

## КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

### Исследование высших гармоник тока, генерируемых энергосберегающими источниками света

Вагин Г. Я., доктор техн. наук,  
Севостьянов А. А., Солнцев Е. Б., кандидаты техн. наук,  
Терентьев П. В., Шевченко А. С., инженеры

**Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева**

Приведены результаты исследования высших гармоник тока, генерируемых энергосберегающими источниками света, которые в соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ от 23.11.09 г. должны заменить лампы накаливания. В качестве объекта исследования, проводимого с помощью анализатора качества электроэнергии типа Fluke 434, взяты газоразрядные и светодиодные источники света различных производителей. Установлено, что все они генерируют нечетные высшие гармоники тока (от 3-й до 49-й), причем наибольшие их уровни создают компактные люминесцентные лампы и светодиодные источники, у которых коэффициент искажения синусоиды тока достигает 130 %. С учетом стандартов МЭК 61000-3-2 и ГОСТ Р 51317.3.2 проведена проверка допустимой эмиссии в сеть гармоник тока, генерируемых лампами. Полученные результаты свидетельствуют, что все источники света мощностью до 25 Вт (кроме китайских) отвечают требованиям этих стандартов в указанной части, а источники мощностью более 25 Вт должны снабжаться электронными пускорегулирующими аппаратами с коэффициентами коэффициента мощности.

**Ключевые слова:** газоразрядные источники света, светодиодные источники света, генерирование высших гармоник тока, нормы на эмиссию гармоник.

С целью снижения потребления электроэнергии системами освещения, которое в России составляет около 14 % общего потребления [1], принят Федеральный закон № 261-ФЗ [2], предусматривающий замену ламп накаливания на газоразрядные (ГРЛ) и светодиодные (СДЛ). Однако при решении этой проблемы возникает другая, связанная с необходимостью обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС).

Как показано в [3, 4], все ГРЛ имеют нелинейную вольт-амперную характеристику и генерируют высшие гармоники тока, уровень которых зависит от типа пускорегулирующих аппаратов. В настоящее время в светильниках с ГРЛ применяют электромагнитные (ЭМПРА) или электронные (ЭППРА) пускорегулирующие аппараты. Для питания СДЛ используются импульсные преобразователи постоянного тока (драйверы), также генерирующие токи высших гармоник. Схемы питания ГРЛ и СДЛ приведены в [5 – 7].

В данной статье содержатся результаты исследования высших гармоник тока, генерируемых ГРЛ и СДЛ различных производителей,

которые в настоящее время используются при замене ламп накаливания в городских зданиях и системах наружного освещения. В табл. 1 указаны параметры исследованных источников света, а в табл. 2 — токи генерируемых ими нечетных гармоник. На рисунке показаны спектры высших гармоник тока ряда характерных источников света: КЛЛ ASD Spiral-econom 20 Вт (*a*), КЛЛ Camelion 30 Вт (*b*), ЛЛ Т5 4x54 с ЭППРА 216 Вт (*в*), СДЛ Navigator 10 Вт (*г*), СДЛ Philips 9,5 Вт (*д*), ДНаТ с ЭППРА 120 Вт (*е*), МГЛ + СДЛ 100 Вт (*ж*), СДЛ S02/120 Led 120 Вт (*з*). Исследование проводили с помощью анализатора качества электроэнергии типа Fluke 434 по методике [8].

Источники света относятся к электроприемникам, для которых существуют стандарты на ограничение эмиссии гармоник тока: МЭК 61000-3-2 [9] — в Евросоюзе и ГОСТ Р 51317.3.2 [10] — в России. Эти стандарты допускают следующие предельные токи нечетных гармоник (в процентах по отношению к 1-й гармонике), генерируемых источниками света:

Таблица 1

Номер источника света	Тип источника света (страна-изготовитель)	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	cos φ	Цветовая температура, К	Световая отдача, лм/Вт
1	Компактная люминесцентная лампа ASD Spiral-econom (Китай)	20	220	920	0,52	2700	46
2	Компактная люминесцентная лампа Navigator (Китай)	20	220 – 240	1200	0,46	4000	60
3	Компактная люминесцентная лампа Camelion (Китай)	30	220 – 240	1650	0,94	2700	55
4	Светодиодная лампа Classic Led (Германия)	9	220 – 240	800	0,82	3000	88,9
5	Светодиодная лампа LED Bulb (Германия)	10	110 – 240	800	0,8	3000	80
6	Светодиодная лампа Philips (Нидерланды)	9,5	220 – 240	600	0,88	2700	63,2
7	Светодиодная лампа Navigator (Китай)	10	170 – 260	820	0,93	4000	82
8	Светодиодная лампа Navigator (Китай)	5	170 – 260	350	0,91	2700	70
9	Светильник с люминесцентными лампами Т8 2 × 36 с ЭмПРА (Россия)	72	220	4200	0,8	2700	58,3
10	Светильник с люминесцентными лампами Т8 2 × 36 с ЭПРА (Россия)	72	220	4200	0,96	2700	58,3
11	Светильник с люминесцентными лампами Т8 4 × 18 с ЭмПРА (Россия)	72	220	4600	1	2700	64
12	Светильник с люминесцентными лампами Т5 4 × 54 с ЭПРА (Россия)	216	220	14 600	0,99	4000	67,6
13	Светодиодный светильник наружного освещения S02/120 Led (Россия)	120	220	10 420	0,96	4000	86,8
14	Светильник консольный наружного освещения с лампой ДНаТ с ЭПРА и ККМ (Россия)	120	220	9075	0,99	2700	75,6
15	Светильник наружного освещения с лампой МГЛ 70 Вт и двумя светодиодными модулями 30 Вт с ЭПРА и ККМ (Россия)	100	198 – 253	9000	0,95	4000	90

