

УДК 621.311.13.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ

А.К. Асанов

Определены вероятностные характеристики гистограмм по отклонению напряжения по результатам измеренных данных. Осуществлена аппроксимация полученных результатов нормальным законом распределения.

*Ключевые слова:* установившееся отклонение напряжения; гистограмма; вероятностные характеристики; ширина диапазона отклонения напряжения; аппроксимация.

В Кыргызстане показатели качества электрической энергии нормируются ГОСТом [1]. Для установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  этот ГОСТ устанавливает на зажимах электроприемников (ЭП) нормально допустимое  $\delta U_y = \pm 5\%$  и предельное  $\pm 10\%$  значения от номинального напряжения сети. В течение 95 % времени суток (22 ч 48 мин) фактические значения напряжения не должны превышать нормально допустимых значений. Остальные 5 % времени (1 ч 12 мин) фактические значения могут быть выше нормально допустимых, но не превышать предельно допустимых.

Положительные отклонения напряжения приводят к снижению потерь напряжения и увеличению потерь мощности в сетях, увеличению производительности механизмов с асинхронным при-

водом. Отрицательные отклонения напряжения главным образом сказываются на снижении производительности, увеличении потерь напряжения и снижении потерь мощности. Изменение отклонения напряжения по реальным закономерностям в сетях зависит от суточного диапазона изменения нагрузки. Суточный ход нагрузки изменяется от наибольшего до наименьшего значения, при этом напряжение в конце линии ниже при наибольшей нагрузке, так как потери больше, чем при наименьшей нагрузке, а отклонение напряжения от номинального значения в режиме наибольшей нагрузки больше, чем при наименьшей нагрузке [2].

Для оценки существующих режимов напряжения в феврале 2011 г. в действующих городских распределительных сетях 0,4 кВ г. Бишкек были проведены измерения ПКЭ. Точками контроля (ТК) проведения измерений являлись шины 0,4 кВ понижающих трансформаторных подстанций 6–10/0,4 кВ (ТП), нагрузками которых являлись различные ЭП (промышленные, административные и коммунально-бытовые). Длительность непрерывных измерений составляла не менее 2 суток. Измерения проводились сертифицированными приборами ЭРИС-КЭ.

На рисунке 1 представлен график отклонения напряжения и график нагрузки одной из исследуемых ТП. 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 – возрастает.

