

Тулский В.Н., Асанов А.К., Насыров Р.Р., Кайдуев Н.К.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ  
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ (НА ПРИМЕРЕ Г. БИШКЕК)

V.N. Tul'skiy, A.K. Asanov, R.R. Nasyrov, N.K. Kayduiev

DETERMINING THE CAUSES OF DECLINING ENERGY QUALITY IN THE  
DISTRIBUTION NETWORKS (BISHKEK)

УДК: 621.31

В статье рассматривается анализ и оценка проблемы качества электроэнергии по результатам измерений показателей качества электроэнергии.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, распределительные сети.

In this article are considered analysis and assessment of power quality problems by power quality measurements.

**Keywords:** energy quality, power distribution networks.

В феврале 2011 г. испытательная лаборатория по качеству электрической энергии МЭИ (ИЛ КЭ МЭИ) совместно с Восточным и Западным районными электросетями ОАО «Северэлектро» по г. Бишкек, осуществили контроль качества электроэнергии (КЭ) на соответствие требованиям [1]. В период с 7 февраля по 18 февраля 2011 года в составе ИЛ КЭ МЭИ были проведены испытания КЭ на 3 подстанциях 35/6-10 кв. (ПС) (шины низшего напряжения) и 11 трансформаторных подстанциях 6- 10/0,4 кв. (ТП) (шины низшего напряжения), расположенных в различных районах г. Бишкек (рис. 1). В сетях 6-10 кв. и 0,4 кв. с помощью анализаторов КЭ типа ЭРИС-КЭ.02 (зарегистрирован в Госреестре средств измерения № 40572-09) и в соответствии с требованиями [2] испытания производились по следующим ПКЭ:

- Установившееся отклонение напряжения;
- Отклонение частоты;
- Коэффициенты не симметрии напряжения по обратной последовательности;
- Коэффициенты не симметрии напряжения по нулевой последовательности;
- Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;
- Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения;
- Провалы и перенапряжения.

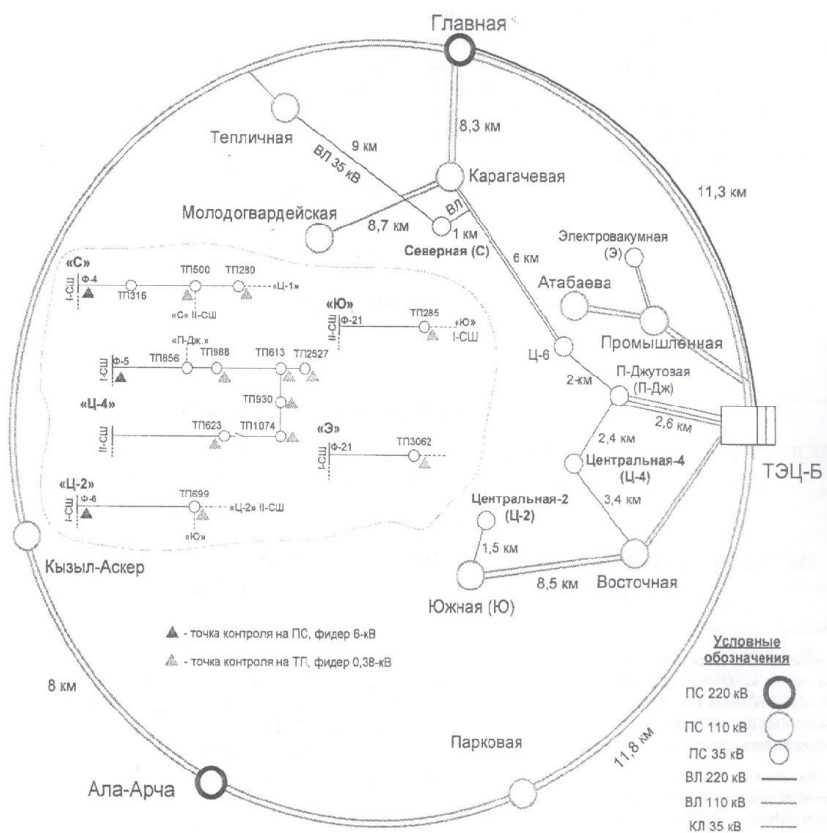


Рис. 1. Фрагмент схемы сети 6-220 кВ г. Бишкек

Этими же приборами одновременно с показателями КЭ проводилось измерение токов [3]. Длительность непрерывных измерений в каждой точке составила: в сетях 6-10 кВ не менее 5 суток, а в сетях 0,4 кВ не менее 2 суток.

