УДК 621.165

Необходимость внедрения системы мониторинга качества электрической энергии на компрессорных станциях магистрального газопровода

А.Л. Жеребцов¹, В.Ю. Чуйков², П.А. Шомов²

¹ООО «Газпром трансгаз Сургут», г. Сургут, Российская Федерация

²ООО НТЦ «Промышленная энергетика», г. Иваново, Российская Федерация

E-mail: promenergo@ivpromenergo.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящий момент ни на одном из объектов газовой промышленности не внедрена система мониторинга качества электрической энергии.

Материалы и методы: Использованы результаты измерения показателей качества электрической энергии на компрессорных станциях магистрального газопровода, а также статистические данные повреждаемости и нарушений в системах электроснабжения компрессорных станций.

Результаты: Проведен анализ нарушений электроснабжения в рамках газотранспортного дочернего Общества ООО «Газпром трансгаз Сургут». Произведена вероятностная оценка нарушения показателей качества электрической энергии. Дано обоснование необходимости создания системы мониторинга качества электрической энергии на компрессорных станциях магистрального газопровода.

Выводы: Мониторинг фактических показателей качества электроэнергии обеспечит своевременное выявление и системный анализ происходящих изменений в целях прогнозирования перспективных рисков и выполнения организационных мероприятий, а также технических решений, направленных на предупреждение возможного ущерба.

Ключевые слова: система мониторинга, качество электрической энергии, показатель качества электрической энергии, надежность электроснабжения.

Reasons for implementing an electric energy quality monitoring system at compressor stations of the main gas pipeline

A.L. Zherebtsov¹, V.Y. Chuikov², P.A. Shomov²

¹«Gazprom Transgaz Surgut», Surgut, Russian Federation

²Scientific and Technical Centre «Industrial Power Engineering» Ltd, Ivanovo, Russian Federation

E-mail: promenergo@ivpromenergo.ru

Abstract

Background: At present none of the gas industry enterprises has an electrical energy quality monitoring system.

Methods: The study was based on the results of electric energy quality measurements at compressor stations of the main gas pipeline as well as the statistical data about the damage and disturbances in power supply systems of the compressor stations.

Results: Analysis of power failures in an affiliate of the joint stock company «Gazprom Transgaz Surgut» allowed us to make a probabilistic assessment of electric energy quality violations. It was proved that compressor stations of the main gas pipeline need a special system of electrical energy quality monitoring.

Conclusions: Monitoring of the actual power quality parameters will ensure timely identification and systematic analysis of the changes in order to predict prospective risks, take organizational measures, and find technical solutions to prevent possible damage.

Key words: monitoring system, electric power quality, electric power quality indicator, power supply reliability.

DOI: 10.17588/2072-2672.2015.3.028-033

Газовая промышленность является значительным потребителем топливно-энергетических ресурсов. Дочерние общества ОАО «Газпром» ежегодно расходуют более 15 млрд кВт·ч электроэнергии, что составляет около 2 % от вырабатываемой электроэнергии в России. Основное потребление электроэнергии приходится на газоперекачивающие агрегаты с электроприводом (ЭГПА). Основой парка газоперекачивающих агрегатов с электроприводом являются агрегаты мощностью 12500 кВт.

В соответствии с Энергетической стратегией¹, в газовой промышленности намечена реализация комплекса мер, направленных на модернизацию и реконструкцию системы газоснабжения в целях повышения ее надежности, энергетической и экономической эффективности.

ОАО «Газпром» как мощнейшая энергетическая компания занимает самую активную

¹ Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

позицию в реализации вопросов, связанных с энергосбережением и энергоэффективностью. В целях систематизации работ по энергосбережению разработаны и введены в действие ряд отраслевых документов (регламентов, СТО) и Программ, направленных на повышение энергосбережения и энергоэффективности в газовой отрасли².

Одним из направлений энергосбережения в газовой промышленности является расширение использования газоперекачивающих агрегатов с регулируемым электроприводом.

