

alternative to traditional ways of heating", Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104456K (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2281225; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2281225>.

4. А.М.Заславский, В.В.Ткачѳв, А.В.Бубликов, О.В.Карпенко. Оптимальное распределение энергии в интеллектуальной сети прямого электрического отопления. Электротехнические и компьютерные системы. Одесский национальный политехнический университет, 2017, № 25 (101), С. 358–366.

5. О.М.Заславський, С.М.Проценко, О.В.Карпенко, М.В.Козарь. Автоматичне вимірювання потужності обладнання, підключеного до інтелектуальної мережі прямого електричного опалення. Одеський національний політехнічний університет, 2017, № 25 (101), С. 381–387.

УДК 621.311.019

В.В. Кузнецов, канд.техн. наук, Е.В. Кузнецова

(Украина, Днепр, Национальная металлургическая академия Украины)

А.В. Кузнецова, Д.В. Галушко

(Украина, Днепр, Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Аннотация. Статья посвящена анализу отрицательного влияния некачественной электроэнергии на эксплуатационные показатели электроустановок. Особое внимание уделено причинам ухудшения качества электрической энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий, поскольку это приводит к снижению надежности и эффективности работы электропотребителей. Так же установлен различный характер режимов потребления и генерации реактивной мощности в линиях 27,5, 10 и 0,4 кВ. Выявлен разброс статистических характеристик показателей качества электроэнергии и значительные искажения кривых тока, что позволит более точно формировать методологию мероприятий по улучшению качества электрической энергии в сетях нетяговых потребителей.

Ключевые слова: качество электрической энергии, линии питания нетяговых потребителей, реактивная мощность, искажение тока, статистические характеристики.

Анотація. Стаття присвячена аналізу впливу неякісної електричної енергії на експлуатаційні показники електроустановок. Особливу увагу приділено причинам зниження якості електричної енергії в системах електропостачання промислових підприємств, оскільки це призведе до зниження надійності та ефективності роботи електроспоживачів. Встановлено характер режимів споживання та генерації реактивної потужності у лініях 27,5, 10 та 0,4 кВ. Виявлено широкий розкид статистичних характеристик показників якості електроенергії та значні спотворення кривих струму, що дозволить більш точно формувати методологію заходів з поліпшення якості електричної енергії у мережах нетягових споживачів.

Ключові слова: якість електричної енергії, лінії живлення нетягових споживачів, реактивна потужність, спотворення струму, статистичні характеристики.

Abstract. The article is devoted to the analysis of the negative impact of poor-quality electricity on the performance of electrical installations. Particular attention is paid to the reasons for the deterioration of the quality of electrical energy in the power supply systems of industrial enterprises, since this leads to a decrease in the reliability and efficiency of electrical consumers. It was found the different character modes of consumption and generation of reactive power in the lines 27.5, 10 and 0.4 kV. The wide variation in the statistical characteristics of power quality indicators and significant distortion curves current form will allow more accurate methodology measures to improve the quality of electricity networks of non-traction consumers.

Keywords: power quality, power lines of non-traction consumers, reactive power, current distortion, statistical characteristics.

Введение

Как известно [1], любая электромагнитная среда формируется как результат определенного технологического процесса. В электроэнергетическом процессе системы электроснабжения - это распределение, передача и потребление электрической энергии. Каждому этапу данного процесса свойственны определенные изменения, вызванные отклонениями от заданного режима, принципом действия электрооборудования и т.д. Показатели качества электрической энергии (ПКЭ) являются теми уровнями электромагнитной совместимости электрической сети, при которых гарантируется нормальное функционирование любых электротехнических средств, подключенных к сети, если эти ПКЭ не превышают допустимых значений.

Качество электроэнергии в общем понятии электромагнитной совместимости потребителей в системах электроснабжения является важнейшей проблемой современной электроэнергетики. От ее решения во многом зависит повышение эффективности использования электрической энергии. Разработка основных направлений повышения энергоэффективности системы электроснабжения связана с определением причин вызвавших снижение качества электрической энергии. Качество электроэнергии является существенным фактором, влияющим на эффективность режимов энергосистемы и потребителей.

Проблема обеспечения качества электрической энергии в электрических сетях является актуальной. Это вызвано тем, что в последнее время широко внедряются новые прогрессивные технологические процессы и системы и, как следствие, непрерывный ростом числа нелинейных и несимметричных потребителей электроэнергии [2].

Цель работы.

Выявление основных причин, влияющих на отклонения показателей качества электроэнергии от нормируемых значений.

Основные причины отклонения показателей качества электроэнергии от нормируемых.

При выборе мер по улучшению эффективности работы электрооборудования в условиях некачественной электроэнергии прежде всего необходимо выяснить причины сложившейся ситуации, определить фактические значения нормируемых показателей качества и сопоставить последние с допустимыми. При этом следует отметить, что несмотря на большую важность рассматриваемого вопроса в настоящее время отсутствуют сведения о комплексной оценке состояния качества электроэнергии в сетях промышленных предприятий Украины.

К исключению следует отнести разве что исследования качества электроэнергии в цеховых сетях Алчевского металлургического комбината [3]. Как на указанном, так и на других аналогичных предприятиях страны основными потребителями являются электроприводы прокатных станов черновых и заготовочных клетей. Мощность таких приводов может достигать 13 МВатт, как, например, электропривод блюминга ОАО «Арселор-Миталл» (г. Кривой Рог). Хотя модернизация, связанная с заменой системы «генератор-двигатель» (Г-Д) на «тиристорный преобразователь – двигатель» (ТП-Д), привела к улучшению регулировочных свойств последнего, системы ТП-Д обусловили существенное ухудшение качества электроэнергии на предприятиях.

В работе [3] показано, что использование систем ТП-Д на главных приводах прокатных станов приводит к существенному искажению цехового напряжения. В сети присутствуют высшие гармоники вплоть до 23-38 порядка, причем как четные, так и нечетные. Коэффициенты отдельных гармонических составляющих превышают допустимые значения в 5-7 раз.

