

УДК 621.311

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-34-40

Современное состояние и перспективы обеспечения качества электроэнергии в электрических сетях открытой акционерной холдинговой компании «Барки Точик»

В.Н. Тульский, Х.Б. Назиров, Ш.Дж. Джураев, Б.Дж. Инояттов

Современный темп развития инфраструктуры городов и промышленных предприятий в Республике Таджикистан характеризуется масштабным ростом производства и потребления электрической энергии. Среди потребителей электроэнергии в настоящее время большую долю составляют потребители с нелинейными вольт-амперными характеристиками (ВАХ), ухудшающими качество электроэнергии и увеличивающими потери в электрических сетях. Следует отметить, что в энергосистемах имеются электрооборудование и электроприемники, чувствительные к падению показателей качества электроэнергии, поэтому определение состояния сети по параметрам качества электроэнергии является актуальной задачей для ОАХК «Барки Точик». Один из способов определения источников искажения и уровня помех в электрических сетях — инструментальная оценка качества электрической энергии.

Представлена краткая информация об энергосистеме Республики Таджикистан. Показан состав источников и потребителей электроэнергии, отображены результаты инструментального контроля качества электроэнергии, проведенного в сетях напряжением 10, 220 и 500 кВ. Проанализированы результаты измерения показателей качества электроэнергии в электрических сетях ГУП «ТАЛКО» по нормируемым показателям качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 32144—2013. Объяснены причины отклонения показателей качества электроэнергии от нормативных значений и возможные последствия от ухудшенных показателей качества электроэнергии.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, качество электроэнергии, Таджикская алюминиевая компания, республика Таджикистан.

Для цитирования: Тульский В.Н., Назиров Х.Б., Джураев Ш. Дж., Инояттов Б.Дж. Современное состояние и перспективы обеспечения качества электроэнергии в электрических сетях открытой акционерной холдинговой компании «Барки Точик» // Вестник МЭИ. 2018. № 1. С. 34—40. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-34-40.

The Current State of Electric Power Quality and Prospects for Maintaining It in the Electric Networks of the Barqi Tojik Open Joint-Stock Holding Company

V.N. Tulsy, Kh.B. Nazirov, Sh.D. Dzhuraev, B.J. Inoyatov

The current development rates of infrastructural facilities in the cities and industrial enterprises in the Republic of Tajikistan entail a large-scale growth of electricity production and consumption. At present a considerable fraction of electricity consumers use loads with nonlinear volt-ampere characteristics which have an adverse effect on the electric power quality and lead to a growth of power losses in the electric networks. It should be noted that power systems contain electrical equipment and consumers sensitive to degradation of the electric power quality indicators, due to which determination of the network state by the power quality parameters is a topical issue for the Barki Tojik open joint-stock holding company. One possible way of determining the sources and levels of distortion in electric networks is instrument-assisted evaluation of the electric power quality.

The article presents brief information about the power system of the Republic of Tajikistan. The structure of electric power sources and consumers is shown and the results from instrument-assisted checks of electric power quality carried out in the 10, 220, and 500 kV electric networks are presented. The results obtained from measurements of power quality indicators in the electric networks of the Tajik Aluminum Company State Unitary Enterprise carried out with reference to the power quality indicators stipulated by GOST (Russian State Standard) 32144-2013 are analyzed. Factors causing deviation of the existing power quality indicators from their standardized values are explained and possible consequences from the degraded power quality indicators are pointed out.

Key words: electromagnetic compatibility, electric power quality, Tajik Aluminum Company, Republic of Tajikistan.

For citation: Tulsy V.N., Nazirov Kh.B., Dzhuraev Sh.D., Inoyatov B.J. The Current State of Electric Power Quality and Prospects for Maintaining It in the Electric Networks of the Barqi Tojik Open Joint-Stock Holding Company. MPEI Vestnik. 2018;1:34—40. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-34-40.

