

*Д.В. БОРОДИН*, старш. преподаватель, ХНАГХ, Харьков

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

В роботі розглянута якість електричної енергії (ЯЕ) в мережах промислових підприємств України. Дано порівняння двох вимірювачів якості електроенергії. Проаналізовано досвід експлуатації автоматизованої системи контролю ЯЕ промислового підприємства. Надано рекомендації щодо використання розглянутих приладів в складі автоматизованих систем контролю ЯЕ.

В работе рассмотрено качество электрической энергии (КЭ) в сетях промышленных предприятий Украины. Дано сравнение двух измерителей качества электроэнергии. Проанализирован опыт эксплуатации автоматизированной системы контроля КЭ промышленного предприятия. Предоставлены рекомендации относительно использования рассмотренных приборов в составе автоматизированных систем контроля КЭ.

The paper deals with quality of electrical energy in the industrial plant power networks in Ukraine. Two measuring devices have been described and compared. The experience of the exploitation of automated PQ control system has been viewed. The recommendations on use of examined devices in automated systems of power quality control have been given.

**Постановка проблемы.** Низкое качество электрической энергии (КЭЭ) в сетях промышленных предприятий приводит к значительному экономическому ущербу, что обуславливает необходимость принятия мер для улучшения КЭЭ, а для этого, в свою очередь, необходимо контролировать показатели КЭЭ. В статье проанализированы особенности контроля КЭЭ на промышленных предприятиях, рассмотрены современные средства измерительной техники и автоматизированные системы контроля КЭЭ, а также приведен опыт внедрения таких систем в Украине.

**КЭЭ в сетях промышленных предприятий Украины. Анализ последних исследований и публикаций.** Публикации [2-4] и измерения КЭЭ на промышленных предприятиях, проведенные с участием автора, свидетельствуют о многочисленных нарушениях КЭЭ, на многих предприятиях во время измерения оно не соответствовало [1]. Были зафиксированы нарушения синусоидальности, симметрии напряжений, провалы и перенапряжения. Часто фиксируемое на секциях шин заводских питающих подстанций повышенное напряжение к нарушениям не относится. При этом нарушения КЭЭ можно четко разделить на 2 большие категории по источнику возникновения. Несимметрия и высшие гармоники напряжения обусловлены несимметричной нагрузкой самих предприятий (в нескольких случаях – соседними предприятиями, например, железной дорогой). Провалы напряжения и перенапряжения – событиями в электросети энергоснабжающей организации, как правило – облэнерго, так же

как и отключения питания. Особняком стоят крупные металлургические предприятия, где колебания напряжения вызываются повторно-кратковременным режимом работы мощного заводского оборудования.

Особенности отечественных сетей промышленных предприятий – почти полное отсутствие средств измерения КЭЭ. На наиболее современных производствах на электрических подстанциях используются комплекты ячеек с микропроцессорным контроллером, который хотя и даёт некоторую информацию о параметрах сети, но показатели КЭЭ (в частности, провалы) не регистрирует.

### **1. Ущерб от низкого КЭЭ**

Наибольший ущерб, связанный с низким КЭЭ, для промпредприятий однозначно связан с провалами напряжения. Особенно этот ущерб велик на наиболее современных производствах, оснащённых компьютерными системами управления. Например, на полиграфических предприятиях 1 останов из-за провала, вызвавшего собой системы управления, может приводить к выходу из строя печатных матриц, задержке производства на срок от 3 часов до 3 суток и порче большого объёма сырья и материалов, что в итоге даёт финансовый ущерб в 10-20 тыс. грн. Оценки в публикациях для США и Западной Европы дают ещё большие цифры.

Кроме прямого ущерба от низкого КЭЭ, существует и косвенный: в условиях низкого КЭЭ счётчики электроэнергии работают с высокой погрешностью, что особенно сильно сказывается в сетях 6-10 кВ, т.к. расчётные счётчики подключены повсеместно по 2-элементной схеме, предполагающей абсолютную симметрию нагрузки.

**Цель, задачи исследования.** Целью исследования является выявления особенностей контроля качества электроэнергии на промышленных предприятиях, обзор современного измерительного оборудования, анализ опыта эксплуатации автоматизированных систем такого назначения в Украине и разработка рекомендаций по использованию измерителей ПКЭ в составе автоматизированных систем.