Несмотря на то, что вопрос влияния систем ТП-Д на качество электроэнергии достаточно детально исследуется с момента массового применения таких приводов, т.е. с 70-х годов прошлого столетия [4,5,6], указанная проблема и по сей день актуальна, хотя и стала лишь одной из причин низкого качества электроэнергии в цехах промышленных предприятий Украины. К сожалению, в работе [3] к тому же рассматриваются только системы ТП-Д, а известные на сегодняшний день «классические» публикации, например [5,6], существенно устарели, так как появились новые технологические установки, изменилась структура энергопотребления предприятий. Таким образом, необходимо более глубокое изучение причин типовых искажений электроэнергии, их качественных и количественных характеристик. Лишь на таком основании должна строиться методика выбора рациональных мер по улучшению качества электроэнергии.

Выполненные дополнительные исследования [7-12] дают, на наш взгляд, возможность сформулировать основные причины рассматриваемых искажений.

Так, одной из часто встречающихся причин несинусоидальности, особенно в сетях малой мощности, является насыщение сердечников силовых трансформаторов цеховых подстанций. Этот случай характерен для небольших предприятий, а также технологических объектов сельского хозяйства. Насыщение магнитопровода указанных трансформаторов может быть обусловлено работой нагревательных элементов, сварочного оборудования и других мощных потребителей. Типовая кривая питающего напряжения при этом имеет «усеченный» вид, а в его спектральном составе ярко выделяется третья гармоника (рис. 1 а, б).

Как известно, последняя вредна для АД и трансформаторов, первичные обмотки которых соединены в треугольник. Это связано с тем, что они образуют нулевую последовательность, сопротивление электрических обмоток на которой невелико (определяется индуктивностями рассеивания), а указанное соединение обеспечивает контур для протекания токов третьей гармоники. В результате увеличиваются потери, повышается температура обмоток и падает нагрузочная способность указанного электрооборудования.

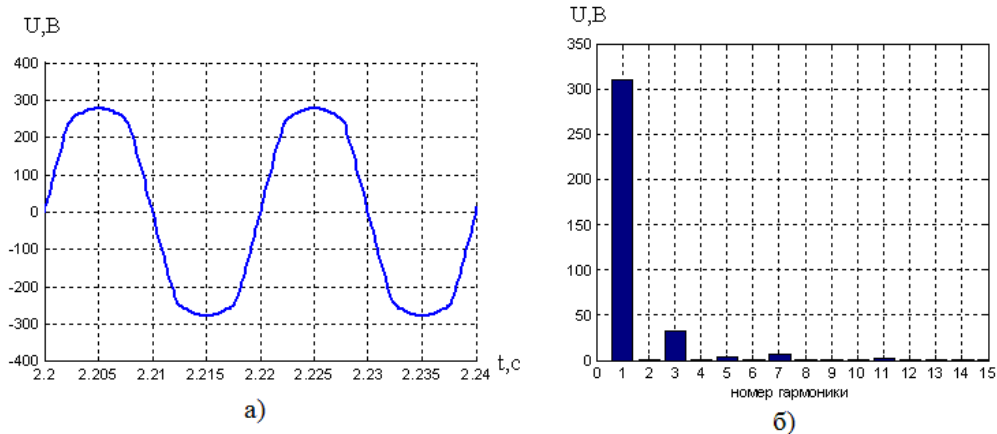


Рис. 1 Типовая форма кривой напряжения в случае насыщения сердечников силовых трансформаторов (а) и его спектральный состав (б)

Следующей распространенной причиной искажения синусоидальности является наличие в сети мощных полупроводниковых преобразователей [9,10]. В моменты коммутации таких устройств потребляемые ими токи имеют пиковые значения, в результате на входах остальных потребителей наблюдаются «провалы» напряжения (рис. 2 а).

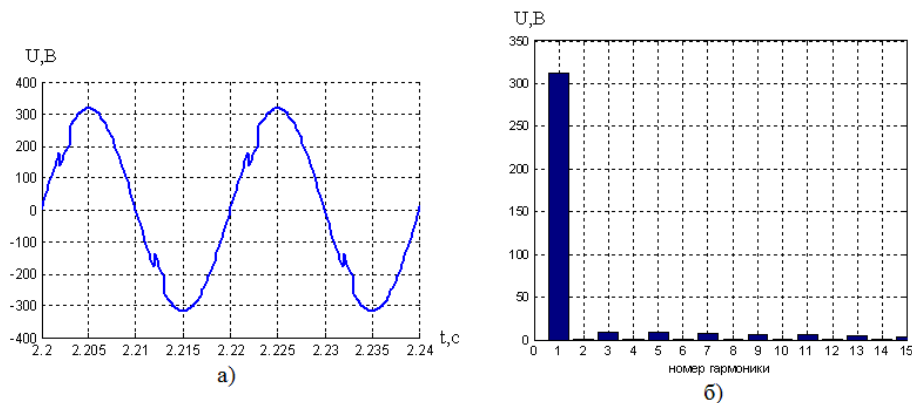


Рис. 2 Форма кривой напряжения при наличии коммутационных помех (а) и его спектральный состав (б)

Приведенная форма кривой характерна для цеховых сетей крупных промышленных предприятий, таких как металлургические, нефтеперерабатывающие и горно-обогатительные комбинаты, где установлены мощные регулируемые электроприводы с выпрямителями или преобразователями частоты. Опыт свидетельствует, что, несмотря на принимаемые меры по повышению электромагнитной совместимости, показатели качества питающего напряжения в таких случаях все же превышают предельные уровни допустимых значений.