Масштабное внедрение энергосберегающих технологий невозможно без обновления парка оборудования и использования самых современных и технологичных решений в данном направлении. Широкое применение частотного регулирования привода машин и механизмов, светодиодного осветительного оборудования, устройств плавного пуска, возбуждающих устройств синхронных двигателей, инверторов и т.д. (т.е. оборудования с нелинейной вольт-амперной характеристикой) без компенсационных мероприятий приводит к внесению искажений показателей качества электрической энергии (ПКЭ), как внутриплощадочных электрических сетей, так и в питающей сети. Естественно, что данные процессы приводят к нарушению в работе энергетического оборудования, обеспечивающего технологический процесс, а соответственно, и к нарушениям технологического процесса, а также к выходу оборудования из строя [1]. В системах электроснабжения с низким уровнем качества электроэнергии (КЭ) дополнительные потери электроэнергии могут быть значительными.

Недопустимые отклонения ПКЭ [2–4] могут привести:

- к перегреву обмоток электрооборудования, сокращению срока службы изоляции электрических машин и аппаратов, пробоем изоляции и выходу оборудования из строя;
- выпадению синхронных электродвигателей из синхронизма;
- увеличению скольжения асинхронных электродвигателей, вплоть до их остановки;
- нарушению работы и ложным срабатываниям устройств релейной защиты и автоматики, сбоям в работе электронных систем управления, вычислительной техники и прочего электрооборудования;
- увеличению потерь во всех элементах электрической сети;

– повышенному расходу электроэнергии, снижению производительности технологического оборудования, расстройству технологического процесса и браку продукции;

– неправильной работе счетчиков ЭЭ.

В процессе проведения энергетического обследования были измерены показатели качества электрической энергии на электроприводной компрессорной станции. Измерения ПКЭ проводились с помощью переносных электроанализаторов типа «Энерготестер ПКЭ». В результате проведенных измерений зафиксированы несоответствия качества по установленному отклонению напряжения и коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения (табл. 1, 2).

Для систем электроснабжения объектов ОАО «Газпром» характерна следующая статистика нарушений ПКЭ (на основании проведенного энергетического обследования). На 100 обследуемых объектов вероятность нарушений ПКЭ происходит:

а) в 40–60 % случаев:

- по установившемуся отклонению напряжения;
- по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения;
- по провалу напряжения;

б) в 10–20 % случаев:

- по коэффициенту искажения синусоидальности напряжения;
- по коэффициенту несимметрии напряжения нулевой последовательности;

в) до 5% случаев:

- по коэффициенту несимметрии напряжения обратной последовательности;
- по колебанию напряжения (дозе фликера).

При электроснабжении от электростанции собственных нужд без синхронизации с энергосистемой имеют место нарушения ПКЭ по отклонению частоты.

На компрессорных станциях мониторинг качества электрической энергии осуществляется в достаточно урезанном варианте и построен на основе показаний приборов коммерческого учета электрической энергии. В целом, существующие приборы учета электроэнергии позволяют оценивать ряд параметров качества электроэнергии. Например, параметры питающего напряжения на предмет перерывов в подаче электроэнергии и просадке питающего напряжения, частоту питающей сети. Однако существующее программное обеспечение не ориентировано на анализ показателей качества электроэнергии.

В ходе расследования причин аварийного отключения или выхода из строя электрооборудования не всегда удается достоверно установить причины.

² Р Газпром 2-1.11-803-2014 Система мониторинга качества электрической энергии на технологических объектах и оценка его влияния на надежность электротехнического оборудования; Р Газпром 2-6.2-910-2014 Применение регулируемого электропривода на вспомогательном технологическом оборудовании.

Таблица 1. Результаты измерений установившегося отклонения напряжения в режимах наибольших и наименьших нагрузок (в процентах)