**Особенности контроля КЭЭ на промышленных предприятиях.** В отличие от электрических системообразующих и питающих сетей для промышленных предприятий основной объект внимания с точки зрения КЭЭ – это провалы напряжения. Для данного рода нарушений характерна непредсказуемость, обусловленная случайным характером аварий и ремонтов в питающих сетях. Поэтому измерения провалов необходимо вести непрерывно в течение длительного времени (от 2 недель и более в зависимости от предприятия) обязательно параллельно с фиксацией аварий и остановов на предприятии.

У многих энергетиков (даже главных) возникает вопрос: зачем эти измерения нужны? Дело в том, что оборудования для защиты от провалов напряжения (см. ниже) имеет как правило целый ряд моделей, отличающихся мощностью нагрузки, глубиной провала и длительностью удержа-

ния нагрузки. Для правильного выбора такого оборудования как раз необходима статистика провалов, а цена ошибки составляет десятки тысяч долларов США.

Даже после установки защитного оборудования требуется контролировать эффективность его работы и здесь преимущество приборных методов перед методом опроса руководства подразделений очевидна. Поэтому для промышленных предприятий требуется система контроля провалов напряжения, для которой функция контроля других показателей КЭЭ являются второстепенными, имеющая минимальную стоимость и не требующая высокой квалификации пользователей и обслуживающего персонала.

**Некоторые образцы средств измерения КЭЭ.** В Украине серийно средства измерения КЭЭ не выпускаются. Серийные приборы, полностью совместимые с [1], выпускаются в России многими предприятиями. Поскольку для контроля провалов напряжения полной совместимости с ГОСТ 13109-97 не требуется, для этой цели подходят многие западные приборы. Остановимся подробнее на наиболее «бюджетных» образцах такой техники – российском приборе «Ресурс-ПКЭ» (НПП «Энерготехника») и американском PQube (Power Standards Lab, PSL), рис. 1. Следует отметить, что распространённые в магистральных сетях приборы PM130 Plus (SATEC Ltd) хотя и измеряют некоторые ПКЭ, не предназначены для регистрации провалов.



Рис. 1 – Внешний вид приборов: а – «Ресурс-ПКЭ», б – PQube

Наиболее интересные с практической точки зрения особенности приборов – способ извлечения информации и подготовки отчётов. «Ресурс-ПКЭ» реализует общепринятый подход: измерение внутри прибора, передача через последовательный интерфейс, обработка и генерация отчётов на внешнем ПК или сервере АИИС КУЭ. Такой подход приемлем для крупных предприятий, но не очень удобен для мелких. PQube имеет на борту WEB-сервер и построитель отчётов и не нуждается в специальном ПО на внешнем ПК, что очень удобно для небольших предприятий.

Для крупных предприятий система сбора данных может базироваться на почтовых протоколах и формате XML.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики приборов

Характеристика	«Ресурс-ПКЭ»	PQube
Погрешность измерения напряжения	отн. $\pm 0.2\%$ (0,8-1,2 Уном)	$\pm 0.05\%$ rdg $\pm 0.05\%$ FS typical (10% ~ 150% of nominal).
Частота дискретизации, измерений на период основной частоты	256	256
Интерфейс пользователя	3-строчный текстовый дисплей, клавиатура	цветной графический дисплей (с поддержкой русского языка), джойстик
Цифровой интерфейс	RS-485, RS-232	Ethernet 10BaseT, съёмная флэш-память SD
Время работы от встроенного аккумулятора	-	до 10 мин
Кроме провалов, измеряет	количество показателей по 1 или 2 фидерам зависит от версии (все ПКЭ по ГОСТ 13109-97 для версии ПКЭ x.5)	ГНД, высшие гармоники, фликер, небаланс напряжений, расчёт интегральной вероятности измеренных параметров, параметры тока при наличии модуля тока
ПО мониторинга КЭЭ	ПО «Монитор» (бесплатное)	бортовой WEB-сервер и почтовый клиент (POP/SMTP)
Средства построения отчётов	ПО «UF2Plus» (бесплатное), АИИС КУЭ «Ресурс»	Встроены в бортовую ОС Linux
Формат отчётов	Excel	CSV, TXT, GIF, HTML, XML, PQDIF
Цена со склада производителя, USD	1188-1686 в зависимости от версии	от 2002 (Модули: основной, питания, Ethernet и флэш-памяти)

Ниже рассмотрены особенности использования этих приборов в составе автоматизированных систем непрерывного контроля КЭЭ.

