

**УДК 621.316**

В.В. ЕПАНЕШНИКОВ, студент гр. ЭПб-141 (КузГТУ)

М.Г. ТОКАРЕВ, студент гр. ЭПб-141 (КузГТУ)

Научный руководитель В.А. ВОРОНИН, ассистент (КузГТУ)  
г. Кемерово

## **АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Качество электроэнергии является важной составляющей энергосбережения, так как отклонения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) от допустимых значений, могут привести к увеличению потерь мощности, снижению эффективности передачи и использования электроэнергии.

В данной работе представлен анализ качества электроэнергии (КЭ) в электрической сети 0,4 кВ одного из поселков Кемеровской области на основе результатов измерений, проведившихся в период с 13.08.2013 по 15.08.2013 при помощи анализатора качества электроэнергии Ресурс-UF2. Всего в данном поселке 81 потребитель (жилой дом). Из них подключенные к фазе А – 27 домов, к фазе В – 30 домов и к фазе С – 24 дома.

На рис. 1 представлен суточный график электрических нагрузок рассматриваемого поселка и график изменения величины отклонений напряжения, измеренных на выводах трансформаторной подстанции (ТП) поселка.

Согласно ГОСТ 32144-2013 [6], положительные и отрицательные отклонения напряжения не должны превышать  $\pm 10\%$  от номинального значения. После анализа графика электрических нагрузок (рис. 1), было выявлено, что в период времени с 21:30 - 22:00 наблюдается максимум электрической нагрузки, а в период с 00:30 - 06:30 – минимум нагрузки. Отклонение напряжения обратно пропорционально величине нагрузки, поскольку, чем больше нагрузка, тем больше и потери напряжения в сети.

В табл. 1 представлены результаты измерения ПКЭ в электрической сети рассматриваемого поселка. Для каждого ПКЭ приведены его максимальное, среднее и минимальное значение за период измерений.

Уровень гармонических искажений токов достигает наибольших значений в ночное время. Несинусоидальность напряжения  $K_U$  не превышает, регламентированного стандартом [6] уровня в 8 %. Коэффициент гармонических составляющих тока  $K_i$  не нормируется. Наличие гармоник в сети, вероятней всего, обусловлено работой силового трансформатора вследствие нелинейности характеристики намагничивания.

Отклонение частоты  $\Delta f$  в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать  $\pm 0,2$  Гц. В рассматриваемой сети недопустимого отклонения частоты не выявлено.