Как видно, в спектральном составе напряжения, искаженного полупроводниковыми преобразователями, имеются практически все гармоники высшего порядка рис. 2 (б). Хотя они и слабо влияют на пульсации момента асинхронного двигателя [3, 9, 10], однако приводят к дополнительным потерям в стали указанных двигателей и трансформаторов, обуславливают их повышенный нагрев, что снижает энергоэффективность и надежность электрооборудования. При наличии в цеховой сети мощных потребителей, питаемых от указанных преобразователей с фазоимпульсным регулированием (гальванические ванны, дуговые печи), нарушается также симметрия синусоиды напряжения, а в спектре выделяется и вторая гармоника (рис.3 а, б). Последняя же, как известно, обуславливает протекание токов обратной последовательности, образуя, таким образом, тормозной электромагнитный момент на валу двигателя. Повышаются также вибрации в его механической части, ускоряется износ и снижается надежность оборудования.

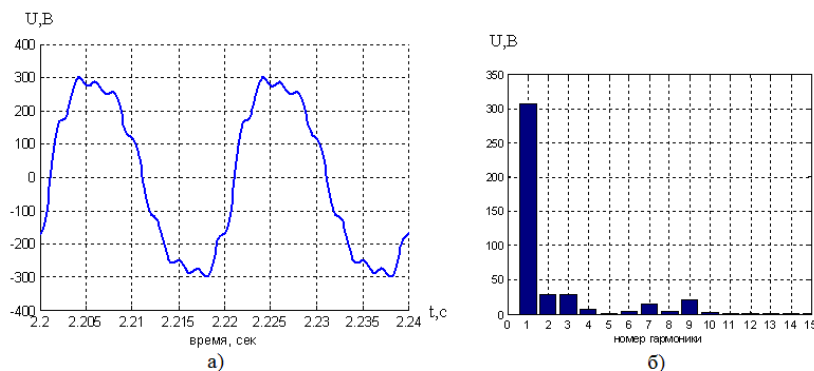


Рис. 3 Форма кривой напряжения с наличием второй гармоники (а) и его спектральный состав (б)

Количественная оценка показателей качества электроэнергии в цеховых сетях предприятий.

Полученные в условиях конкретных промышленных предприятий осциллограммы напряжений [13] подтверждают наличие в их цеховых сетях некачественной электроэнергии. Так, на рис. 4, а приведена кривая линейного напряжения цеха крекинга нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) «Укртатнафта», в спектре которого рис. 4, б содержится большое количество высших гармоник. Здесь для удобства отображения амплитуда первой (основной) гармоники показана не полностью.

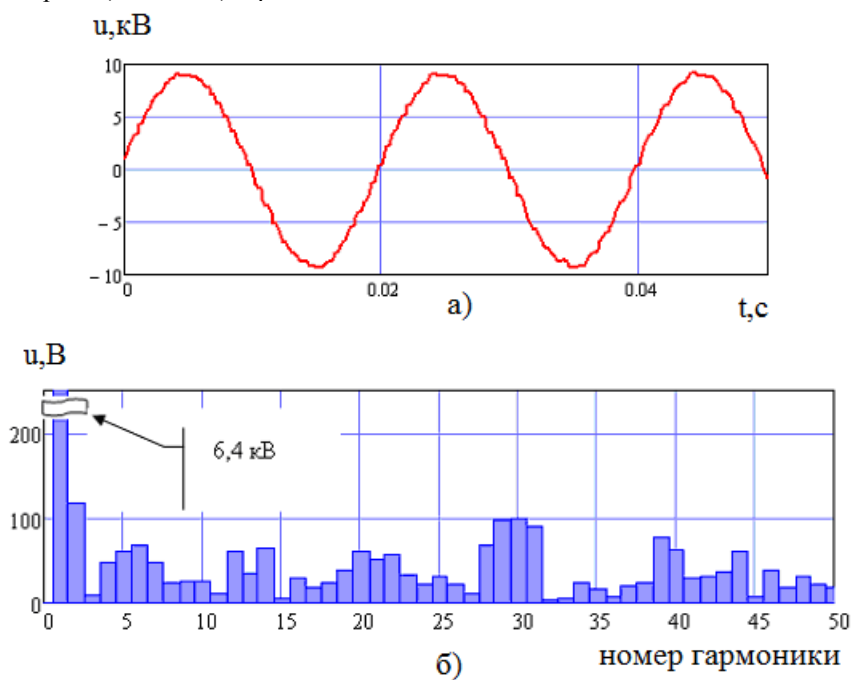


Рис.4 Осциллограмма линейного напряжения подстанции крекингового цеха нефтеперерабатывающего завода «Укртатнафта» (а) и его спектральный состав (б)

Значения нормируемого показателя качества напряжения (коэффициента гармонических составляющих сетевого напряжения $k_{U(n)}$) по фазам в рассматриваемом случае приведены в табл. 1. Жирным шрифтом выделены превышения допустимых величин. Здесь не соответствуют требованиям качества по коэффициенту гармонических составляющих гармоники №№ 6, 8, 10, 12, 14, 16.

Рассчитанное же в соответствии с [14] для рассматриваемого случая значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в целом K_U для всех трех фаз не превысило 3,6%, что удовлетворяет требованиям качества электроэнергии (нормально допустимое значение 5%).

Значения нормируемого показателя качества электроэнергии в цеху крекинга НПЗ

№ гармоники	Нормально допустимое значение коэффициента $k_{U(n)}$ для сети 6 кВ, %	Предельно допустимое значение коэффициента $k_{U(n)}$ для сети 6 кВ, %	Реальные значения		
			Фаза «АВ» $k_{U(n)}$, %	Фаза «ВС» $k_{U(n)}$, %	Фаза «СА» $k_{U(n)}$, %
4	0,7	1,05	0,87	0,32	0,55
6	0,3	0,45	0,91	0,91	0,55
8	0,3	0,45	0,49	0,19	0,60
10	0,3	0,45	0,28	0,66	0,23
12	0,2	0,35	0,60	0,55	0,52
14	0,2	0,35	0,60	0,31	0,50
16	0,2	0,35	0,48	0,07	0,35

На рис. 5 показаны полученные осциллограммы линейных напряжений и их спектральный состав цеха механической обработки ООО «Завод монтажных изделий», г. Днепропетровск. Такая форма кривых обусловлена перегруженностью цеховой подстанции и наличием мощной индукционной установки для закалки. В представленном случае, в отличие от предыдущего, высшие гармоники находятся в допустимом диапазоне, однако коэффициент искажения синусоидальности составляет 8,4%, т.е. превышает нормально допустимое значение.