Электроэнергетическая система Таджикистана (ЭЭСТ) разрабатывалась как часть единой энергосистемы Центральной Азии (ЭСЦА), созданной в 1970 г. XX в. вместе с Кыргызской Республикой, Туркменистаном, Узбекистаном и Южным Казахстаном [1, 2]. На сегодняшний день суммарная установленная мощность всех станций (гидроэлектростанции (ГЭС), теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)) в Таджикистане составляет около 5358 МВт (рис. 1, а). Отличительной особенностью ЭЭСТ является то, что более 95 % электроэнергии в стране вырабатываются ГЭС [1]. С ноября 2009 г. были отключены межсистемные линии со стороны АО «Узбекэнерго», однако сохраняются межсистемные связи с Кыргызстаном и Афганистаном, через которые в 2014 г. экспортировали 69,527 и 504,047 млн кВт·ч электроэнергии в летний период (при избытке мощности в ЭЭСТ) и импортировали 30,018 млн кВт·ч электроэнергии из Кыргызстана в зимний период (при дефиците мощности) [1].

Энергосистема республики постепенно развивается и в ее составе появляются потребители, влияющие на электромагнитную обстановку и качество электроэнергии энергосистемы в целом. Список основных потребителей энергосистемы и статистические данные по потреблению электрической энергии в 2014 г. приведены на рис. 1, б [1].

Из данных статистики следует, что, почти половину мощности потребляет государственное унитарное предприятие «Таджикская алюминиевая компания» (ГУП «ТАЛКО»). Более 90 % электроэнергии данного предприятия идет на снабжение электролизных установок, питающихся от выпрямительных преобразователей (потребление электроэнергии в ГУП «ТАЛКО» в 2011 году составило 5,487 млрд кВт·ч, из которых 93,5 % уходит на электролизное производство [3, 4]).

Выработка электроэнергии в ЭЭСТ (рис. 2) в основном обеспечивается ГЭС, располагаемая мощность которых зависит от времени года, поэтому в зимний период, когда сток рек снижается, ограничивают электропотребление коммунально-бытовой нагрузки. Одновременно с этим потребляемую мощность ГУП «ТАЛКО» не снижают, поскольку в его состав входят ответственные электроприемники (ЭП). Процентная доля потребляемой мощности ГУП «ТАЛКО»

от суммарной мощности ЭЭСТ возрастает, что приводит к ухудшению качества электроэнергии (КЭ) в электрических сетях напряжением 10...220 кВ, в первую очередь по несинусоидальности напряжения. Известно, что эта характеристика является функцией суммарного сопротивления системы и тока искажения

$$K_U, K_{U(n)} = f(I_{иск}, Z_{сис}),$$

где $I_{иск}$ — ток высших гармоник, создаваемых электроприемниками (ЭП) потребителей; $Z_{сис}$ — сопротивление, которое зависит от мощности короткого замыкания (к.з.) системы.

В свою очередь ГУП «ТАЛКО» так же влияет на баланс мощностей в энергосистеме Таджикистана, так как является мощным потребителем электроэнергии с практически неизменным графиком нагрузки.

Электропитание завода осуществляется по восьми линиям электропередач 220 кВ от подстанции «Регар-500». Протяженность каждой линии — 5,2 км. Данные линии подключены через линейные разъединители 220 кВ к группе трансформаторов (ГТ) [3]. Трансформаторные группы образуют главные понижительные подстанции (ГПП) 220/10 кВ.

Технологическая особенность электропотребления ГУП «ТАЛКО» определяется режимом работы преобразовательных установок, представляющих собой нагрузку с нелинейной вольтамперной характеристикой, потребляемый ток которой имеет явно выраженную несинусоидальную форму, то есть такая нагрузка является источником высших гармоник тока.

Для оценки КЭ в июле 2015 г. был проведен инструментальный контроль в 16 точках разных классов напряжения (10; 220 и 500 кВ) на ПС «Регар 500» и в электрических сетях ГУП «ТАЛКО» с помощью средств измерения типа Ресурс-UF2М. Длительность наблюдения в каждой точке составила не менее 24 ч, что допустимо, так как график нагрузки ГУП «ТАЛКО» практически не меняется во времени. Из результатов измерения (табл. 1) видно, что некоторые показатели качества электроэнергии (ПКЭ) не соответствуют нормативным требованиям [4, 5]. Следует отметить, что во время измерений мощность ГУП «ТАЛКО» составляла чуть более 35 % его установленной полной мощности, то есть при увеличении мощности нагрузки завода уровень помех в сети увеличится.