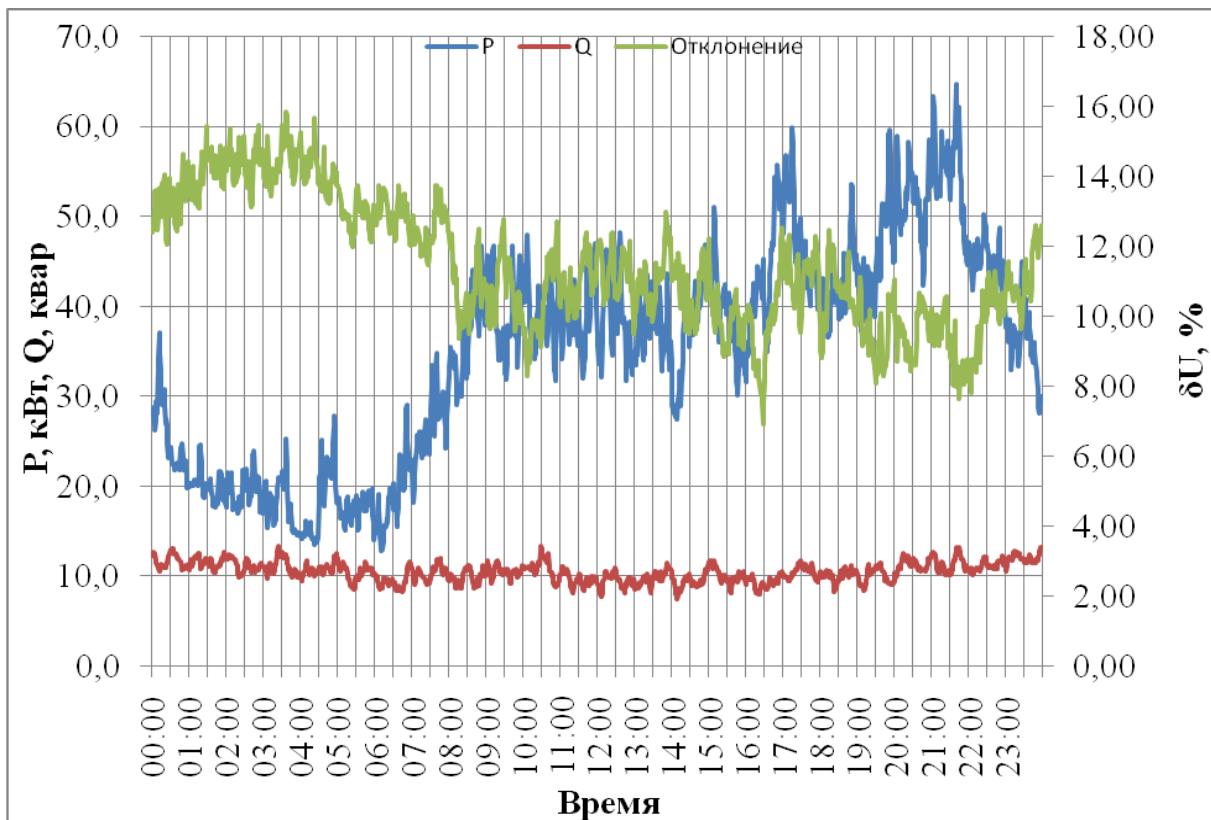


Рис. 1. Суточный график электрических нагрузок и отклонений напряжения в сельской электрической сети

Таблица 1. Результаты измерения ПКЭ в сельской электрической сети

ПКЭ	$\delta U, \%$	$\Delta f, \text{Гц}$	$K_i, \%$	$K_U, \%$	$K_{0U}, \%$	$P_{st}$
max	16,00	0,05	17,71	3,70	3,21	0,36
средн.	10,32	0,02	11,42	2,90	1,70	0,27
min	7,00	-0,01	5,13	2,10	0,18	0,19

Согласно проведенному анализу, в рассматриваемой сети наблюдаются недопустимые положительные отклонения напряжения, достигающие в ночные часы 16 %. Необходимо отметить, что эти отклонения зафиксированы только в начале сети (на выводах трансформаторной подстанции).

Наблюдаемые отклонения напряжения могут быть обусловлены нерациональным регулированием напряжения на трансформаторе сельской ТП (неверно выбрана отпайка ПБВ). Часто для компенсации потерь напряжения в электрической сети на трансформаторе устанавливается боль-

шая надбавка напряжения, вследствие чего у ближайших к подстанции потребителей напряжение оказывается завышенным. Также отклонения могут быть вызваны повышенным первичным напряжением трансформатора со стороны центра питания.

Несимметрия напряжения по нулевой последовательности  $K_{0U}$  также превышает, установленные в стандарте [6] нормы и достигает 3,2 %, что отличается от предельно допустимого значения на 1,2 %. Несимметрия обусловлена тем, что нагрузка, т.е. все жилые дома, распределены по фазам сети неравномерно.

За счет потерь напряжения в линиях сети, величина напряжения в конце сети будет ниже, чем в начале. Установка приборов на выводах ТП не позволяет оценить наибольшие отрицательные отклонения напряжения, поскольку они будут наблюдаться у наиболее удаленного потребителя. Для определения наибольших отрицательных отклонений напряжения был выполнен расчет потерь напряжения в сети до наиболее удаленного жилого дома. Расчет выполнялся с допущением, что все дома имеют одинаковое электропотребление. В соответствии с этим определялось токораспределение в ветвях электрической сети, для каждой из которых рассчитывалась величина потерь напряжения. В период максимума нагрузки потери напряжение в линиях сети у потребителя на расстоянии 300 м составили 10,52 В (4,78 %). Напряжение у наиболее удаленного потребителя с учетом потерь напряжения составляет 227,08 В, что соответствует отклонениям напряжения в + 3,22 % (не превышают допустимого значения ГОСТ [6]).

Снижение КЭ в сельских сетях приводит к увеличению активных и реактивных потерь мощности, сокращению срока службы электрооборудования. Колебание напряжения ухудшает качество освещения, что вызывает утомляемость людей. Повышенное напряжение сокращает срок службы осветительных приборов, а пониженное сокращает световой поток, что так же может оказаться на здоровье людей. Протекание токов высших гармоник ускоряет процесс старения изоляции, а так же они являются одной из причин возникновения дополнительных потерь электроэнергии.

При несимметричной нагрузке в электрических сетях потери мощности определяются методом симметричных составляющих по выражению [5]:

$$\Delta P = 3 \cdot (I_1^2 + I_2^2 + I_0^2) r_\phi + 9I_0^2 r_N ,$$

где  $I_1, I_2, I_0$  – составляющие токов прямой, обратной и нулевой последовательности соответственно;  $r_\phi$  – активное сопротивление фазного провода линии;  $r_N$  – активное сопротивление нулевого рабочего провода линии.