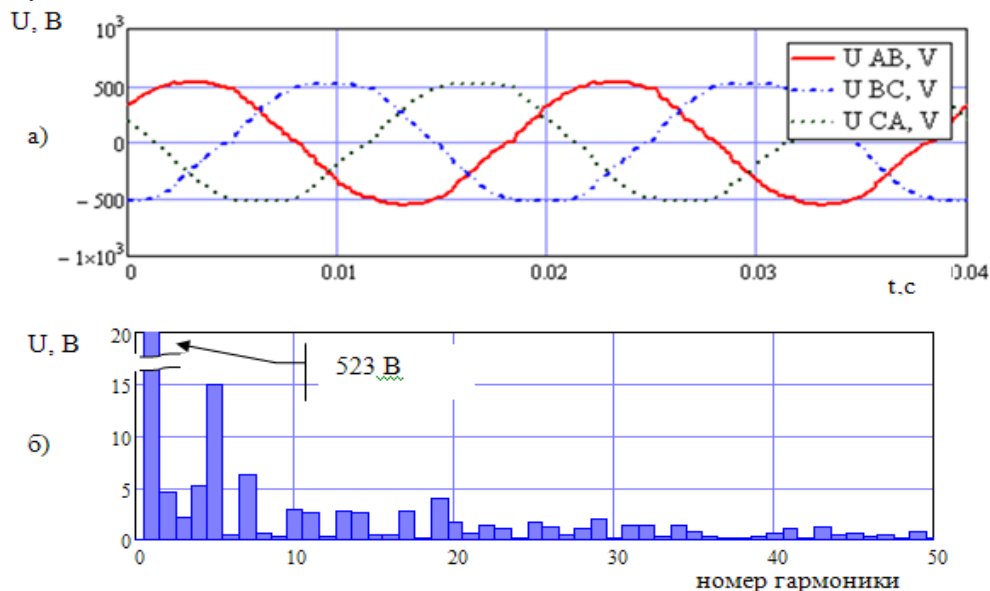


Рис. 5 Осциллограммы (а) и спектральный состав (б) линейных напряжений подстанции механического цеха ООО «Завод монтажных изделий», г. Днепропетровск

В качестве следующего примера рассмотрим цеховые сети Запорожского трансформаторного завода. Электроснабжение его технологических потребителей осуществляется с помощью двух трансформаторных подстанций 6 кВ/0,4кВ через распределительную систему, протяженностью 124 км. Обработка статистических данных, полученных на вводе предприятия, показала, что существенных отклонений по ПКЭ нет. Максимальное и минимальное значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения составило 0,75% и 0,32% соответственно. Значения же указанных коэффициентов по обратной последовательности (K_{2U}) оказались равными 0,9% и 0,38% .

В качестве рассматриваемых цеховых сетей данного предприятия были взяты те, где сконцентрировано наибольшее количество разнотипных потребителей, в том числе таких, которые заведомо ухудшают ПКЭ: механического, сварочного и литейного цехов. В табл. 2 показан состав потребителей по установленной мощности в указанных цехах ОАО «ЗТЗ», из которой видно, какие из них являются виновниками отклонений ПКЭ.

Таблица 2

Состав потребителей по установленной мощности в цехах ОАО «ЗТЗ»

Наименование цеха	% от установленной мощности				
	Потребители, не влияющие на ПКЭ		Потребители, влияющие на ПКЭ		
	Станки с АД	Обжиговые печи	Сварочное оборудование	Ванны металлопокрытий	Индукционные печи
Механический	92,5	5	2,5	-	-
Сварочный	27,3	2,7	70	-	-
Литейный	5,9	34,4	-	50	9,6

Анализ режима электропотребления этого предприятия показал, что на качество электроэнергии в значительной степени влияют электроприемники сварочного цеха, в котором установлены выпрямители с мостовой схемой; литейного цеха, в котором находятся ванны металлопокрытий с питанием от вентильных преобразователей постоянного тока, увеличивающих коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения.

Значения показателей качества питающего напряжения всех рассмотренных предприятий приведены в табл. 3. Жирным шрифтом выделены те из них, которые превышают нормально допустимые величины.

Таблица 3

Значения показателей качества электроэнергии в цехах обследованных предприятий

Предприятие	Цех	Показатели качества электроэнергии			
		$k_U, \%$	$k_{U(v)}, \%$	$\delta U, \%$	$K_{2U}, \%$
ОАО «ЗТЗ»	Механический	2...4	0,07...0,14	-5...+4	1,7...1,9
	Сварочный	8...12	0,07...0,15	-9...+5	1,5... 3,6
	Литейный	7... 11	0,07...0,15	-7...+5	2...3,5
Нефтеперерабатывающий завод	Крекинг	2,6...4,6	0,35...0,91	-1...+1	0,5...1,2
	Ректификации	2,3...4,3	0,01... 0,02	-1,2...+1	1...1,5
	Цех фильтрации	0,1...0,3	0,01...0,02	-1...+1	0,2...1,8
Завод монтажных изделий	Механической обработки	7,4...9,4	0,01...0,02	-0,5...+0,5	1...1,5
	Ремонтный	0,9...2,9	0,01.. 0,02	-1...+1	0,3...1,7
	Инструментальный	1,8...3,8	0,01.. 0,02	-1,2...+1	1...2

Так, на предприятии ОАО «ЗТЗ» наибольшее отклонение ПКЭ от допустимых значений зафиксировано в сварочном и литейном цехах, что отрицательно влияет на работу находящихся в них электропотребителей. Значительное искажение синусоидальности кривой напряжения негативно сказывается на техническом состоянии станков и механизмов с асинхронным электроприводом. Возрастают также суммарные потери электрической энергии, снижается качество выпрямленного тока преобразовательных установок, необходимого для гальванического производства. Несоответствие значения коэффициента несимметрии по обратной последовательности нормально допустимому значению приводит к возникновению магнитных полей, вращающихся встречно ротору АД, вызывающих вибрации и разрушения подшипников.

