 13/02, G 05F 1/70 / В.П. Счастный, А.И. Зеленкевич; заявитель УО "БГАТУ" - № и 20090181; заявл. 2009.03.10; опубл. 2009.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 2.

5. Устройство для управления оборудованием потребительской трансформаторной подстанции: пат. 4613 Респ. Беларусь, МПК7 Н 02J 3/18, Н 01F 21/00, G 05B 13/02 / В.П. Счастный, А.И. Зеленкевич; заявитель УО "БГАТУ" - № и 20080011; заявл. 2008.01.14; опубл. 2008.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 2.

Зеленкевич А.И., пом. дек. агроэнергетического факультета, ст. преп. каф. «Электроснабжение», Белорусский государственный аграрный технический университет, (г. Минск), тел. 8(37517)267-37-01, E-mail: alex_zelenkewich@tut.by.