Таблица 2

Номер источника света из табл. 1	Токи нечетных гармоник (в процентах от первой гармоники)						
	3-й	5-й	7-й	9-й	11-й	13-й	15-й
1	84,9	65,0	48,3	41,1	36,3	28,6	21,0
2	80,0	55,2	46,1	43,8	35,7	27,1	21,0
3	48,0	35,1	27,9	25,9	22,2	16,9	14,0
4	40,4	19,9	28,5	32,1	27,1	17,1	18,2
5	50,2	28,4	25,3	40,1	34,8	22,7	17,0
6	50,1	35,0	28,2	23,3	15,3	9,8	8,0
7	87,5	69,5	55,2	45,9	41,5	36,7	29,6
8	86,4	71,7	63,9	52,7	46,8	41,8	35,9
9	27,5	13,1	2,9	5,0	7,7	2,4	6,6
10	12,9	7,2	2,2	3,2	1,7	0,7	1,2
11	15,0	10,0	8,2	17,4	5,2	3,4	10,0
12	6,0	1,4	1,5	4,4	1,6	0,8	0,9
13	4,1	2,8	1,1	2,8	0,6	0,2	0,7
14	5,5	4,8	3,4	4,5	1,3	0,6	0,6
15	6,1	2,3	1,7	2,2	1,3	1,1	0,8

при мощности выше 25 Вт: 3-я гармоника — до  $30 \cos \varphi_{ис}$ , 5-я — до 10, 7-я — до 7, 9-я — до 5, с 11 по 39-ю — до  $3 \cos \varphi_{ис}$ ;

при мощности до 25 Вт: 3-я гармоника — до 86, 5-я — до  $61 \cos \varphi_{ис}$ .

Если эти требования не выполняются, то источник света должен содержать корректор коэффициента мощности (ККМ) — преобразователь переменного напряжения в постоянное (АС/ДС), в котором реализуется непосредственное управление формой кривой потребляемого тока с помощью электронного регулятора. Используя закон управления, необходимо сделать так, чтобы ток, потребляемый от сети, максимально приближался к синусоидальному, совпадающему по фазе с сетевым напряжением, т. е.  $\cos \varphi$  источника света стремился к единице. Корректор коэффициента мощности может встраиваться или непосредственно в источник света, например в компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) либо в СДЛ, или в их системы управления (ЭПРА) [5].

Применение ККМ приводит к увеличению стоимости источников света на 30 – 50 %, по-

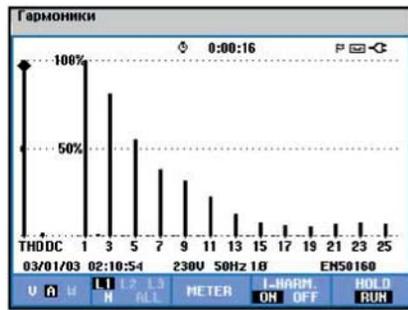
этому многие из них, имеющиеся на российском рынке, не содержат эти устройства, и покупатели приобретают источники света, генерирующие недопустимые уровни гармоник тока.

Из табл. 2 видно, что все обследованные источники света мощностью до 25 Вт отвечают требованиям стандартов [9, 10], а при мощности выше 25 Вт эмиссия высших гармоник тока не превышает установленных в них значений только при наличии пускорегулирующих аппаратов с ККМ.