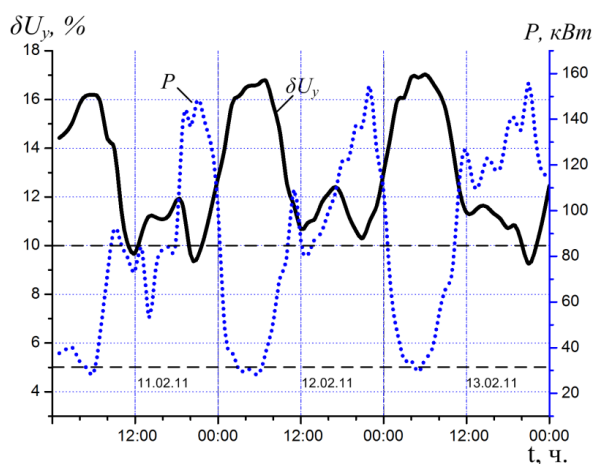


Рисунок 1 – Отклонение напряжения и график нагрузки на шинах 0,38 кВ ТП

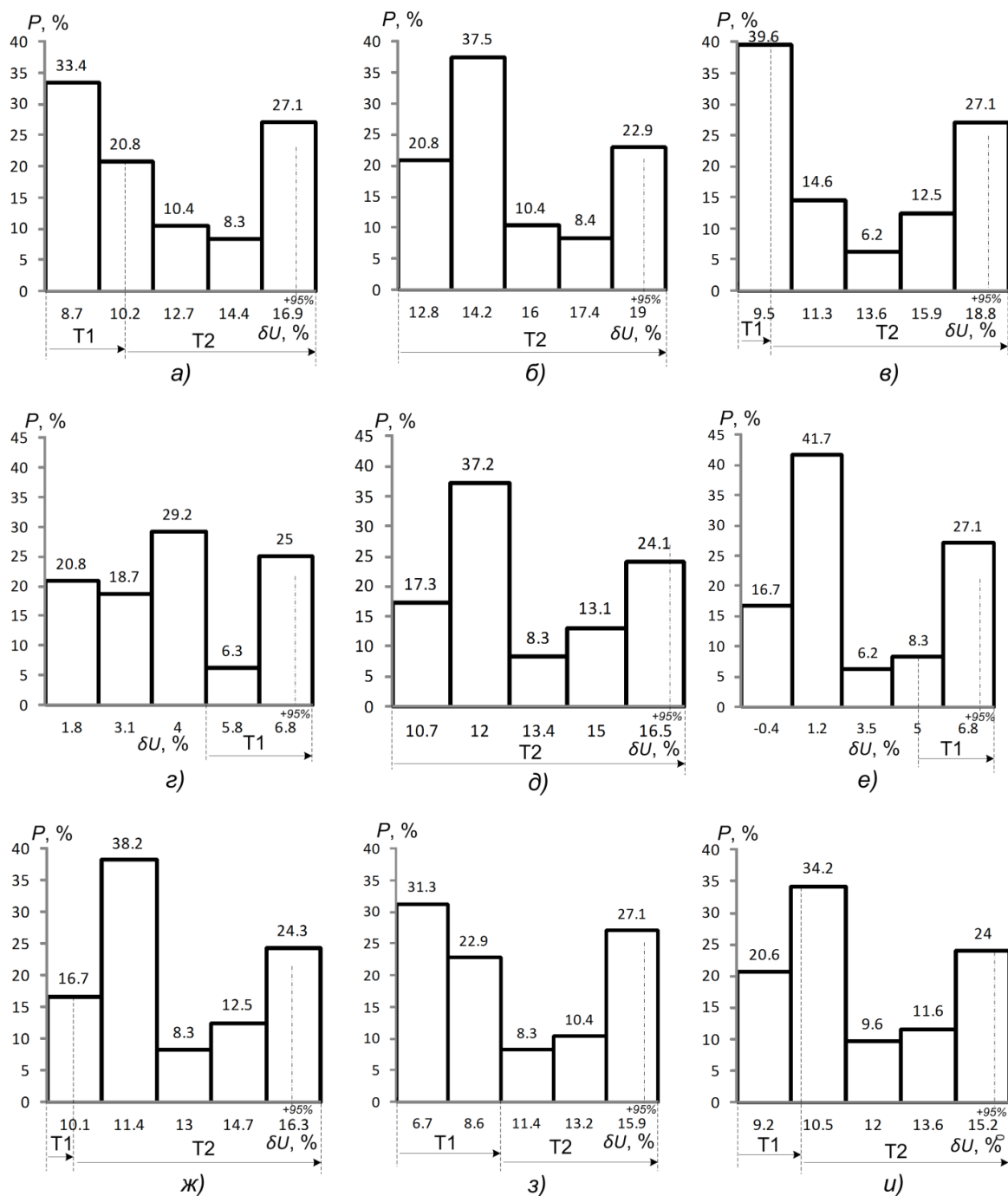


Рисунок 2 – Гистограммы  $\delta U$  на шинах 0,4 кВ ТП на соответствие требованиям ГОСТ 13109–97:  
 а – не соответствует; – – – – граница нормально и предельно допустимых значений;  
 - · - · - · – верхнее  $P^{95\%}$  значение, в границе которого находится 95 % измеренных значений

Анализ графика отклонения напряжения в суточном ходе (рисунок 1) показывает, насколько неравномерно происходит отклонение напряжения,

так 13.02.11 диапазон отклонения напряжения в ТК за сутки составляет 8 %: от +9 % в 21:00 до +17 % в 6:00.

Исследованию отклонений напряжений подверглись 9 ТК на шинах 0,38 кВ ТП. По результатам этих исследований для каждой точки по [2, 3] были построены гистограммы (рисунок 2, а–и) и выполнены следующие действия:

- определены интегральные вероятностные характеристики гистограмм  $\delta U$ ,  $\delta \bar{U}$  и  $\sigma$ ;
- определено соотношение  $\sigma/d_{95\%}$ , где  $d_{95\%}$  – ширина диапазона, в котором находилось 95 % измеренных значений  $\delta U$ ;
- осуществлена аппроксимация полученных результатов по нормальным законам распределения.

Гистограммы  $\delta U$  (рисунок 2, а–и), исходя из закономерности изменения напряжения и ширины диапазона  $\delta U$ , были условно разделены на три группы.

1. Промышленный цех и двигательные нагрузки,  $d < 7,5\%$  (в рабочие дни). Встречное регулирование в ЦП не осуществлялось.

2. Учебные и административные здания,  $d < 7,5\%$  (в рабочие дни). Встречное регулирование в ЦП не осуществлялось.

3. Жилые пяти- и девятиэтажные дома,  $d \geq 7,5\%$  (в рабочие и выходные дни). Коэффициент корреляции напряжений рабочего и выходного дней составлял от 0,92 до 0,97, что свидетельствует о незначительной разнице потребляемых мощностей в рабочие и выходные дни. Встречное регулирование в ЦП не осуществлялось.

В таблице 1 приведены вероятностные характеристики гистограммы каждой группы.