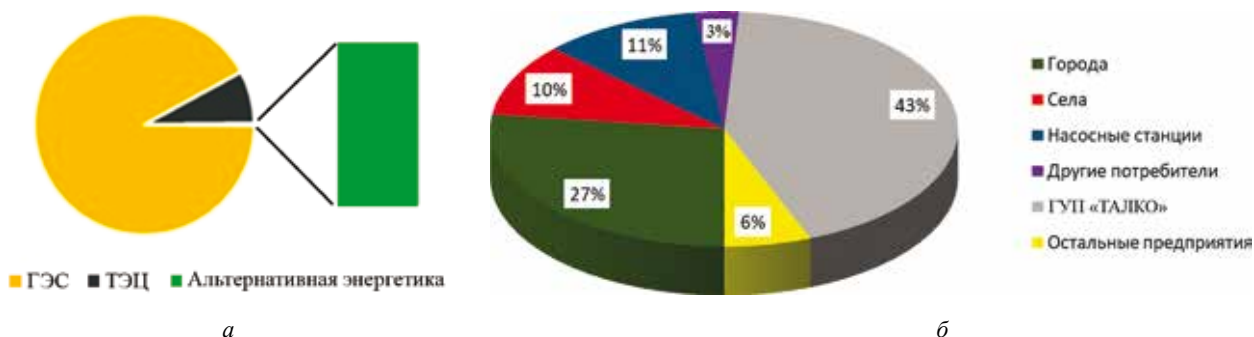


Рис. 1. Основные источники (а) и потребители (б) энергосистемы Таджикистана

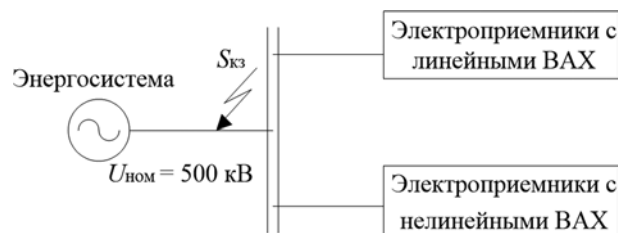


Рис. 2. Энергосистема республики Таджикистан

Согласно [5] практически на всех классах напряжения ЭЭСТ наблюдаются нарушения ПКЭ, поэтому в табл. 1 приведено сравнение некоторых показателей.

Отклонение частоты Δf , согласно [5], определяется выражением

$$\Delta f = f_m - f_{\text{ном}},$$

где f_m — значение основной частоты напряжения электропитания, измеренное в интервале времени 10 с, Гц; $f_{\text{ном}}$ — номинальное значение частоты напряжения электропитания (50 Гц).

Нормально допустимое отклонение частоты не должно превышать $\pm 0,2$ Гц, предельно допустимое отклонение частоты — $\pm 0,4$ Гц. Поскольку частота является системным параметром, то в качестве примера приведем графики измерений отклонения частоты на

подстанции «Регар–500» (рис. 3). Измерения проводились с 17.07 (16:29) по 18.07 (17:30) 2015 г.

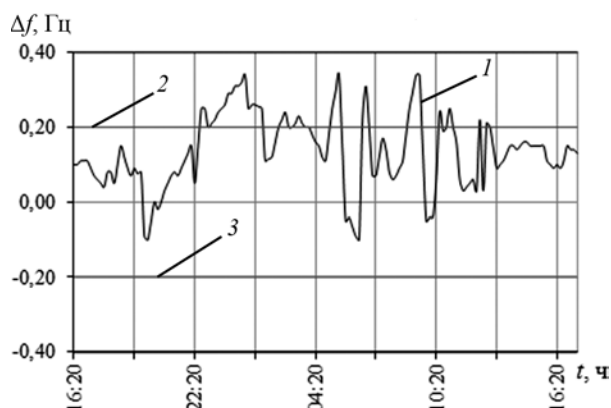


Рис. 3. График изменения отклонения частоты на ПС «Регар-500» от 17.07.2015 г. (16:29) до 18.07.2015 г. (17:30):

$$1 - \Delta f_{\text{в}}; 2 - \Delta f_{\text{доп}}; 3 - \Delta f_{\text{н}}$$

Из табл. 1 следует, что как и в 2011 г. проблемы регулирования частоты в энергосистеме остаются актуальными.