Пункты контроля КЭ энергии выбирались на основе сведений, предоставляемых персоналом электрических сетей:

- Схем распределительных электрических сетей 6-10 кВ и 0,4 кВ;
- Данных о составе нагрузки и ее категориях по надежности электроснабжения;
- Потерь напряжения в распределительных сетях;

Условные обозначения

- Данных о требованиях к КЭ, внесенных в договоры и технические условия на присоединение. Основные критерии выбора пунктов контроля КЭ представлены в таблице "1".

**Критерии выбора пунктов контроля КЭ**

**Таблица 1.**

Критерий выбора ПС (ТП) для контроля КЭ	Точка контроля КЭ													
	6 кВ			0,38 кВ										
	ПС «Ц-2», Ф-6	ПС «Ц-4», Ф-5	ПС «С», Ф-4	ТП280	ТП 285	ТП 500	ТП 613	ТП 623	ТП 699	ТП 930	ТП 988	ТП 1074	ТП 2527	ТП 3062
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наиболее электрически удаленные по отношению к ПС (ТП) потребители	+	+	+	+		+	+				+	+		
Наиболее электрически близкие по отношению к ПС (ТП) потребители	+	+	+		+			+	+	+			+	+
Нагрузки, которые могут влиять на КЭ					+	+		+	+				+	+
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Нагрузки, восприимчивые к снижению КЭ					+			+	+	+	+			+
Точки электрической сети, по которым заявляются претензии к КЭ			+	+		+	+					+		+
Линии электропередачи с наибольшими потерями напряжения		+	+	+		+					+	+		

*Результаты проведенных измерений представлены в табл. 2.*

Как видно из таблицы, нарушения нормативных значений по отклонению напряжения наблюдались во всех случаях (точках) в сети 0,38 кВ. Распространенными можно также считать нарушения по коэффициенту симметрии напряжения по нулевой последовательности  $K_{0U}$ .

*Таблица 2.*

**Результаты измерений ПКЭ в контрольных точках г. Бишкек**

ПКЭ	Контрольные точки на шинах														
	6 кВ				0,4 кВ										
	ПС «Ц-2», Ф-6	ПС «Ц-4», Ф-5	ПС «С», Ф-4	ТП280	ТП 285	ТП 500	ТП 613	ТП 623	ТП 699	ТП 930	ТП 988	ТП 1074	ТП 2527	ТП 3062	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
$\delta U, \%$	нб	+15	+13	+11	+7	+8	+9	+19	+19	+8	+18	+17	+18	+20	+11
	нм	+4	+3	-4	-12	+1	-11	+4	+7	-2	+7	+7	+2	+5	+20
	95%в	+4	+9	+6	+7	+7	+7	+15	+17	+6	+16	+14	+16	+19	+17
	95%н	-4	+3	-2	-9	+1	-3	+2	+6	-1	+6	+5	+2	+4	+9
	T1	21	25	32	60	38	50	100	100	33	100	100	90	100	100
	T2	12	30	9	16	0	12	70	52	0	80	52	45	77	100
	НДУ*	-			+5, 0 (исходя из принятых потерь в сети 0,38 кВ в 5%)										
ПДУ*	-			+10, -5 (исходя из принятых потерь в сети 0,38 кВ в 5%)											
95%	2,0	1,9	1,4	2,5	3,2	2,2	3,1	3,4	2,1	3,1	1,8	3,8	3,6	2,0	

$K_{2U}$ %	95%	1,3	1,5	1,1	0,9	0,5	1,1	0,9	1,0	0,5	0,7	1,1	1,2	1,1	0,5	
	нб	1,6	1,6	1,6	0,9	0,6	1,2	1,0	1,1	0,5	0,8	1,2	1,5	1,2	0,6	
	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	НДУ	2														
	ПДУ	4														
$K_{0U}$ %	95%	-	-	-	5,6	1,7	5,8	4,4	1,2	0,9	2,2	0,8	4,5	3,0	0,3	
	нб	-	-	-	8,0	1,9	6,9	7,9	2,1	0,9	3,5	1,2	7,0	5,3	0,6	
	T1	-	-	-	100	0	95	83	9	0	50	0	75	63	0	
	T2	-	-	-	89	0	82	73	0	0	0	0	39	13	0	
	НДУ	-	-	-	2											
	ПДУ	-	-	-	4											
$\Delta f$ , Гц	95% <sub>об</sub>	50,04														
	95% <sub>нб</sub>	49,97														
	нб	50,04														
	нм	49,95														
	T1	0														
	T2	0														
	НДУ	±0,2														
	ПДУ	±0,4														

\* - нормально и предельно допустимые уровни по ГОСТ [1];  
 \*\* - ТП699 -  $K_{U(3)}$ , ТП3062 -  $K_{U(32)}$ .