**Автоматизированные системы (АС) контроля КЭЭ для промышленных предприятий.** Рассмотрим протоколы обмена, на которых строится опрос приборов в автоматизированной системе.

PQube поддерживает POP/SMTP протокол, пригодный для сбора данных и удалённого параметрирования прибора с помощью команд, записываемых в поле «Тема». При этом наиболее удобен для использования в АС формат данных SCV или XML. При этом потребуется использовать

специальную программу – сборщик электронной почты, которая будет извлекать данные приборов из почтовых ящиков и передавать их в базу данных системы. Определённым недостатком такой архитектуры в наших условиях является необходимость подведения Ethernet-кабелей (витая пара) к местам установки всех приборов, включение приборов в заводскую сеть TCP/IP (интранет) и обеспечение обмена с почтовым сервером, а для ответственных пользователей – доступа к приборам через WEB-интерфейс. С другой стороны, нет технических ограничений для удалённых пользователей, т.к. весь обмен базируется на стеке TCP/IP.

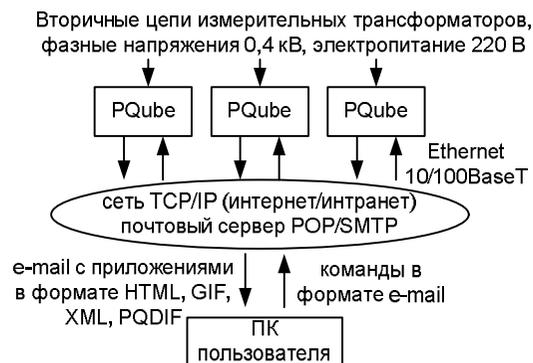


Рис. 2 – Простейшая схема обмена данными в АС на базе PQube

Внедрение подобной системы в типографии «Новый Мир» (г. Донецк) позволило решить задачи как локального (внутри предприятия) контроля ПКЭ, так и дистанционного управления и анализа данных в г. Харьков. Дистанционно было проведено обновление прошивки PQube и модификация файла настроек. Работа системы позволила достичь главной цели - получить статистику провалов и выбрать оборудование для защиты наиболее уязвимого оборудования.

Таблица 2 – Статистика провалов напряжения, полученная с помощью PQube. Цветом выделены наиболее глубокие провалы

Дата	Время (GMT)	Тип	Глубина	Длительность, с
11.05.2010	23:30:50.820	ПН*	0.11%	84.731
11.05.2010	23:30:50.872	ОН**	N/A	84.642
12.05.2010	11:19:21.780	ПН	15.84%	1.057

Продолжение таблицы 2

17.05.2010	18:49:20.626	ПН	41.44%	0.672
17.05.2010	18:49:35.869	ПН	36.20%	0.659
21.05.2010	14:14:58.547	ПН	0.22%	9.259
21.05.2010	14:14:58.791	ОН	N/A	8.976
21.05.2010	20:51:17.769	ПН	41.70%	0.38
21.05.2010	23:03:17.549	ПН	52.04%	0.675
27.05.2010	16:51:04.856	ПН	0.10%	13.307
27.05.2010	16:51:05.053	ОН	N/A	12.972
28.05.2010	14:16:33.424	ПН	70.56%	0.18
28.05.2010	14:27:53.471	ПН	71.10%	0.169
29.05.2010	18:57:41.807	ПН	33.86%	0.646
01.06.2010	11:35:04.902	ПН	55.54%	0.929
04.06.2010	09:29:11.949	ПН	28.98%	0.383
04.06.2010	09:32:50.775	ПН	19.91%	0.068
10.06.2010	01:49:57.750	ПН	N/A	197620
10.06.2010	01:49:58.278	ОН	N/A	197619
12.06.2010	09:05:18.537	ПН	N/A	7037
12.06.2010	09:05:18.574	ОН	N/A	7037
15.06.2010	13:42:18.212	ПН	89.18%	0.05
15.06.2010	23:42:35.402	ПН	42.99%	0.4
16.06.2010	07:43:40.883	ПН	19.25%	0.369
17.06.2010	07:59:05.603	ПН	N/A	276
17.06.2010	07:59:05.950	ОН	N/A	276
20.06.2010	00:06:37.561	ПН	87.48%	0.172
22.06.2010	03:02:14.159	ПН	32.12%	0.642
23.06.2010	09:05:06.194	ПН	35.95%	0.322
29.06.2010	16:08:08.647	ПН	0.43%	9.338
29.06.2010	16:08:08.884	ОН	N/A	9.011
30.06.2010	05:53:15.492	ПН	71.00%	0.844
02.07.2010	10:51:17.184	ПН	88.61%	0.11
03.07.2010	14:04:23.242	ПН	0.48%	9.426
03.07.2010	14:04:23.499	ОН	N/A	8.973
06.07.2010	13:48:38.620	ПН	26.02%	0.959
11.07.2010	14:44:40.557	ПН	67.64%	0.121
12.07.2010	08:37:11.089	ПН	45.65%	1.115
14.07.2010	02:58:35.440	ПН	85.61%	0.012
14.07.2010	02:58:36.552	ПН	89.24%	0.01