На протяжении всего времени измерений отклонение частоты выходило за установленные нормы. Из рис. 3 видно, что значение $\Delta f_{\text{в}} = 0,34$ Гц выше допусти-

Таблица 1

Сравнение результатов измерения показателей качества электроэнергии

Обозначение ПКЭ	Напряжение в точке измерения, кВ	Результаты измерений	
		июнь 2015 г.	апрель 2011 г.
Δf , Гц	–	0,83*	3,26*
δU_y , %	500	2,7	4,32
	220	7,45	8,5
	10	6,4	10,25*
K_{2U} , %	500	0,78	1,32
	220	0,91	3,64*
	10	0,95	4,32*
K_U , %	500	1,14	4,32*
	220	1,74	5,64*
	10	5,85*	1,8
$K_{U(n)}$, %	500	не соответствует	не соответствует
	220	не соответствует	не соответствует
	10	не соответствует	не соответствует
$\delta U_{\text{нр}}$, %	500	соответствует	не соответствует
	220	не соответствует	не соответствует
	10	не соответствует	не соответствует
$P_{\text{сп}}, P_{\text{лт}}$	500	соответствует	соответствует
	220	не соответствует	не соответствует
	10	не соответствует	не соответствует

Примечание. * — нарушения нормы ГОСТ 32144—2013.

мого ($\Delta f_{\text{доп}} = 0,2$ Гц), кроме того, на всем интервале инструментального контроля зафиксирован случай, когда значение отклонения частоты в два раза превысило предельно допустимое ($\Delta f = 0,83$ Гц, табл. 1).

Мощность нагрузки в каждый момент времени меняется, поэтому для поддержания требуемой частоты в энергосистеме следует регулировать вырабатываемую электростанциями мощность. Также возникают задачи распределения активной мощности между станциями, которые решают регуляторы частоты и мощности.

Как уже было отмечено, ЭЭСТ была построена как часть единой ЭСЦА, поэтому в автономном режиме работы в энергосистеме регулярно наблюдаются изменения частоты в диапазонах, выходящих за пределы допустимых значений (особенно в период дефицита мощности в энергосистеме). В качестве регулирующей станции в ЭЭСТ в настоящее время работает Нурекская ГЭС, а остальные станции используются в качестве базисных. Известно, что Нурекская ГЭС была построена в 1970-х гг. XX в. и оборудование систем автоматики устарело. В связи с этим целесообразно провести комплексную настройку средств первичного и вторичного регулирования частоты.

Установившееся отклонение напряжения δU_y или медленное изменение напряжения нормируется по [5]. Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное $\delta U_{(+)}$ отклонения напряжения

$$\delta U_{(-)} = \left[\frac{U_0 - U_{m(-)}}{U_0} \right] \times 100;$$

$$\delta U_{(+)} = \left[\frac{U_{m(+)} - U_0}{U_0} \right] \times 100,$$

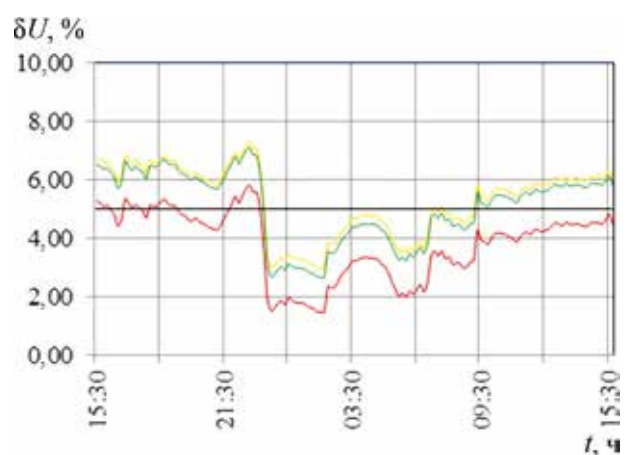
где $U_{m(-)}$, $\delta U_{m(-)}$ — значения напряжения электропитания меньше и больше, чем U_0 ; U_0 — напряжение, равное стандартному номинальному напряжению $U_{\text{ном}}$ или согласованному напряжению U_c .