Режим наибольших нагрузок					Режим наименьших нагрузок				
Обозначение ПКЭ	Результат измерений	Нормативное значение	T_1	T_2	Обозначение ПКЭ	Результат измерений	Нормативное значение	T_1	T_2
Напряжение по прямой последовательности									
δU_H	7,910	-4,999	100,000		δU_H	7,530	-4,999	100,000	
δU_B	8,510	5,000			δU_B	9,120	5,000		
δU_{HM}	7,910	-9,999		0,000	δU_{HM}	7,530	-9,999		0,000
δU_{HB}	8,600	10,000			δU_{HB}	9,300	10,000		
Напряжение междуфазное AB									
δU_H	8,110	-4,999	100,000		δU_H	7,720	-4,999	100,000	
δU_B	8,720	5,000			δU_B	9,340	5,000		
δU_{HM}	8,110	-9,999		0,000	δU_{HM}	7,720	-9,999		0,000
δU_{HB}	8,810	10,000			δU_{HB}	9,510	10,000		
Напряжение междуфазное BC									
δU_H	7,950	-4,999	100,000		δU_H	7,570	-4,999	100,000	
δU_B	8,530	5,000			δU_B	9,140	5,000		
δU_{HM}	7,950	-9,999		0,000	δU_{HM}	7,570	-9,999		0,000
δU_{HB}	8,620	10,000			δU_{HB}	9,330	10,000		
Напряжение междуфазное CA									
δU_H	7,670	-4,999	100,000		δU_H	7,290	-4,999	100,000	
δU_B	8,270	5,000			δU_B	8,890	5,000		
δU_{HM}	7,670	-9,999		0,000	δU_{HM}	7,290	-9,999		0,000
δU_{HB}	8,360	10,000			δU_{HB}	9,070	10,000		
Погрешность измерений									
Обозначение			Фактическое значение				Предел допускаемого значения		
$\Delta_{\delta U}$			$\pm 0,2\%$ (абс.)				$\pm 0,5\%$ (абс.)		

Таблица 2. Результаты измерений коэффициента n -й гармонической составляющей напряжения (в процентах)

n	Результат измерений												Нормативное значение	
	Фаза АВ				Фаза ВС				Фаза СА					
	$K_{U(n) \text{ в}}$	$K_{U(n) \text{ нб}}$	T_1	T_2	$K_{U(n) \text{ в}}$	$K_{U(n) \text{ нб}}$	T_1	T_2	$K_{U(n) \text{ в}}$	$K_{U(n) \text{ нб}}$	T_1	T_2	$K_{U(n) \text{ норм}}$	$K_{U(n) \text{ пред}}$
2	0,030	0,140	0,000	0,000	0,040	0,150	0,000	0,000	0,030	0,140	0,000	0,000	1,500	2,250
3	0,130	0,600	0,000	0,000	0,220	0,620	0,000	0,000	0,160	0,600	0,000	0,000	1,500	2,250
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
21	0,040	0,310	0,264	0,010	0,030	0,360	0,205	0,007	0,030	0,380	0,281	0,014	0,200	0,300
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
27	0,040	0,320	0,723	0,010	0,030	0,310	0,549	0,003	0,040	0,320	0,778	0,014	0,200	0,300
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	0,030	0,340	0,167	0,003	0,020	0,250	0,073	0,000	0,020	0,350	0,083	0,003	0,200	0,300
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
33	0,050	0,460	2,856	0,215	0,040	0,420	1,838	0,181	0,050	0,410	2,682	0,205	0,200	0,300
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
36	0,020	0,330	0,174	0,017	0,030	0,340	0,389	0,014	0,030	0,360	0,386	0,007	0,200	0,300
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
39	0,060	0,550	5,913	1,282	0,060	0,540	5,114	1,105	0,060	0,550	6,233	1,404	0,200	0,300
40	0,020	0,280	0,021	0,000	0,020	0,290	0,049	0,000	0,030	0,260	0,038	0,000	0,200	0,300
Погрешность измерений														
Обозначение					Фактическое значение					Нормативное значение				
$\Delta_{K_{U(n)}}$					при $K_{U(n)} < 1,0 \pm 0,05 \%$ (абс.); при $K_{U(n)} \geq 1,0 \pm 5 \%$ (отн.)					при $K_{U(n)} < 1,0 \pm 0,05 \%$ (абс.); при $K_{U(n)} \geq 1,0 \pm 5 \%$ (отн.)				

Аппаратно-программные комплексы мониторинга работы газоперекачивающих аппаратов фиксируют ряд параметров питающей сети и нагрузки оборудования, что, возможно, позволит использовать полученную с них информацию в качестве дополнительных данных для анализа качества электроэнергии.