Продолжение таблицы 2

14.07.2010	02:58:37.832	ПН	82.75%	0.02
14.07.2010	02:58:38.840	ПН	83.43%	0.012
14.07.2010	02:58:38.902	ПН	79.90%	0.029
14.07.2010	02:58:38.952	ПН	70.78%	0.04
14.07.2010	02:58:39.002	ПН	38.03%	0.058
14.07.2010	02:58:39.082	ПН	32.13%	0.098
16.07.2010	13:43:34.419	ПН	N/A	3839
16.07.2010	13:43:34.475	ОН	N/A	3839
18.07.2010	12:46:49.168	ПН	66.70%	0.9
20.07.2010	10:00:27.300	ПН	90.03%	0.032
21.07.2010	09:30:20.056	ПН	N/A	640
21.07.2010	09:30:20.091	ОН	N/A	640
23.07.2010	14:55:29.269	ПН	61.82%	0.36
23.07.2010	14:57:35.493	ПН	66.77%	0.24
23.07.2010	14:57:36.493	ПН	64.71%	0.129
24.07.2010	11:40:19.283	ПН	18.38%	0.547
29.07.2010	15:15:22.622	ПН	89.66%	0.18
03.08.2010	13:13:06.398	ПН	84.12%	0.112
03.08.2010	13:19:06.376	ПН	83.06%	0.122
03.08.2010	13:21:56.465	ПН	82.73%	0.131
03.08.2010	13:22:03.766	ПН	82.51%	0.133
03.08.2010	19:54:59.519	ПН	85.30%	0.101
05.08.2010	15:27:02.107	ПН	15.04%	0.082
09.08.2010	15:36:40.963	ПН	82.83%	0.64

\*ПН – провал напряжения; \*\*ОН – отключение напряжения

Статистика показывает, что за 3 месяца было зафиксировано всего 62 провала напряжения, из них 29 провалов глубиной более 20%, средней длительностью 0,45 с, максимальной 1,115 с, в т.ч. 19 провалов глубиной более 40%. Видно, что многие зафиксированные провалы находятся вне зон нормальной работы оборудования диаграмм СВЕМА, ИТЭС, ANSI [5, 10], что подтверждается статистикой сбоев. Для повышения устойчивости технологических линий к провалам напряжения требуется специальное оборудование.

Удобство работы (особенно дистанционной) с прибором RQube оценено как высокое.

Для сравнения в табл.3-4 приведены результаты измерения провалов напряжения прибором «Ресурс» в ПАО «Укрэнергопроект» 13-14.09.2010.

Таблица 3 – Итоги измерения провалов напряжения

Напряжение	Ua	Uв	Uс
Кол-во	10	0	0
Суммарная продолжительность, с	1.79	0.00	0.00
Максимальная глубина, %	97.80	0.00	0.00

Таблица 4 – Провалы фазы Ua

№№	Дата	Провалы		
		Время	δUпр, %	Δtпр, с
1	14.09.2010	10:48:20	53.100	0.050
2		10:48:21	96.900	0.310
3		10:48:21	14.500	0.030
4		10:48:21	67.900	0.020
5		10:48:21	63.400	0.030
6		10:48:22	96.900	0.560
7		10:48:23	64.300	0.030
8		10:48:23	97.800	0.720
9		10:48:24	35.100	0.020
10		10:48:25	40.800	0.020

Ресурс-ПКЭ поддерживает современный телемеханический маршрутизируемый протокол МЭК-870-5-101, обмен ведётся через порт RS485, архитектура системы построена по образцу систем учёта электроэнергии (рис.3), позволяет решать все задачи по измерению, хранению и анализу показателей КЭЭ, но при этом требует высокой квалификации персонала.