Работа электролизных установок при пониженном напряжении приводит к снижению производительности и увеличению удельного расхода электроэнергии, а при повышении напряжения выше 5 % от номинального ($1,05 \cdot U_{\text{ном}}$) — к недопустимому перегреву электролизной ванны [6, 7]. По результатам измерения видно, что практически на всех выводах низкого напряжения (НН) трансформаторов ГУП «ТАЛКО» значения напряжения выше 5 % от номинального. По информации, предоставленной персоналом компании, следует, что устройство РПН (регулирующая под нагрузкой) в преобразовательных трансформаторах не функционирует должным образом.

Рассмотрим результаты измерений, проведенных на выводах НН трансформатора ГТ1 (10 кВ) и отходящей линии 220 кВ ЛТАЗ-1 (рис. 4, а, б).



а



б

Рис. 4. График изменения отклонения напряжения в обмотке НН 1 ГТ-1 (а) от 02.07.2015 г. (15:36) до 03.07.2015 г. (15:56) и в линии ЛТАЗ1 (б) от 15.07.2015 г. (13:57) до 16.07.2015 г. (15:03):

— δU_{AB} ; — δU_{BC} ; — δU_{CA} ; — δU_B ;
— $\delta U_{нб}$

Из графиков рис. 4 видно, что напряжение в течение суток меняется в широком диапазоне, устройства автоматического регулирования напряжения не функционируют.

Обеспечить требуемое напряжение в узлах системы электроснабжения (СЭС) можно [8]:

за счет регулирования напряжения в центре питания; путем снижения потерь напряжения в элементах сети.

В период измерения не были зафиксированы нарушения по коэффициенту несимметрии по обратной последовательности K_{2U} .

Суммарный коэффициент гармонической составляющей напряжения K_U и коэффициент n -ой гармонической составляющей $K_{2U(n)}$ не соответствуют нормативным требованиям.

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжений нормируются по [5] в зависимости от класса напряжения электрической сети. Анализ результатов измерений гармонической

составляющей показал, что гармоники 7, 11, 13, 23, 25, 29, 35-го порядка превышают допустимые значения. В качестве примера представлены результаты проведенных измерений на линии Л-ТАЗ 1, 220 кВ (рис. 5, 6). Согласно требованиям [5] коэффициент гармонической составляющей напряжения находится в пределах допустимого значения $K_{\text{доп}} = 2\%$ для электрических сетей 110...220 кВ.

Из рис. 6 следует, что значения коэффициента гармонической составляющей для гармоник 23, 25 и 29-го порядков превышает допустимые значения, это связано с работой преобразовательных установок. Спектр

гармоник характерен для работы 12-пульсного преобразователя [9], при этом в идеальном случае должны компенсироваться гармоники, кратные $n = 6(2k - 1)$, где $k = 1, 2, 3, \dots$. Полная компенсация происходит в случае, если параметры преобразовательного трансформатора относительно всех обмоток симметричны, а связь между вторичными обмотками, соединенными в «звезду» и «треугольник», минимальна. Спектр гармоник напряжения можно характеризовать как спектр 12-фазного выпрямителя с гармониками $n = 6k \pm 1$, обусловленными несимметрией в схеме [10].



Рис. 5. График изменения суммарного коэффициента гармонической составляющей междуфазных напряжений в линии Л-ТАЗ1 за период 15.07.2015 г. (13:57) — 16.07.2015 г. (15:03):