Для улучшения КЭ в исследуемых сетях необходимо поэтапно вводить мероприятия:

1. по введению коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности в допустимый диапазон;

2. по введению установившегося отклонения напряжения в допустимый диапазон.

**Коэффициенты несимметрии напряжения по нулевой  $K_{0U}$  последовательности.**

Согласно требованиям [1] нормально допустимый уровень коэффициентов несимметрии по нулевой последовательностям составляет 2%, а предельно допустимый – 4%. Требования ГОСТ по

несимметрии напряжения по нулевой последовательности не выполнялись в 7 случаях из 11. Следует отметить, что по обратной последовательности нарушений нормативных требований не было (см. таблицу 2). Например, измеренные значения коэффициентов несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям на ТП280 в течение суток представлены на рисунке 2. Измерения производились на шинах 0,38 кВ ТП. Такая ситуация наиболее часто встречается при ненадлежащем состоянии (подключении) нейтрального проводника при несимметричной нагрузке.

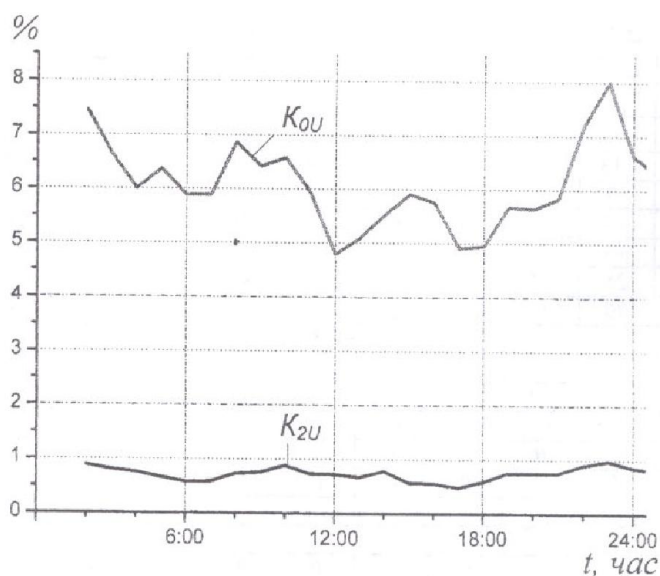
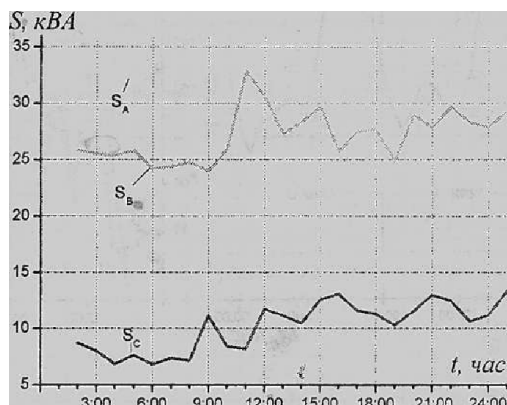


Рис. 2. Измеренные значения коэффициентов несимметрии напряжения по обратной ( $K_{2U}$ ) и нулевой ( $K_{0U}$ ) последовательностям.

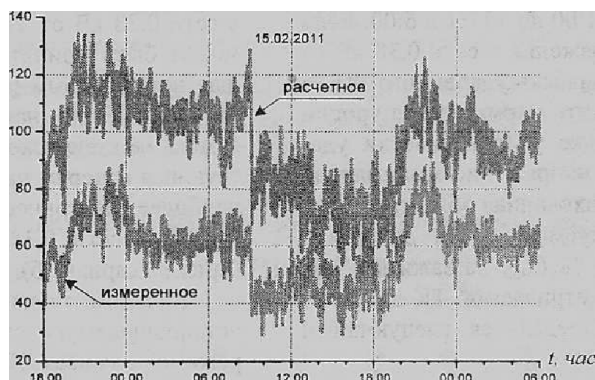
На одном из фидеров 0,38 кВ, получающих питание от ТП280 производились измерения токов во всех фазных проводниках и в нейтрали. По известным токам и напряжениям, были получены графики фазных полных мощностей (рисунок 3). Из рисунка 3 видно, что имеет место несимметричная нагрузка фидера по фазам.



