

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Исследование влияния отклонений напряжения на основные параметры газоразрядных и светодиодных источников света

Вагин Г. Я., доктор техн. наук,
Севостьянов А. А., Солнцев Е. Б., кандидаты техн. наук, Терентьев П. В., инж.
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Приведены результаты исследования влияния отклонений напряжения на основные параметры газоразрядных и светодиодных источников света: потребляемую мощность, световой поток и световую отдачу. Даны регрессионные зависимости этих параметров от отклонений напряжения. Проведено исследование температуры нагрева компактных люминесцентных и светодиодных источников света. Установлено, что температура нагрева некоторых компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) в точках установки пускорегулирующей аппаратуры превышает 100°C , что приводит к большому сокращению их срока службы. Показано, что КЛЛ нельзя устанавливать в закрытых и полузакрытых светильниках, а наилучшие их условия работы — при установке цоколем вниз.

Ключевые слова: влияние отклонений напряжения, характеристики газоразрядных и светодиодных источников света, температура нагрева ламп.

В [1, 2] показано, что на основные параметры источников света (ИС) — потребляемую мощность, световой поток, световую отдачу и срок службы — большое влияние оказывают отклонения напряжения. В [1] приведены следующие зависимости фактических значений этих параметров ($P_{\text{п.л}}$, $F_{\text{л.ф}}$, $H_{\text{л.ф}}$ и $t_{\text{сл.ф}}$) от отклонений относительного значения напряжения $K_U = U_{\text{ф}}/U_{\text{ном}}$ для ламп накаливания:

$$P_{\text{п.л}} = P_{\text{л.ном}} K_U^{1,58}; \quad (1)$$

$$F_{\text{л.ф}} = F_{\text{л.ном}} K_U^{3,61}; \quad (2)$$

$$H_{\text{л.ф}} = H_{\text{л.ном}} K_U^2; \quad (3)$$

$$t_{\text{сл.ф}} = t_{\text{л.ном}} K_U^{-14}, \quad (4)$$

а в [2] — для дуговых ртутных ламп (ДРЛ):

$$P_{\text{п.л}} = P_{\text{л.ном}} (1,62 K_U - 0,62); \quad (5)$$

$$F_{\text{л.ф}} = F_{\text{л.ном}} (2,5 K_U - 1,5); \quad (6)$$

$$t_{\text{сл.ф}} = t_{\text{л.ном}} (5 - 4 K_U) \quad (7)$$

и люминесцентных ламп (ЛЛ) стандарта T12 с ЭМПРА:

$$P_{\text{п.л}} = P_{\text{л.ном}} (3,75 K_U - 2,75); \quad (8)$$

$$F_{\text{л.ф}} = F_{\text{л.ном}} (1,25 K_U - 0,25); \quad (9)$$

$$t_{\text{сл.ф}} = t_{\text{л.ном}} (4 - 3 K_U). \quad (10)$$

Все эти зависимости были получены более 30 лет назад. Для появившихся в настоящее время новых газоразрядных и светодиодных источников света подобных зависимостей не существует. Отсутствуют они и в новом стандарте на качество электрической энергии (ГОСТ 32144–2013 [3]). Поэтому целью данной работы является определение влияния отклонений напряжения на новые газоразрядные и светодиодные источники света.

Проведенные исследования показали, что в РФ для питания газоразрядных ламп (ГРЛ) наиболее часто используют электромагнитные пускорегулирующие аппараты (ПРА) типа ЭМПРА, которые при всей их простоте и небольшой стоимости имеют существенные недостатки: большую массу и габариты, значительные (до 27 %) потери мощности, высокие уровни пульсаций светового потока и акустического шума. Поэтому в Евросоюзе с 2005 г. запретили применение светильников с ЭМПРА — их заменили светильниками с электронными ПРА (ЭПРА) [4–6].