— $K_{U_{AB}}$; — $K_{U_{BC}}$; — $K_{U_{CA}}$; — K_U ; — $K_{U_{н6}}$

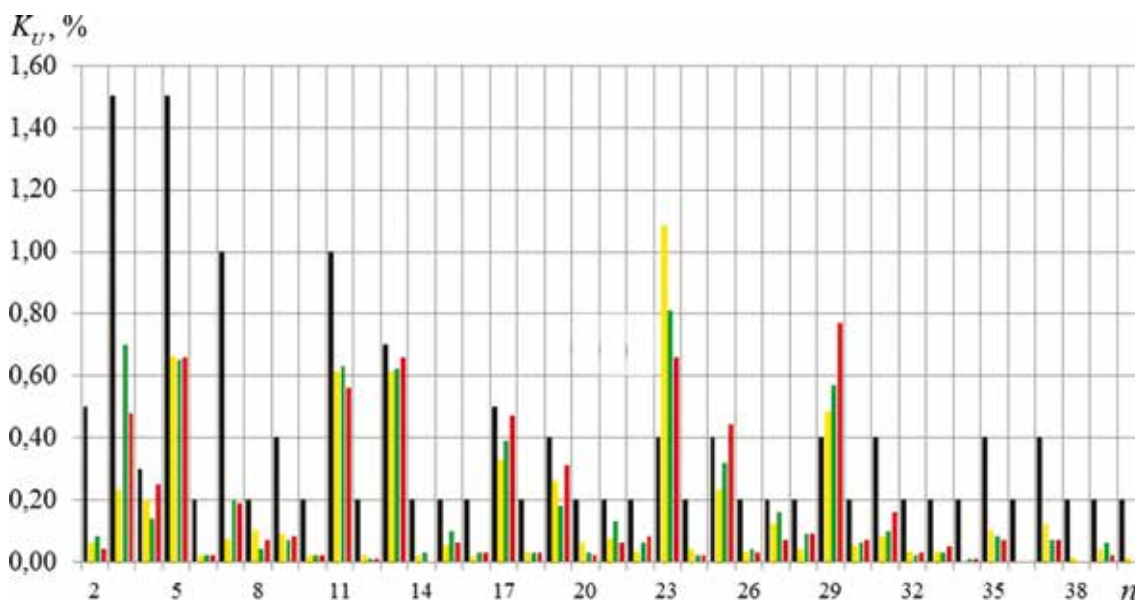


Рис. 6. Спектр n -ой гармонической составляющей напряжения U_A , U_B и U_C в линии Л-ТАЗ1 за период 15.07.2015 г. (13:57) — 16.07.2015 г. (15:03):

■ — $K_{U_{нд}}$; ■ — $K_{U_{A(n)}}$; ■ — $K_{U_{B(n)}}$; ■ — $K_{U_{C(n)}}$

Высшие гармоники (ВГ) напряжения и тока создают дополнительные потери в элементах электрической сети, сокращают срок службы изоляции электрооборудования, ухудшают режим работы электрооборудования, отрицательно влияют на работу релейной защиты и противоаварийной автоматики, что приводит к неправильной работе релейной защиты. Например, на Братский ГЭС для защиты блоков питания комплекса противоаварийной автоматики были вынужденно установлены временные фильтры для компенсации ВГ и тем самым увеличен срок службы блоков питания до 2 — 3 лет, так как до установки фильтров блоки питания работали максимум 3 — 4 месяца [8].

Следует отметить, что ВГ, генерируемые преобразователями ГУП «ТАЛКО», негативно влияют на все элементы ЭЭС, в том числе генераторы Нурекской ГЭС и его комплекса релейной защиты и противоаварийной автоматики. Особое внимание нужно обратить на состояние тепловой защиты генераторов электростанций, так как мощность нагрузки с нелинейной ВАХ сопоставима с суммарной мощностью всех электростанций. В настоящий момент для обеспечения КЭ и электромагнитной обстановки в ГУП «ТАЛКО» не предусмотрено никаких мероприятий.

Способы компенсации ВГ (КВГ), согласно [6], можно разделить на несколько групп схемных решений:

- выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин;
- подключение нагрузки к системе большей мощности короткого замыкания;
- применение фильтров для КВГ;
- использование специального оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации ВГ.

В условиях ГУП «ТАЛКО» при увеличении пульсности преобразования целесообразно применение фильтров. Преобразования электрической энергии оцениваются коэффициентами пульсации q_1 и преобразования c :

$$q_1 = \frac{u_{d1m}}{U_{d0}} = \frac{2}{m^2 - 1}; \quad c = \frac{U_{d0}}{U_m}$$

Здесь u_{d1m} — амплитуда n -й гармоники переменной составляющей; U_{d0} — постоянная составляющая выпрямленного напряжения холостого хода; U_m — амплитуда выпрямленного напряжения холостого хода; m — пульсность преобразователя [7].

Преобразователи ГУП «ТАЛКО» имеют 12-пульсную схему преобразования, поэтому для 12-пульсного преобразователя коэффициенты преобразования и пульсации равны $c = 0,989$, $q_1 = 0,014$. Генерируемые ВГ можно определить с помощью уравнения

$$n = 12k \pm 1.$$

Если увеличить фазности выпрямительного напряжения до 24- или 48-пульсного, то коэффициент преобразования вырастет $c = 0,995$ и $0,999$, а коэффициент пульсации уменьшится на $q_1 = 0,0035$ и $0,00087$, соответственно [7].