Таким образом, анализ типовых искажений и количественная оценка показателей качества электроэнергии в цеховых сетях рассмотренных промышленных предприятий позволяет сделать выводы о том, что качество электрической энергии в аналогичных сетях многих промышленных предприятий Украины не отвечает установленным требованиям. В них присутствуют искажения, обусловленные работой полупроводниковых преобразователей, насыщением магнитопроводов трансформаторов и т.д.

Обращает на себя внимание и то, что при соответствии ГОСТу коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, по отдельным гармоникам наблюдается существенное превышение значений коэффициентов гармонических составляющих сетевого напряжения. А это свидетельствует о предпочтительности использования последних при анализе эффективности электрооборудования, работающего в сетях с некачественной электроэнергией.

И, наконец, главный вывод экспериментов: качество электроэнергии на входе предприятия и в его цеховых сетях существенно отличается. Таким образом, одинаковые потребители, находящиеся в разных цехах, характеризуются различной энергоэффективностью и требуют индивидуального подхода при выборе средств для ее повышения.

Качество электроэнергии в сетях нетяговых потребителей железных дорог.

Отдельный интерес с точки зрения качества электроэнергии представляет получившее достаточное распространение электроснабжение нетяговых электропотребителей от электрифицированных железных дорог. Это составляющие инфраструктуры крупных железнодорожных станций и узлов, в том числе локомотивные и вагонные депо, культурно-бытовые объекты и даже сторонние потребители, подключенные непосредственно к тяговым подстанциям. При этом некоторые потребители, расположенные на железнодорожных перегонах и станциях, находящихся в зонах между подстанциями (освещение, устройство автоблокировки и др.), подключаются, как правило, к линиям, так называемого, продольного электроснабжения с напряжением 6, 10, 35 кВ.

Если основное питание устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), а также связи осуществляется от отдельных линий электрообеспечения автоблокировки, то резервное – от линий «два провода – рельсы» (ДПР) с номинальным напряжением 25 кВ или продольного электроснабжения (ПЭ) напряжением 6 и 10 кВ. Применяемые в данном случае однофазные комплектные трансформаторные подстанции (КТП) монтируются непосредственно на железнодорожных опорах [15].

От указанных линий ПЭ и ДПР получают питание так же и сторонние потребители в виде промышленных предприятий и населения, отпуск электроэнергии которым за последние пять лет вырос на 15% и составил на 01.01.2015 г. почти 8 млн. кВт·ч [16]. Происходят структурные изменения и в характере нагрузки, а именно: увеличивается доля бытового оборудования (персональные компьютеры, серверы, принтеры, блоки бесперебойного питания, микроволновые печи и т.п.), которое использует однофазные источники питания, а также регулируемые электроприводы систем кондиционирования и вентиляции. Освещение выполняется с помощью люминесцентных ламп с электронным балластом. У этой группы потребителей доля нелинейной нагрузки значительно превышает линейную составляющую.

Как правило, источники питания офисного оборудования используют мостовые выпрямители с емкостными сглаживающими фильтрами. В выпрямителях, используемых в современных источниках электропитания, напряжение сети подается непосредственно на диодный мост. При этом выпрямленный ток преобразуется с помощью коммутатора в переменный ток высокой частоты, а затем снова выпрямляется. Такие источники питания вызывают значительные искажения формы потребляемого тока, существенную долю которого составляют компоненты с частотой третьей гармоники [17]. Появление высших гармоник оказывает неблагоприятное воздействие на работу силового электрооборудования, устройств релейной защиты и автоматики, вызывает ускоренное старение изоляции [18].

Таким образом, решение проблемы эффективности использования электроэнергии в сетях нетяговых потребителей железных дорог является достаточно актуальным и должно, как и в предыдущих случаях, базироваться на результатах оценки ПКЭ непосредственно в процессе ее передачи и потребления энергии в рассматриваемых сетях. А это самостоятельная и не менее сложная научно – практическая задача.

Учитывая, что современные средства измерительной техники (СИТ) реализуют гибкие алгоритмы обработки и анализа экспериментальных данных высокого уровня сложности - они обеспечивают достаточную для поставленной цели точность измерений. При этом контроль и фиксация качества электромагнитных процессов в цепях переменного тока осуществляются в основном портативными анализаторами, такими, например, как EDL-175xt или PNA-296 производства фирмы SATEC построенными на базе прибора для учета электрической энергии РМ175.

На рис. 6 приведена схема измерения показателей качества электроэнергии, на действующем электрифицированном участке переменного тока в линии ДПР.

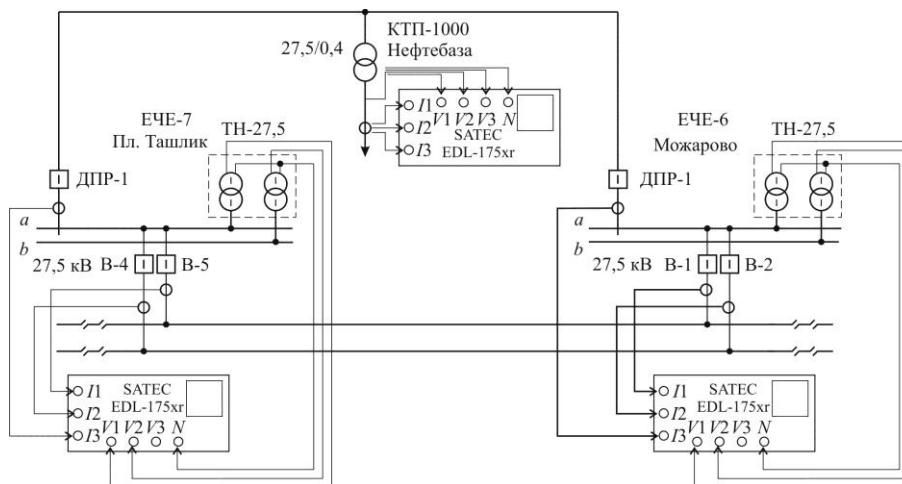


Рис. 6 Схема проведения измерений на промышленном объекте, который питается от ДПР

Енергозбереження та енергоефективність

Она позволила оценить такие показатели качества электрической энергии как:

- уровень и отклонения напряжения;
- коэффициент несимметрии по обратной последовательности;
- коэффициент искажения синусоидальности напряжения.