**Рис. 3.** Графики фазных полных мощностей одного из отходящих присоединений ТП 280

По известным значениям токов в фазных проводниках был рассчитан ток в нейтрали, и эти значения сопоставлены с измеренным током в нейтрали. Результаты сопоставления представлены на рисунке 4.

IN, А



**Рис. 4.** Измеренный и рассчитанный токи в нейтрали одного из присоединений 0,38 кВ ТП 280

На представленном рисунке видно, что значения токов нейтрали весьма коррелируются между собой (коэффициент корреляции 0,9), но в нейтраль данного присоединения «стекается» не весь ток нулевой последовательности, создаваемый несимметричной нагрузкой, а его часть. Это позволяет сделать вывод о том, что ток нулевой последовательности замыкается не только в нейтрали присоединения, как того требует нормальная работа 4-х проводной сети, а так же по другим контурам. Тогда для введения коэффициента не симметрии напряжения по нулевой последовательности в допустимый диапазон необходимо:

1. Приведение в порядок нейтральных проводников в сети 0,38 кВ;
2. Симметрирование нагрузок по фазам.

**Установившееся отклонение напряжения  $SU_y$ .**

В исследуемых сетях введение установившегося отклонения напряжения в допустимый диапазон требует корректировки положения ПБВ трансформаторов ТП и введение автоматического регулирования напряжения на ПС. Это можно показать на примере ТП613, питающейся от ПС «Ц-4». ПС оборудована РПН (автоматика отключена), а силовые трансформаторы ТП 613 оборудованы ПБВ (текущее положение - Ш)

В качестве точки контроля (ТК) по напряжению были выбраны шины 0,38 кВ ТП613, а по току - суммарный ток нагрузки трансформатора ТП. На рис. 5 а и б представлены график отклонения напряжения и графики нагрузки. Параметры режима измерялась непрерывно с осреднением на получасовых интервалах.

Статистическая обработка результатов измерений показала, что коэффициент корреляции между отклонением напряжения и нагрузкой равен -0,82, что свидетельствует о существенном влиянии нагрузки на отклонение напряжения. При этом отрицательное значение указывает на то, что с ростом нагрузки напряжение снижается, а с ее уменьшением - возрастают.

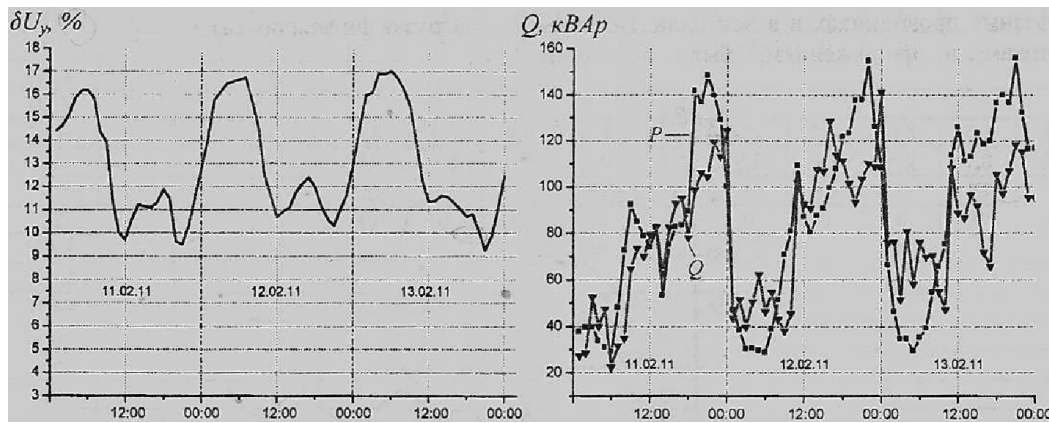


Рис. 5. Отклонение напряжения (а) и графики нагрузки (б) ТП613

При таких уровнях напряжения (рисунок 5 а) на шинах 0,38 кВ ТП невозможно обеспечить КЭ по установившемуся отклонению напряжения на зажимах ЭП - напряжение завышено. Так 13.02.11 диапазон отклонения напряжения в ТК за сутки составляет 8%: от +9% в 21:00 до +17% в 6:00. Если допустить, что потери напряжения в сети 0,38 кВ от шин ТП до наиболее электрически удаленного ЭП не превышают 5%, то обеспечить нормативные уровни напряжения возможно только у электрически удаленного ЭП в часы, когда напряжение минимально (рисунок 6 б верхняя заштрихованная область).