Таблица 1 – Вероятностные характеристики гистограмм  $\delta U$  на шинах напряжением 0,4 кВ ТП

Группа	ТП № (обозн. на рис. 1)	Ширина диапазона $d$ изменения $\delta U$ , %	Вероятностные характеристики $\delta U$		
			$\delta \bar{U}$ , %	$\sigma$ , %	$d_{95\%}/\sigma$
1	623 (а)	9,8	12,1	3,3	2,8
	3062 (б)	7,6	15,4	2,2	3,1
	2527 (в)	11,2	13,3	3,9	2,8
2	285 (г)	6,2	4,2	1,8	3,1
	930 (д)	7,1	13,3	2,1	3,1
	699 (е)	7,4	2,9	2,7	2,9
3	613 (ж)	7,7	12,9	2,3	3,1
	1074 (з)	10,7	10,7	3,7	2,8
	988 (и)	7,5	11,8	2,2	3,1

Проверка возможности аппроксимации полученных гистограмм проводилась по критерию  $\chi^2$  с уровнем значимости  $\alpha=0,05$  [3]. Для всех гис-

тограмм расчетное значение было больше теоретического  $\chi_p^2 > \chi_r^2$ , таким образом, условие  $\chi_p^2 < \chi_r^2$  не выполнялось, и, следовательно, реальные гистограммы  $\delta U$  на рассмотренных интервалах не могли быть аппроксимированы нормальным законом распределения.

Анализ гистограмм позволил сделать следующие выводы.

1. Наиболее информативно и целостно режим напряжения в распределительной сети напряжением 0,4 кВ характеризует совокупность гистограмм и графиков  $\delta U$ , полученных по измерениям в основных точках сети напряжением 0,4 кВ ближайших и удаленных ТП. Данная информация позволяет оценить КЭ на соответствие ГОСТ [1] и принять меры по регулированию напряжения.

2. Реальные закономерности изменения  $\delta U$  в узлах распределительных сетей напряжением 0,4 кВ при отсутствии встречного регулирования в центре питания (ЦП), не могут быть аппроксимированы нормальным законом распределения. Этот вывод справедлив как для суточных (раб. и вых.) гистограмм, так и для гистограмм, полученных отдельно для часов наибольших и наименьших нагрузок.

3. Все гистограммы (при диапазоне изменения  $\delta U \geq 6\%$ ) имеют двух-, трехмодульный вид (рисунок 2, а–и).

4. Для гистограмм, соответствующих реальным закономерностям изменения напряжения в сетях,  $\delta U$  с вероятностью 95 % находится в диапазоне  $3\sigma$  на шинах 0,4 кВ ТП.

Для обеспечения требуемого в [1] диапазона отклонения напряжения на зажимах ЭП необходимо осуществление следующих технических мероприятий:

1. Для “узких” гистограмм ( $\sigma \leq d/3$ ), в которых математическое ожидание  $\delta \bar{U}$  смещено влево относительно середины диапазона (рисунок 2 б, г, д, ж, и). Если диапазон регулирования ПБВ трансформатора не исчерпан, то возможно перемещение данной гистограммы параллельно самой себе на величину введенной добавки напряжения в соответствии с требуемым воздействием – понижения напряжения. Поскольку добавки дискретны (2,5 или 5 %), такое мероприятие может оказаться недостаточным и потребует воздействие на закон регулирования в ЦП.

2. Для “широких” гистограмм ( $\sigma \geq d/3$ ), математические ожидания которых также смещены влево относительно середины диапазона (рисунок 2, а, в, е, з). В этом случае изменение ответвления ПБВ трансформатора улучшит положение, но не обеспечит регулирование напряжения в требуемом диапазоне. Такая ситуация может быть вызвана

неправильным регулированием напряжения в ЦП, перегруженностью сети, резкой неоднородностью графика нагрузки данного узла по отношению к суммарному графику нагрузки ЦП. Для введения отклонений напряжения в допустимую область необходимо уменьшить рассеяние гистограммы, т. е. сузить диапазон регулирования напряжения. Это может быть достигнуто путем изменения закона регулирования напряжения в ЦП, установкой местных средств регулирования или изменением режима работы этих средств, увеличением пропускной способности сети или ее схемы и т. д.

Таким образом, исследования отклонений напряжения показывают, что режим напряжения электрической сети г. Бишкек не удовлетворяет предъявляемым требованиям. Это связано, в пер-

вую очередь, с отсутствием как централизованного встречного регулирования напряжения в ЦП, так и коррекции напряжения с помощью ПБВ трансформаторов 6–10/0,4 кВ.

#### *Литература*

1. ГОСТ 13109–97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. *Карташев И.И.* Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд. дом МЭИ, 2008. 354 с.
3. *Фокин Ю.А.* Применение методов математической статистики в энергетических расчетах: учеб. пособие / Ю.А. Фокин. М.: МЭИ, 1981. 87 с.