Дополнительно выполнена оценка коэффициента реактивной мощности.

В качестве примера на рис. 7 приведены фрагменты регистрации указанных показателей в линии питания нетяговых потребителей ДПР напряжением 27,5 кВ, а результаты их статистической обработки – в таблице 4. Аналогично обследованы и линии с напряжением 10 и 0,4 кВ.

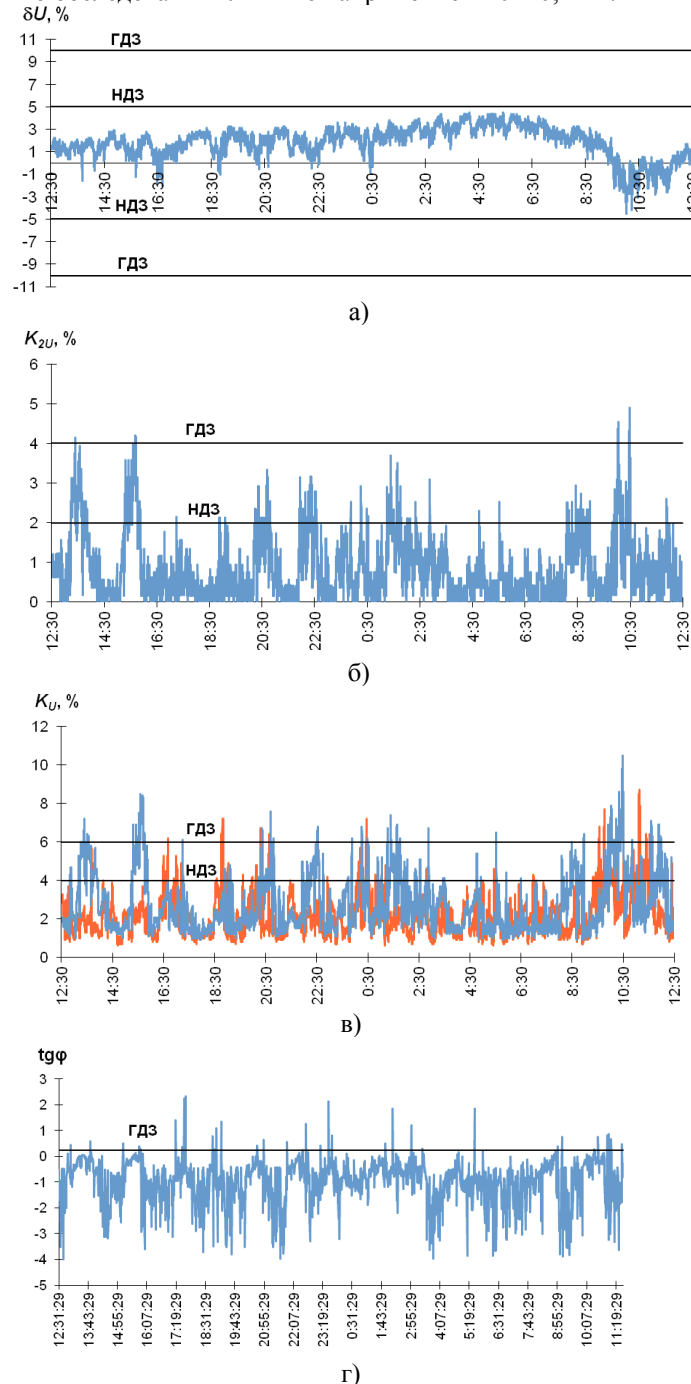


Рис. 7 Изменения показателей качества электроэнергии в линии ДПР 27,5кВ:

- а) отклонение напряжения; б) коэффициент несимметрии по обратной последовательности;
в) коэффициент искажения синусоидальности напряжения г) коэффициент реактивной мощности

Анализ полученных результатов качества электроэнергии в линии ДПР позволяет сделать вывод, что в целом статистические характеристики установившегося отклонения напряжения в сети 27,5 кВ находятся в пределах допустимых значений и за время наблюдения изменялись незначительно. Коэффици-

Статистические характеристики показателей качества электроэнергии в линии ДПП 27,5 кВ

Показатель	U			δU	$K_{2U}, \%$	$K_U, \%$			tgφ	$K_i, \%$
	U _A	U _B	U _C			U _A	U _B	U _C		
M	27844,55	28179,63	28016,05	1,86	0,83	2,76	2,14	0,0	-0,97	
Mo	28034,00	28401,00	28122,00	2,61	0,03	1,40	1,20	0,0	0,00	
Me	27938,00	28305,00	28074,00	2,09	0,56	2,30	1,90	0,0	-0,78	
D	208507,75	166606,06	139821,9	1,87	0,588	2,14	1,18	0,0	0,80	
s	456,63	408,17	373,93	1,37	0,767	1,46	1,09	0,0	0,89	
As	-0,93	-0,94	-0,89	-0,89	1,41	1,25	1,60	0,0	-0,88	
Ex	1,67	0,87	0,93	0,96	1,93	1,37	3,74	0,0	1,36	
min	25259,00	26393,00	26313,00	-4,50	0,03	0,90	0,60	0,0	-3,99	6,4
max	28799,00	28974,00	28743,00	4,52	4,90	10,50	8,70	0,0	2,35	41,7

циент несимметрии напряжения по обратной последовательности на шинах 27,5 кВ тяговых подстанций изменялся в пределах 0 ... 3,63%, что превышает нормально допустимое значение, но находится в границах предельно допустимых значений. Коэффициент же искажения синусоидальности кривой напряжения на шинах указанных подстанций варьировался в пределах 0 ... 10,5%, что превышает как нормально допустимое, так и предельно допустимое значение.