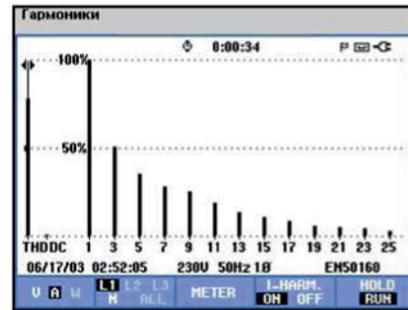
На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) все энергосберегающие источники света — ГРЛ и СДЛ — генерируют нечетные высшие гармоники тока, начиная с 3-й до 49-й. Наибольшие уровни гармоник тока создают КЛЛ и СДЛ, коэффициент искажения синусоиды тока которых достигает 130 %;

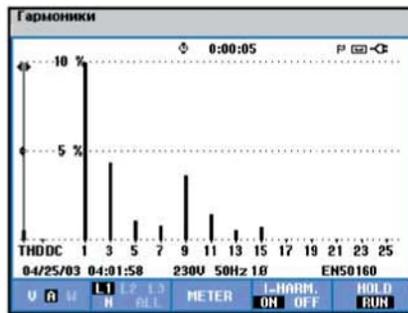
2) все ГРЛ и СДЛ мощностью до 25 Вт (кроме китайских) соответствуют требованиям международных (МЭК 61000-3-2) и отечественных (ГОСТ Р 51317.3.2) стандартов по ограничению эмиссии гармоник тока, а лам-



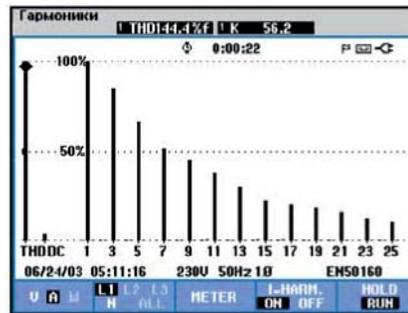
а)



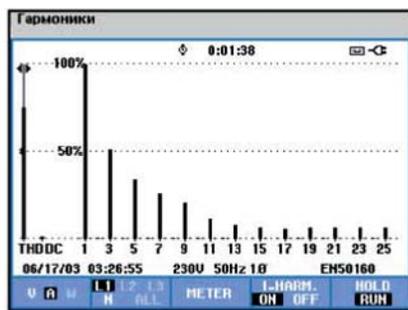
б)



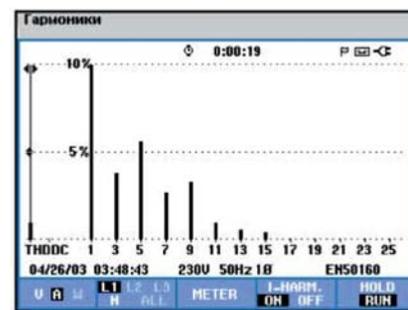
в)



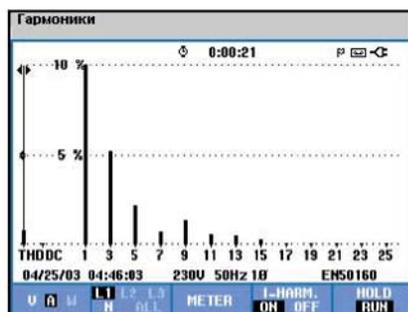
г)



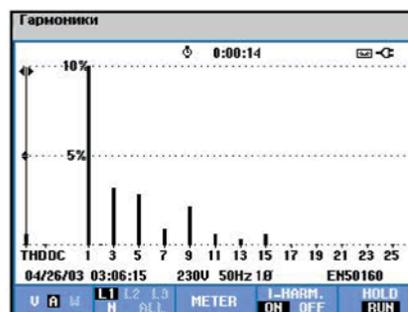
д)



е)



ж)



з)

пы мощностью выше 25 Вт следует оснащать ЭПРА с корректорами коэффициента мощности;

3) при замене ламп накаливания на ГРЛ и СДЛ необходимо обращать внимание на сечения нулевых проводников, так как гармоники тока с большими уровнями, кратными трем, могут обусловить их перегрузку.

Помимо этого в действующих сетях, где есть конденсаторные установки, требуется

проверка конденсаторных батарей на возможность резонансных явлений и их перегрузки.

### Список литературы

1. Айзенберг Ю. Б. Современные проблемы энергоэффективного освещения. — Энергосбережение, 2009, № 1.
2. Федеральный закон РФ № 261-ФЗ от 23.11.09 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в

- отдельные законодательные акты Российской Федерации”.
3. **Жежеленко И. В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий. — М.: Энергоатомиздат, 2004.
  4. **Арриллага Дж., Брэдли Д., Боджер П.** Гармоники в электрических системах / Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
  5. **Энергоэффективное** электрическое освещение: Учеб. пособие / С. М. Гвоздев, Д. И. Панфилов, В. Д. Поляков и др. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
  6. **Применение** светильников нового поколения для наружного освещения предприятий / Г. Я. Вагин, А. И. Гардин, А. А. Асабин, А. С. Шевченко. — Промышленная энергетика, 2011, № 4.
  7. **Шуберт Ф.** Светодиоды. Пер. с англ. / Под ред. А. Э. Юновича. — М.: Физматгиз, 2008.
  8. **ГОСТ Р 54350–2011.** Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2011.
  9. **IEC 61000-3-2:2005.** Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3.2: Limits — Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase).
  10. **ГОСТ Р 51317.3.2–2006.** Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А. Нормы и методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2007.

[terentyevpv@inbox.ru](mailto:terentyevpv@inbox.ru)