Так, с помощью специализированного программного обеспечения цифровых возбудителей зафиксированы факты снижения напряжения ниже допустимого уровня с последующим срабатыванием защиты от минимального напряжения. Характер протекания процесса во времени отражен на рис. 1–3.

Рис. 1. Изменение напряжения статора

Рис. 2. Процесс форсировки возбуждения

При этом необходимо отметить, что аварийная остановка ГПА при посадке напряжения зависит от величины понижения напряжения, типа возбудительного устройства, длительности протекания процесса. Кроме того, имеют место случаи отключения от защиты по понижению частоты. Вследствие отклонений показателей качества электрической энергии, в том числе понижения либо повышения величины напряжения, происходит выход из строя электродвигателей из-за перегрева обмоток и последующего теплового пробоя изоляции,

пробой изоляции кабельной продукции, нарушения в работе систем резервирования.

Рис. 3. Изменение напряжения возбудителя

На основании данных, зафиксированных системой АСКУЭ и цифровыми возбудителями, а также информации энергослужбы и материалов расследований проведен анализ нарушений электроснабжения.

Проведенный анализ (период 2011–2014 гг.) нарушений электроснабжения в рамках газотранспортного дочернего Общества ООО «Газпром трансгаз Сургут» показал следующие результаты:

а) 42,5 % – нарушение внешнего электроснабжения, из них:

- 17,0 % – отключение внешнего электроснабжения;
- 8,5 % – снижение напряжения ниже допустимого уровня;
- 17,0 % – нарушение в работе устройств смежной сетевой организации;

б) 36,2 % – нарушение работоспособности вспомогательного оборудования ЭГПА-12500 (электродвигатель маслоснасоса уплотнения, инверторы, источники бесперебойного питания, коммутационная аппаратура, возбудители);

в) 12,8 % – нарушение в работе электрооборудования компрессорного цеха (трансформаторная подстанция, агрегатные щиты управления и т. п.);

г) 2,1 % – повреждение внутриплощадочных кабельных линий 10 кВ;

д) 6,4 % – повреждение внутрицеховых кабельных линий 0,4 кВ.

При этом необходимо отметить, что нарушения в работе электрооборудования и сетей не связаны с фактором полного физического износа.

Общее время простоя газоперекачивающих агрегатов из-за нарушения электроснабжения составило более 19 ч, что соответствует более 34 млн кубических метров непереработанного газа.

Современные компрессорные станции характеризуются высокой степенью энергонасыщенности и энерговооруженности, применением современных схемозлементных решений оборудования, а также ориентированием на энергоэффективность и энергосбережение в целях обеспечения безусловной надежности в работе устройств энергоснабжения внутриплощадочных объектов. Все это обязывает предприятия более углубленно заниматься вопросами влияния эксплуатации внутреннего электрооборудования на качество электрической энергии, а также вопросами влияния показателей качества электрической энергии от внешних поставщиков на устойчивость работы, объем и степень повреждаемости указанного оборудования.

Статистика и характер вносимых элементной базой применяемого оборудования искажений, а также характер нарушений в работе электрооборудования наглядно показывают существующую проблему. В связи с этим необходима разработка методологии рационального определения точек мониторинга и непрерывности фиксации и автоматизации обработки поступающих данных ПКЭ в целях прогнозирования перспективных рисков и выполнения компенсирующих организационных мероприятий, а также технических решений, направленных на предупреждение возможного ущерба.

Начиная с 2000 г. в Российской Федерации проводятся изменения, касающиеся контроля качества электрической энергии. Нормы качества электрической энергии, методы и процедуры измерений до 2014 года устанавливал ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». С 1 июля 2014 г. вместо стандартов ГОСТ 13109-97 и ГОСТ Р 54149-2010 введен межгосударственный стандарт ГОСТ 32144-2013 с аналогичным названием.

Вновь введенный ГОСТ 32144-2013 в значительной степени ужесточает требования к Потребителю в части требований к электроприемникам, при этом снижает требования к параметрам качества электрической энергии сетевых организаций [5].

Нормальное функционирование электроприемников может быть нарушено не только вследствие отказов элементов системы электроснабжения, но и по причине резкого ухудшения качества электроэнергии. Подобная ситуация обязывает Потребителя обеспечивать жесткий мониторинг фактических показателей качества предоставляемых услуг сетевыми организациями в целях обеспечения требуемой надежности работы электрооборудования, обеспечивающего технологический процесс.