В линии 10 кВ статистические характеристики отклонения напряжения также находятся в нормированных пределах и за время наблюдения изменялись незначительно. Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности изменялся в пределах 0 ... 1,58%, что также не превышает нормально допустимого значения. Однако, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения - варьировался в еще больших пределах 0 ... 14,4%, что превышает все допустимые нормы.

В то же время, на присоединениях 0,4 кВ величина коэффициента K_U находится в пределах 1,4 ... 10,3%, что превышает нормально допустимое, но находится в границах предельно допустимого значения. При этом установившееся отклонение напряжения изменялось от - 2,66% до + 7,42%, что превышает нормально допустимые значения. Коэффициент же несимметрии напряжения по обратной последовательности на присоединениях 0,4 кВ варьировался в значительных пределах 0 ... 3,43%, хотя превышения нормально допустимого значения и происходили лишь в некоторые моменты времени.

Интерес представляет и наблюдение за изменениями коэффициента реактивной мощности в исследуемых линиях. Так, в случае ДПП почти в течение всего времени имеет место генерация реактивной мощности. Можно предположить, что она вызвана большой емкостной проводимостью линии при незначительном уровне нагрузки. В случае же 10 кВ режимы генерации и потребления реактивной мощности чередуются, что и было вызвано цикличностью технологического процесса нетягового потребителя. Относительно присоединения 0,4 кВ на протяжении почти всего времени наблюдения имело место потребление лишь реактивной мощности. Значение величины tgφ на всех исследуемых напряжениях превышает нормированный уровень в 0,25.

Особого внимания заслуживает исследование коэффициента искажения тока. Действующие на территории Украины нормативные документы, регулирующие вопросы обеспечения качества электроэнергии, рассматривают показатели качества электроэнергии, производные от напряжения [18]. В европейских же странах используется стандарт IEC 519-1992 [19], который определяет максимальные значения токов нечетных гармоник в процентном отношении к току нагрузки. В соответствие с данным стандартом максимальное значение коэффициента искажения синусоидальности кривой тока зависит от отношения тока короткого замыкания сети в точке общего присоединения к току нагрузки. В результате, для мощной сети (примем во внимание тот факт, что мощность тяговой подстанции значительно превышает мощность нетяговой нагрузки) максимальное значение коэффициента искажения синусоидальности кривой тока не должна превышать 15%. Токи гармоник с порядковыми номерами $n < 11$ должны быть меньше 12% от тока нагрузки. Как показали результаты расчетов коэффициенты искажения тока в исследуемых линиях значительно превышают приведенные нормативы. При этом интервалы изменений искажения тока имеют большие значения в линии ДПП и в получающих от нее питание потребителях 0,4 кВ.

Выводы

Проведенные исследования на промышленных предприятия позволяют сделать следующие выводы о том, что качество электрической энергии многих промышленных предприятий Украины не соответствует ГОСТу. В цеховых сетях присутствуют искажения, обусловленные работой полупроводниковых преобразователей, насыщением магнитопроводов трансформаторов и т.д. При соответствии требованиям ГОСТа коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, по отдельным гармоникам наблюдается существенное превышение коэффициентов гармонических составляющих сетевого напря-

жения, что свидетельствует о предпочтительности использования последних при анализе энергоэффективности АД работающих в условиях некачественного питания. Экспериментально установлено, что качество электроэнергии на входе предприятия и по его цехам отличается. Таким образом, одни и те же потребители, находящиеся в разных цехах, работают с различной энергоэффективностью, обусловленной отклонениями ПКЭ и требуют индивидуального подхода при решении вопроса их защиты.

В результате выполненных исследований показателей качества электроэнергии в линиях питания нетяговых потребителей железных дорог установлено, что проблема обеспечения качества электрической энергии в рассматриваемых случаях еще более актуальна в связи с происходящими изменениями характера нагрузки. Особого внимания требует решение этого вопроса для ведомственных промышленных предприятий, так как для них характерно наличие значительного количества оборудования, на работу которого существенно влияет качество электрической энергии [20].

Результаты проведенных работ свидетельствуют, что компенсация реактивной мощности на указанных предприятиях имеет свою специфику на каждом из уровней напряжения, которую необходимо учитывать при разработке мероприятий по улучшению качества электрической энергии. Показатели последнего, определяемые отечественными нормативными документами, не соответствуют установленным нормам и имеют широкий разброс статистических характеристик. Коэффициент же искажения синусоидальности кривой тока, регламентируемый международными стандартами, также превышает допустимые значения. Как следствие, проблема повышения качества электрической энергии в сетях нетягового электроснабжения железных дорог является более сложной, а ее решение должно предусматривать меры, направленные не только на повышение энергоэффективности, но и обеспечение надежности электроснабжения и снижения потерь в линиях.