Структурная схема питания ГРЛ от ЭПРА (рис. 1) содержит следующие блоки [4]: фильтр подавления радиопомех 1, выпрямитель 2, корректор коэффициента мощности

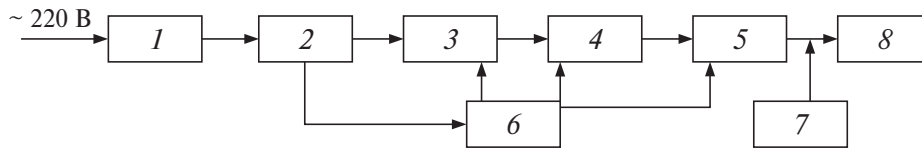


Рис. 1

(ККМ) 3, инвертор 4, выходной блок 5, управляющий блок 6, зажигающее устройство (при питании люминесцентных ламп этот блок отсутствует) 7, ГРЛ 8. Светильники с ЭПРА имеют следующие преимущества по сравнению со светильниками с ЭМПРА [6]:

меньший (на 25 – 30 %) расход электроэнергии;

увеличенный (примерно на 50 %) срок службы ламп;

меньший (приблизительно на 30 %) выход ламп из строя;

отсутствие пульсаций светового потока и акустического шума;

возможность регулирования и стабилизации светового потока;

меньшие (в несколько раз) массу и размеры (это дает возможность их встраивания непосредственно в источник света, например, в КЛЛ);

автоматическое отключение в светильнике при дезактивированной лампе;

защиту от КЗ в цепи лампы;

возможность питания ЛЛ от постоянного тока (в системах аварийного освещения);

оснащение корректорами коэффициента мощности — ККМ (позволяет значительно снизить уровни высших гармоник тока, генерируемых ГРЛ, и повысить их $\cos \phi$ до единицы).

Несмотря на столь значительные преимущества, замена ЭМПРА на ЭПРА в России происходит очень медленно, а большинство импортных КЛЛ (поставляемых без ККМ) являются источниками высших гармоник тока [7].

Для питания светодиодных источников света с лампами СДЛ используются встраиваемые в них импульсные преобразователи постоянного тока (драйверы), схемы включения которых приведены в [5, 8].

Авторами данной статьи по методикам [9 – 11] были проведены исследования влияния отклонений напряжения (в пределах $\pm 15\%$ от номинального) на газоразрядные и светодиодные лампы (и светильники с этими лампами) различных производителей, которые в настоящее время используются при замене ламп накаливания в городских зданиях

и системах наружного освещения в соответствии с Федеральным законом РФ № 261-ФЗ [12]. В табл. 1 приведены параметры исследованных источников света и светильников, а в табл. 2 — регрессионные уравнения, отражающие зависимость их $P_{п.л.}$, $F_{л.ф.}$ и $H_{л.ф.}$ от указанных отклонений напряжения (в относительных единицах). Высокий коэффициент детерминации R^2 свидетельствует о том, что линейная аппроксимация этих зависимостей вполне допустима [13].

По данным исследований были построены следующие регрессионные зависимости $P_{п.л.}$, $F_{л.ф.}$ и $H_{л.ф.}$ от отклонений напряжения для характерных групп источников света и светильников:

для компактных люминесцентных ламп (Япония и Китай) — см. табл. 1, п. 1 – 5:

$$P_{п.л.} = P_{л.ном.}(0,93K_U + 0,07);$$

$$F_{л.ф.} = F_{л.ном.}(0,87K_U + 0,13);$$

$$H_{л.ф.} = H_{л.ном.}(-0,19K_U + 1,19);$$

для светодиодных ламп фирм “Philips” (Нидерланды) и “ASD” (Китай):

$$P_{п.л.} = P_{л.ном.}(1,56K_U - 0,56);$$

$$F_{л.ф.} = F_{л.ном.}(1,26K_U - 0,26);$$

$$H_{л.ф.} = H_{л.ном.}(-0,37K_U + 1,37);$$

для люминесцентных ламп Т8 с ЭМПРА (Россия) — см. табл. 1, п. 6 – 8:

$$P_{п.л.} = P_{л.ном.}(2,64K_U - 1,64);$$

$$F_{л.ф.} = F_{л.ном.}(1,15K_U - 0,15);$$

$$H_{л.ф.} = H_{л.ном.}(-1,68K_U + 2,68).$$

Для светодиодных ламп производства Германии и фирмы “Navigator” (Китай), а также светильников с ЭПРА при отклонениях напряжения в пределах $\pm 15\%$ от $U_{ном}$ значения $P_{п.л.}$, $F_{л.ф.}$ и $H_{л.ф.}$ остаются постоянными.

Исследовать влияние отклонений напряжения на срок службы новых газоразрядных и светодиодных источников света в лабораторных условиях не удается, так как он за-

Таблица 1

№ п/п	Источник света	Страна-изготовитель	Паспортная мощность, Вт
1	КЛЛ Nakai	Япония	15
2	КЛЛ Navigator	Китай	13
3	КЛЛ Navigator	—"	20
4	КЛЛ ASD Spiral-econom	—"	20
5	КЛЛ Camelion	—"	30
6	Светильник с люминесцентными лампами Т8 2 × 36 с ЭмПРА	Россия	72
7	Светильник с люминесцентными лампами Т8 2 × 36 с ЭПРА	—"	72
8	Светильник с люминесцентными лампами Т8 4 × 18 с ЭмПРА	—"	72
9	Светильник с люминесцентными лампами Т5 4 × 54 с ЭПРА	—"	216
10	Светодиодный светильник наружного освещения S02/120 Led	—"	120
11	Светильник консольный наружного освещения с лампой ДНаТ с ЭПРА и ККМ	—"	120
12	Светильник наружного освещения с лампой МГЛ 70 Вт и двумя светодиодными модулями 30 Вт с ЭПРА и ККМ	—"	100
13	СДЛ Philips	Нидерланды	4
14	СДЛ Philips	—"	5
15	СДЛ Philips	—"	8
16	СДЛ Philips	—"	9,5
17	СДЛ Philips	—"	13
18	СДЛ Navigator	Китай	5
19	СДЛ Navigator	—"	10
20	СДЛ Navigator	—"	25
21	СДЛ Classic Led	Германия	9
22	СДЛ LED Bulb	—"	10
23	СДЛ ASD	Китай	5
24	СДЛ ASD	—"	7
25	СДЛ Эра	—"	8
26	СДЛ OSRAM	Германия	8

висит от многих факторов: температуры нагрева, отклонений напряжения, частоты включений и отключений, типа ПРА и т. д. В [6] показано, что на срок службы КЛЛ в значительной степени влияет температура в месте установки ПРА (фирма "OSRAM" принимает ее равной 70 °С [6]). При увели-

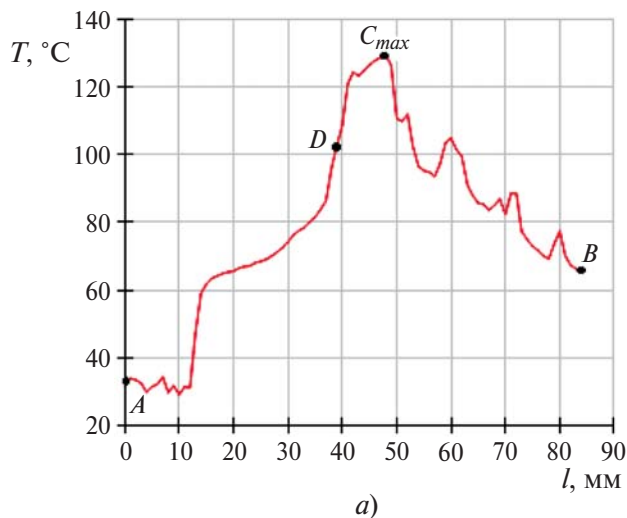
чении этой температуры на 10 °С срок службы ПРА сокращается вдвое.