Для расчета потерь электроэнергии были приняты те же допущения, что и при расчете потерь напряжения. Расчетная величина потерь электроэнергии без учета несимметрии нагрузки за период с 13.08.2013 по 16.08.2013 составила 8287,17 кВт·ч или 9,49 % от общей распределяемой электроэнергии.

Потери электроэнергии с учетом несимметрии достигают 33,57 % от общей распределяемой электроэнергии. Таким образом, выходит, что неравномерность нагрузки в 3,53 раза увеличивает долю потерь.

Коэффициент реактивной мощности составляет  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{ср}} = 0,94$ , что превышает нормируемое значение ( $\operatorname{tg}\varphi_{\text{норм}} = 0,35$ ). Снижение коэффициента реактивной мощности до нормируемого значения позволит сократить потери на 37,1 %.

Высшие гармоники также приводят к увеличению потерь мощности в линиях сети. Оценить дополнительные потери мощности можно по формуле [4]:

$$\Delta P_{\text{лЭП}} = \sum_{v=2}^{40} I_v^2 R k_{rv},$$

где  $k_{rv}$  – коэффициент, учитывающий влияние поверхностного эффекта и эффекта близости ( $k_{rv} = 0,47\sqrt{v}$ ).

Потери, обусловленные высшими гармониками в линиях сети, незначительны в сравнении с общими потерями (по результатам расчета составили 1,8 % от передаваемой мощности).

Потери в трансформаторе от высших гармоник тока определяем по формуле [4]:

$$\Delta P_{\text{tp}} = 0,47 \Delta P_{\text{кз}} \sum_{v=2}^{40} K_{I(v)}^2 \sqrt{v},$$

где  $\Delta P_{\text{кз}}$  – потери короткого замыкания трансформатора.

Добавочные потери мощности в трансформаторе на частотах высших гармоник составили 12,2 % от потерь мощности при синусоидальной нагрузке.

Согласно проведенным расчетам, оказалось, что низкое КЭ приводит к значительному увеличению потерь в электрической сети. В связи с этим целесообразна реализация мероприятий по улучшению КЭ, например, перераспределение потребителей по фазам с целью снижения несимметрии напряжения.

Для приведения отклонений напряжения к требованиям стандарта [6] необходимо рационально выбрать надбавку напряжения трансформатора сельской ТП с помощью устройства ПБВ. Для корректного выбора отпайки ПБВ была составлена таблица отклонений напряжения для разных положений устройства ПБВ (табл. 2).

В соответствии с табл. 2, минимальных отклонений напряжения в сети можно добиться при положении ПБВ в -2,5 % и 0 % при условии, что первичное напряжение трансформатора равняется своему номинальному значению.

**Вывод.** Проведенный анализ качества электроэнергии в электрической сети поселка Кемеровской области выявил проблемы с отклонениями напряжения и несимметрией. Указанные отклонения негативно сказыва-

ются на работе бытовых электроприемников и приводят к увеличению потерь электроэнергии в электрической сети более чем на 33 %.

Для улучшения качества электроэнергии рекомендуется провести регулирование напряжения на трансформаторе ТП и перераспределить потребителей по фазам.

Таблица 2. Отклонения напряжения в сети для разных положений переключателя ПБВ

Отпайка ПБВ	-5%	-2,5%	0%	+2,5%	+5%
Фактическая надбавка напряжения	0%	+2,5%	+5%	+7,5%	+10%
Отклонение напряжения у ближайшего потребителя в период минимума нагрузки	-0,39%	+2,11%	+4,61%	+7,11%	+9,61%
Отклонение напряжения у наиболее удаленного потребителя в период максимума нагрузки	-5,62%	-3,12%	-0,62%	+1,88%	+4,38%

#### Список литературы:

1. Черкасова Н.И. Повышение энергоэффективности системы сельского электроснабжения компенсирующими устройствами / Н.И. Черкасова // Механизация и электрификация сельского хозяйства – М., 2013. - № 6. – С. 17-19.
2. Харченко, В.Н. Электроустановки индивидуальных жилых домов: справочник / В.Н. Харченко. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2004. – 496 с.
3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС», 2009. – 454 с.
4. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
5. Коваленко, П.В. Анализ потерь мощности в электрических сетях при неравномерной и несимметричной нагрузке / П.В. Коваленко, О.А. Смышляева // Электрика. – 2009. – №9 – С.18-22.
6. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.