Список использованных источников

1. Кириленко О. В. Моделювання енергетичних процесів у системах енергопостачання при вирішенні завдань енергозбереження / О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України, Електродинаміка: Зб. наук. пр.– К.: ІЕД НАН України, 2001.– С. 87–91.
2. Сиченко В. Г. Вплив електроенергетичних процесів у системах тягового електропостачання на якість електричної енергії/ В.Г. Сиченко // Гірничі електромеханіка та автоматика: Науково – технічний збірник НГУ. –Дніпропетровськ.: Випуск: 2015. №1(94).– С.25-30.
3. Полилов Е.В. Экспериментальные исследования качества электрической энергии в основных цехах «АМК». Анализ гармонического состава сетевого напряжения / Е.В. Полилов, А.Б. Зеленев // Вісник КДПУ. – Випуск 3/2006(39). – Частина 1. – С.93-97.
4. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 360 с.
5. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 340 с.
6. Жежеленко И.В. Вопросы качества электроэнергии в электроустановках / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – Мариуполь: ПГТУ, 1996. – 173 с.
7. Родькин Д.И. Обоснование критериев качества преобразования энергии в электромеханических системах / Д.И.Родькин, А.П.Черный, В.А. Мартыненко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – Вип.1. –2002. – С.81-85.
8. Зиновкин В.В. Моделирование добавочных потерь в электрооборудовании системы электротехнического комплекса при несинусоидальных токах / В.В. Зиновкин // Вісник КДПУ. – Випуск 4/2007(45). – С. 49-52.
9. Жук А.К. Анализ влияния тиристорного преобразователя на питающую сеть с учетом коммутационных колебаний / А.К. Жук // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2003. – №60. – С.39-47.
10. Запальский В.Н. Спектральный анализ работы типовых полупроводниковых преобразователей в автономных электроэнергетических системах / В.Н. Запальский // Збірник наук. праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2007. – С.230-231.
11. Полищук И.И. Электропривод переменного тока с IGBT-транзисторным преобразователем: электромагнитная совместимость и качество электроэнергии / И.И. Полищук // Збірник наук. праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2007. – С.403-406.
12. Климов В.П. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания / В.П. Климов, А.Д. Москалев // Практическая силовая электроника. – Научно-технический сборник / Под ред. Г.М. Малышкова, А.В. Лукина. – М.: АОЗТ "ММП-Ирбис", 2002. – Вып. 5. – С. 39-46.
13. Качан Ю.Г. О количественной оценке качества электрической энергии в сетях промышленных предприятий / Ю.Г.Качан, А.В.Николенко, В.В. Кузнецов // Гірн. електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – Вип. 84. – Дніпропетровськ, 2010. – С.9-16.
14. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. ИПК. – М.: Издательство стандартов. –1998. – 15 с.
15. Ратнер, М.П. Электроснабжение нетяговых потребителей железных дорог. / М.П. Ратнер, Е.Л. Могилевский. – М.: Транспорт, 1985. – 295 с.

16. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2014 році. – К. Укрзалізниця, 2015. – 240 с.
17. Темербаев, С. А. Анализ качества электроэнергии в городских распределительных сетях 0,4 кВ. / С. А. Темербаев, Н. П. Боярская, В. П. Довгун, В. О. Колмаков.// Электронный ресурс, режим доступа: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/9644/1/12_Temerbaev.pdf
18. Сиченко, В. Г. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць / В. Г. Сиченко, Ю. Л. Сасенко, Д. О. Босий. – Д.: ПФ Стандарт-Сервіс, 2015. – 344 с.
19. IEEE Std 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993.
20. Средства эффективного использования электрической энергии [Текст] : монография / Ю. Г. Качан, В. В. Дьяченко, В. В. Кузнецов ; Запорож. гос. инженер. акад. - Запорожье : ЗГИА, 2016. - 156 с.

Рекомендовано к печати: д-ром техн. наук, проф. Качаном Ю.Г..

УДК 69.03

*І.М. Луценко, канд. техн. наук., Є.В. Кошеленко, П.С. Циган,
(Україна, Дніпро, Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет")*

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

***Анотація. Мета.** Дослідження впливу конструктивних параметрів багатоквартирних житлових будинків на величину питомого енергоспоживання. Оцінка досяжного рівня енергоефективності будівель за рахунок модернізації їх огороджуючих конструкцій. **Наукова новизна** полягає у встановленні закономірностей між параметрами огороджуючих конструкцій та досяжним рівнем енергетичної ефективності будівель на основі аналізу фактичних даних будівель. **Практична цінність** полягає в оцінці поточного рівня енергетичної ефективності будівлі та розробці заходів для зниження питомих витрат енергії на її утримання. Було встановлено, що для будинків з білої цегли різної поверховості в умовах м.Дніпро очікувана величина зниження енергоспоживання відносно поточного рівня за рахунок модернізації огороджуючих конструкцій становить 38-45%. **Результати.** Визначено поточний рівень енергетичної ефективності на прикладі трьох багатопверхових житлових будівель. Показано, що за рахунок впровадження заходів з термомодернізації огороджуючої оболонки будівлі досягається підвищення рівня енергетичної ефективності з **F** до **E**, рідше **D** рівнів. Для подальшого зниження енергоспоживання будівлями необхідно проводити також модернізацію інженерних мереж. Згідно з розрахунками для досліджуваних трьох будівель після модернізації фасадів та обладнання індивідуальних теплових пунктів можна досягти **B** і **C** рівнів енергетичної ефективності.*

***Ключові слова:** Енергоефективність, опір теплопередачі, енергетичний паспорт, термомодернізація.*

***Аннотация. Цель.** Исследование влияния конструктивных параметров жилых домов на величину удельного энергопотребления. Оценка достижимого уровня энергоэффективности зданий за счет модернизации их ограждающих конструкций. **Научная новизна** состоит в установлении закономерностей между параметрами ограждающих конструкций и достижимым уровнем энергетической эффективности зданий на основании анализа фактических данных зданий. **Практическая ценность** состоит в оценке текущего уровня энергетической эффективности зданий и разработке мероприятий по снижению удельного расхода энергии на их содержание. Было установлено, что для зданий из белого кирпича разной этажности в условиях г.Днепра ожидаемая величина снижения энергопотребления относительно текущего уровня за счет модернизации ограждающих конструкций составляет 38-45%. **Результаты.** Определен текущий уровень энергетической эффективности на примере трех жилых зданий. Показано, что за счет реализации мероприятий по термомодернизации ограждающей оболочки зданий достигается повышение уровня энергетической эффективности с **F** до **E**, реже **D** уровней. Для дальнейшего снижения энергопотребления зданиями необходимо также производить модернизацию инженерных сетей. Согласно расчетов для исследуемых трех объектов после модернизации фасадов и оборудования индивидуальных тепловых пунктов можно достичь **B** и **C** уровней энергетической эффективности.*

***Ключевые слова:** энергоэффективность, сопротивление теплопередаче, энергетический паспорт, термомодернизация*