По результатам измерения почти во всех точках контроля были зафиксированы колебания напряжения (кратковременная и длительная дозы фликера P_{st} и P_{lt}), причиной возникновения которых стала работа резкопеременных нагрузок (преобразователей, мощных сварочных аппаратов и т.п.). В качестве примера приведем результаты измерений на выводах НН2 ГТ-2, измерения проводились за период 01.07.2015 (14:03) — 02.07.2015 г. (15:00) (табл. 2). Результаты измерения показали, что значения P_{st} и P_{lt} выше допустимого значения в фазах А и С. Колебания напряжения в электрических системах в основном распространяются в направлении к шинам низкого напряжения почти без затухания, а к шинам высокого напряжения с затуханием по амплитуде [8]. Этот процесс зависит от мощности короткого замыкания системы, но при распределении колебаний напряжений в любом направлении их частота сохраняется.

Основными источниками возникновения колебаний напряжения являются ЭП, у которых скорость изменения нагрузки превышает 200 МВА/с [7]. Также были зафиксированы провалы напряжения. За время измерения (01.07.2015 (14:25) — 02.07.2015 (15:18)) были зафиксированы два провала напряжения, максимальные глубина и время составили $\delta U_n = 13,7\%$ и $\Delta t_n = 0,06$ с. Их основными причинами стали попадания молнии в линии электропередачи, ошибки персонала, ложные срабатывания релейной защиты и автоматики, короткие замыкания в энергосистеме, частые коммутации в электрических сетях из-за ограничений потребления электроэнергии и т.п.

Согласно результатам приведенных измерений выявлено, что КЭ в электрических сетях ОАХК «Барки Точик» не соответствуют нормативным требованиям. В настоящее время в составе ОАХК «Барки Точик» нет отделов, занимающихся управлением КЭ.

Таким образом, исследования в области обеспечения КЭ в электрических сетях ОАХК «Барки Точик» являются актуальными.

Таблица 2

Результаты измерения на выводах НН2 ГТ-2 «ТАЛКО»

Место установки прибора	P_{st}			P_{lt}		
	фаза					
ГТ-2 (Ввод НН2)	A	B	C	A	B	C
		5,176	0,840	3,337	2,26	0,40
Нормативное значение	1,38			1,00		

Проведение инструментального контроля КЭ показало нарушение некоторых ПКЭ, несмотря на то, что во время измерений ГУП «ТАЛКО» работал только на 35 % своей полной мощности. Следует отметить, что при росте мощности ГУП «ТАЛКО» уровень помех в электрических сетях РТ тоже увеличивается.

Результаты измерений показали, что целесообразна разработка ряда мероприятий для обеспечения КЭ по регулированию напряжению и компенсаций ВГ.

Литература

1. ОАХК «Барки Точик» [Официальный сайт] <http://www.barkitoyik.tj> (дата обращения 16.04.2017)
2. Султонов Ш.М., Секретарев Ю.А. Современное состояние, проблемы и перспективы развития электроэнергетической системы Таджикистана // Защита родины-матери — долг каждого человека: Материалы науч.-практ. конф. Душанбе, 2015.
3. ГУП «ТАЛКО» [Официальный сайт] <http://www.talco.com.tj> (дата обращения 11.13.2017)
4. Шаров Ю.В. и др. Современное состояние электрических сетей Республики Таджикистан по качеству электрической энергии // Вестник Таджикского технического университета. 2011. № 4 (16). С. 39—48.
5. ГОСТ 32144—2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
6. Карташев И.И. и др. Управление качеством электроэнергии. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
7. Фишлер Я.Л., Урманов Р.Н., Пестряева Л.М. Трансформаторное оборудование для преобразовательных установок. М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Курбаский В.Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях. Братск: БрГТУ, 1999.
9. Тульский В.Н., Джураев Ш.Дж. Анализ качества электроэнергии в электрических сетях ГУП «ТАЛКО» // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
10. Карташев И.И. и др. Анализ качества напряжений в системе электроснабжения предприятия с мощной преобразовательной нагрузкой и разработка мероприятий по компенсации высших гармоник // Метрология электрических измерений в электроэнергетике: Тезисы докл. II науч.-практ. конф. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.