Заключение

В настоящее время наличие существующих программно-аппаратных комплексов, как АСКУЭ, так и АСУТП, не позволяет организовать и реализовать мониторинг параметров качества электроэнергии в соответствии с действующим ГОСТ.

Необходима модернизация существующего или создание нового аппаратно-программного комплекса на базе реализованной системы АСКУЭ в плане разработки нового интерфейса и адаптации программного обеспечения с определением мест установки устройств системы мониторинга. Для выработки комплексного решения необходима серьезная исследовательская работа с проведением как практических экспериментов, так и расчетов, по результатам которых можно будет определить ожидаемые количественные показатели эффективности внедрения системы мониторинга показателей качества электроэнергии.

Мониторинг фактических показателей качества электроэнергии на объектах ОАО «Газпром» обеспечит своевременное выявление и системный анализ происходящих изменений в целях предупреждения и преодоления негативных тенденций, влияющих на энергетическую безопасность [4, 6].

Список литературы

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000.
2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Горпинич А. Влияние качества электроэнергии на сокращение срока службы и снижение надежности электрооборудования. // *Электрика*. – 2008. – № 3, 4. – С. 14–21.
3. Исследования взаимосвязи показателей качества электроэнергии и надежности электроснабжения / Ю.В. Шаров, И.И. Карташев, В.Н. Тульский, О.В. Большаков // *Энергоэксперт*. – 2011. – № 6. – С. 78–83.
4. Карташев И.И., Тульский В.Н. Управление качеством электроэнергии. – М.: Изд. дом МЭИ, 2006.
5. Вагин Г.Я., Севостьянов А.А. О необходимости приведения нормативных документов по электромагнитной совместимости и качеству электроэнергии к требованиям международных стандартов // *Промышленная энергетика*. – 2010. – № 11. – С. 45–48.
6. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2000.

References

1. Zhezhelenko, I.V. *Vysshie garmoniki v sistemakh elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy* [Ultraharmonics in industrial power systems]. Moscow, Energoatomizdat, 2000.
2. Zhezhelenko, I.V., Saenko, Yu.L., Gorpinich, A. Vliyaniye kachestva elektroenergii na sokrashcheniye sroka sluzhby i snizheniye nadezhnosti elektrooborudovaniya [The impact of electric power quality on the reduced life and reliability of electrical equipment]. *Elektrika*, 2008, issue 3, 4, pp. 14–21.
3. Sharov, Yu.V., Kartashev, I.I., Tul'skiy, V.N., Bol'shakov, O.V. Issledovaniya vzaimosvyazi pokazateley kachestva elektroenergii i nadezhnosti elektrosnabzheniya [Research into the relationship of electric power quality and power supply reliability]. *Energoekspert*, 2011, issue 6, pp. 78–83.

4. Kartashev, I.I., Tul'skiy, V.N. *Upravlenie kachestvom elektroenergii* [Electric power quality control]. Moscow: Izdatel'skiy dom MEI, 2006.

5. Vagin, G.Ya., Sevost'yanov, A.A. О необходимости приведения нормативных документов по электромагнитной совместимости и качеству электроэнергии к требованиям международных стандартов [On the requirement to align electromagnetic compatibility regulations and electrical power

quality with the international standards]. *Promyshlennaya energetika*, 2010, no. 11, pp. 45-48.

6. Zhezhelenko, I.V., Saenko, Yu.L. *Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol' na promyshlennykh predpriyatiyakh* [Electric power quality and control at industrial plants]. Moscow, Energoatomizdat, 2000.

Жеребцов Андрей Леонидович,
ООО «Газпром трансгаз Сургут»,
главный энергетик, начальник отдела главного энергетика,
телефон (3462) 75-04-46.

Чуйков Вадим Юрьевич,
ООО Научно-технический центр «Промышленная энергетика»,
начальник отдела электротехнических систем,
телефон (4932) 30-14-88.

Шомов Петр Аркадьевич,
ООО Научно-технический центр «Промышленная энергетика»,
кандидат технических наук, директор,
e-mail: promenergo@ivpromenergo.ru