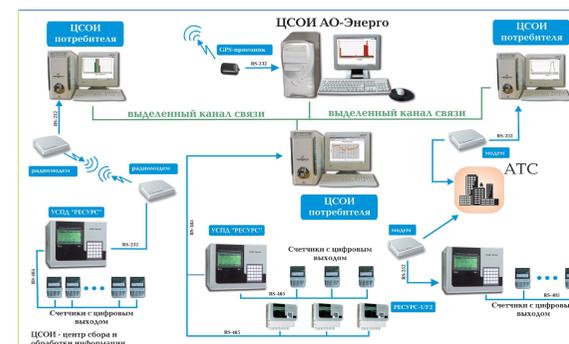


Рис. 3. – Пример структурной схемы АИИС КУЭ „Ресурс” [9]

**Выводы.** Устройство RQube неплохо зарекомендовало себя в наших условиях. Его наиболее целесообразно использовать для построения небольших автоматизированных систем контроля КЭЭ, решающих прежде

всего задачи непрерывного контроля отключений, провалов напряжения и перенапряжений. При этом требования к квалификации персонала сравнительно невысоки.

Устройство «Ресурс-ПКЭ» целесообразно использовать для построения систем, решающих задачи контроля КЭЭ в более полном объёме, при этом целесообразно использовать специализированные клиент-серверные системы сбора, обработки, хранения и анализа показателей КЭЭ, таких как [9]. Возможно применение для этой цели и других измерителей КЭЭ, сертифицированных на соответствие [1].

Для решения задач контроля КЭЭ, определения ответственности за ухудшение КЭЭ [11] и выбора мер по улучшению КЭЭ необходимы устройства, измеряющие параметры как напряжения, так и тока. Целесообразно совмещать функции контроля КЭЭ и учёта электроэнергии. Один из наиболее современных и недорогих устройств такого класса – «Ресурс-Е4», позволяющий также решать задачи телемеханики для систем диспетчерского управления.

**Список литературы:** 1. ГОСТ 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения”. 2. *Гриб О.Г.* Анализ качества электрической энергии в сетях общего пользования 0,4 кВ / *О.Г. Гриб, А.В. Сапрыка, Д.В. Бородин* // Светлотехника та електроенергетика. – 2007. – №1 (9). – С. 53. 3. *Бородин Д.В.* Проблемы качества электроэнергии в центрах питания сетей 110 кВ / *Д.В. Бородин* // Программа и тезисы докл. XXXIV науч.-тех. конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства. Часть 2. Харьков, ХНАГХ, 2008. 4. *Гриб О.Г.* Качество электрической энергии в системах электроснабжения: уч. пособие/ *О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калужный, О.Н. Довгалюк, Д.В. Бородин, И.Р. Левин, Ю.С. Громадский, В.И. Васильченко*; под редакцией *О.Г. Гриба*. – 1-е изд. – Х. : ХНАГХ, 2005. 5. *Д. Чэпмэн.* Провалы напряжения: введение. Перепечатано с сокращениями из издания Европейского института меди «Прикладное руководство по качеству электроэнергии»; пер. с англ. *Е. В. Мельниковой.* Официальный сайт НП И «АВОК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2957&version=print](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2957&version=print) 6. Измерители показателей качества электрической энергии «РЕСУРС-UF2». Руководство по эксплуатации ЭГТХ.422252.009 РЭ. ООО «НПП «Энерготехника», 2005. 7. PQube - AC Power Monitor. – Официальный сайт компании PSL [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.powerstandards.com>. 8. PQube®Installation & User’s Manual. Firmware Rev 1.3 Power Standards Lab, 2010. 9. Система непрерывного мониторинга качества электрической энергии "Ресурс". © 2009-2010. – Официальный сайт НП И «Энерготехника» [Электронный ресурс]. – Режим доступа [http://www.entp.ru/services/accounting\\_system/1](http://www.entp.ru/services/accounting_system/1). 10. ITI (CBEMA) CURVE APPLICATION NOTE – Официальный сайт Information Technology Industry Council [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.itic.org/clientuploads/Oct2000Curve.pdf>. 11. *Гриб О.Г.* Практический опыт определения степени влияния мощных промышленных электроприёмников на качество электроэнергии в питающих сетях / *О.Г. Гриб, Д.В. Бородин* // Программа и тезисы докл. XXXV науч.-тех. конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства. Часть 2. – Х. : ХНАГХ, 2010. – С.85

*Поступило в редколлегию 18.12.2010*