References

1. OAHK «Barki Tochik» [Ofits. Sayt] <http://www.barkitoyik.tj> (Data Obrashcheniya 16.04.2017) (in Russian).
2. Sultonov Sh.M., Sekretarev Yu.A. Sovremennoe Sostoyanie, Problemy i Perspektivy Razvitiya Elektroenergeticheskoy Sistemy Tadjikistana. Zashchita Rodiny-Materi — Dolg Kazhdogo Cheloveka: Materialy Nauch.-prakt. Konf. Dushanbe, 2015. (in Russian).
3. GUP «TALKO» [Ofits. Sayt] <http://www.talco.com.tj> (Data Obrashcheniya 11.13.2017) (in Russian).

4. Sharov Yu.V. i dr. Sovremennoe Sostoyanie Elektricheskikh Setey Respubliki Tadjikistan po Kachestvu Elektricheskoy Energii. Vestnik Tadjikskogo Tekhnicheskogo Un-ta. 2011.;4 (16):39—48. (in Russian).

5. GOST 32144—2013. Elektricheskaya Energiya. Sovmestimost' Tekhnicheskikh Sredstv Elektromagnitnaya. Normy Kachestva Elektricheskoy Energii v Sistemah Elektrosnabzheniya Obshchego Naznacheniya. (in Russian).

6. Kartashev I.I. i dr. Upravlenie Kachestvom Elektroenergii. M.: Izdatel'skiy Dom MPEI, 2008. (in Russian).

7. Fishler Ya.L., Urmanov R.N., Pestryaeva L.M. Transformatornoe Oborudovanie dlya Preobrazovatel'nykh Ustanovok. M.: Energoatomizdat, 1989. (in Russian).

8. Kurbatskiy V.G. Kachestvo Elektroenergii i Elektromagnitnaya Sovmestimost' Tekhnicheskikh Sredstv v Elektricheskikh Setyah. Bratsk: BrGTU, 1999. (in Russian).

9. Tul'skiy V.N., Dzhuraev Sh.Dzh. Analiz Kachestva Elektroenergii v Elektricheskikh Setyah GUP «TALKO». Radioelektronika, Elektrotehnika i Energetika: Materialy XXII Mezhdunar. Nauch.-tekhn. Konf. Studentov i Aspirantov. M.: Izdatel'skiy Dom MPEI, 2016. (in Russian).

10. Kartashev I.I. i dr. Analiz Kachestva Napryazheniy v Sisteme Elektrosnabzheniya Predpriyatiya s Moshchnoy Preobrazovatel'noy Nagruzkoy i Razrabotka Meropriyatiy po Kompensatsii Vysshikh Garmonik. Metrologiya Elektricheskikh Izmereniy v Elektroenergetike: Tezisy Dokl. II Nauch.-prakt. Konf. M.: Izd-vo NTS ENAS, 2002. (in Russian).

Сведения об авторах

Тульский Владимир Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем, директор института электроэнергетики НИУ «МЭИ», e-mail: tulskyVN@mail.ru

Назирова Хуршед Бобоходжаевич — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электроснабжения Таджикского технического университета имени М.С. Осими, e-mail: hurshed84@mail.ru

Джураев Шохин Джураевич — аспирант кафедры электроэнергетических систем НИУ «МЭИ», e-mail: dzhuraevsh@mpei.ru

Иноятгов Бехруз Джемшедович — аспирант кафедры электроэнергетических систем НИУ «МЭИ», e-mail: i_behrutz77@mail.ru

Information about authors

Tulsky Vladimir N. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Power Electrical Systems Dept., Head of Electrical Power Engineering Institute, NRU MPEI, e-mail: tulskyVN@mail.ru

Nazirova Khurshed B. — Ph.D. (Techn.), Senior Lecturer of Power Source Dept., M.S.Osimi Tajik Technical University, e-mail: hurshed84@mail.ru

Dzhuraev Shokhin D. — Ph.D.-student of Power Electrical Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: dzhuraevsh@mpei.ru

Inoyatov Bekhruz D. — Ph.D.-student of Power Electrical Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: i_behrutz77@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.07.2017