Для обеспечения требуемого в [1] диапазона отклонения напряжения  $\pm 5\% U_{нм}$  на зажимах ЭП, необходимо, что бы в рассматриваемой ТК диапазон отклонения напряжения определялся следующими границами:

- Верхняя граница  $+5\% \mathcal{E}/_{ком}$  определяется исходя из собственных нужд ТП: на ЭП собственных нужд должно обеспечиваться КЭ по установившемуся отклонению напряжения;
- Нижняя граница определяется исходя из потерь в сети 0,38 кВ от ТК до наиболее удаленного ЭП, и может быть принята: а)  $+2,5\% C/_{ном}$ , соответствующая нормативным [4] потерям 7,5 % в сети 0,38 кВ от шин ТП до наиболее электрически удаленной лампы электрического освещения; б)  $U_{н0у}$ , соответствующая потерям напряжения от шин 0,38 кВ ТП до наиболее электрически удаленного ЭП 5% характерным для сети 0,38 кВ по данным ИЛ КЭ МЭИ (примем вариант б).

В таком случае возможно обеспечить КЭ по установившемуся отклонению напряжения во всех режимах для всех ЭП (рисунок 6 б нижняя заштрихованная область).

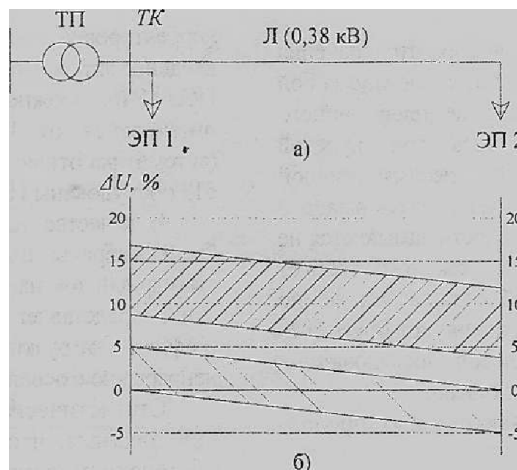


Рис. 6. Упрощенная схема участка сети от рассматриваемой ТП до наиболее электрически близкого (ЭП1) и удаленного (ЭП2) электроприемника, объединенных линией Л (0,38 кВ), эквивалентирующей часть сети, замыкающей эти ЭП (а), и эпюра распределения напряжения (б) на этом участке.

Тогда необходимо:

1. Перевести ПБВ трансформатора ТП из положения III в положение I, что позволит снизить напряжение на 5% во всех режимах;
2. Ввести автоматическое регулирование напряжения на ПС при помощи РПН с уставками, позволяющими обеспечить отклонение напряжения в диапазоне от  $1,05 \mathcal{E}/_{,ом}$  до  $\mathcal{E}/_{ном}$  на шинах 0,38 ТП (с допущением, что потери напряжения от шин 0,38 кВ ТП до наиболее электрически удаленного ЭП 5%).

**Выводы**

1. Контроль КЭ в РЭС показал, что в большинстве случаев требования ГОСТ 13109-97 не выполняются по установившемуся отклонению напряжения, коэффициенту не симметрии напряжений по нулевой последовательности.
2. Не симметрия напряжения обусловлена неравномерностью распределения нагрузки по фазам сети 0,38 кВ и ненадлежащем состоянии (подключении) нейтрального проводника.
3. Невыполнение требований ГОСТ 13109-97 по отклонению напряжения связано с отсутствием как автоматического регулирования напряжения в центрах питания, так и регулирования напряжения с помощью ПБВ трансформаторов 6 - 10/0,4 кВ.

**Список литературы:**

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. ГОСТ Р 53333-2008. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Карташев И.И., Понамаренко И.С., Ярославский В.Н. Требования к средствам измерения показателей качества электроэнергии. - Электричество, 2000, №4.
2. 44. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.

**Рецензент: к.т.н, доцент Ниязов Н.Т.**