С использованием тепловизора Fluke Ti32 авторами были сняты спектрограммы распределения температуры T и построены зависимости ее изменения вдоль поверхности ламп. Для примера на рис. 2, а приведены эти за-

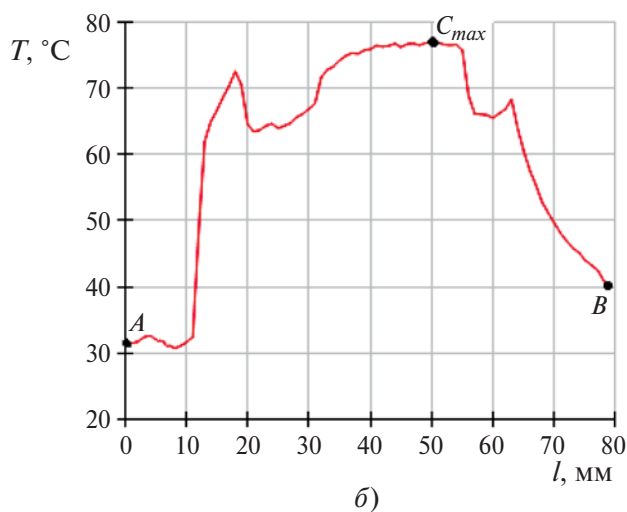
Таблица 2

№ источника света из табл. 1	Регрессионные уравнения зависимости		
	потребляемой мощности от отклонений напряжения	светового потока от отклонений напряжения	световой отдачи от отклонений напряжения
1	$P = 1,0728K_U - 0,0898$ $R^2 = 0,9567$	$F = 0,7985K_U + 0,1958$ $R^2 = 0,9861$	$H = -0,2582K_U + 1,2681$ $R^2 = 0,7445$
2	$P = 0,8823K_U + 0,1177$ $R^2 = 0,9928$	$F = 1,0225K_U - 0,0339$ $R^2 = 0,9774$	$H = -0,1781K_U + 1,1933$ $R^2 = 0,6117$
3	$P = 0,84K_U + 0,1562$ $R^2 = 0,9894$	$F = 1,0839K_U - 0,0911$ $R^2 = 0,983$	$H = -0,109K_U + 1,1318$ $R^2 = 0,6774$
4	$P = 1,219K_U - 0,2488$ $R^2 = 0,9699$	$F = 0,8835K_U + 0,1034$ $R^2 = 0,9882$	$H = -0,387K_U + 1,4088$ $R^2 = 0,6925$
5	$P = 0,633K_U + 0,3561$ $R^2 = 0,9784$	$F = 0,5542K_U + 0,4343$ $R^2 = 0,9636$	$H = -0,1035K_U + 1,1047$ $R^2 = 0,5564$
6	$P = 2,9522K_U - 1,9988$ $R^2 = 0,9828$	$F = 1,3669K_U - 0,4359$ $R^2 = 0,7658$	$H = -1,8363K_U + 2,864$ $R^2 = 0,9884$
7	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
8	$P = 2,3292K_U - 1,3599$ $R^2 = 0,9703$	$F = 0,9246K_U + 0,0558$ $R^2 = 0,8706$	$H = -1,528K_U + 2,565$ $R^2 = 0,969$
9	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
10	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
11	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
12	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
13	$P = 2,9946K_U - 1,9845$ $R^2 = 0,9925$	$F = 2,4342K_U - 1,4766$ $R^2 = 0,985$	$H = -0,4678K_U + 1,4271$ $R^2 = 0,6214$
14	$P = 1,2984K_U - 0,3236$ $R^2 = 0,9746$	$F = 0,9449K_U + 0,084$ $R^2 = 0,9721$	$H = -0,495K_U + 1,5565$ $R^2 = 0,5776$
15	$P = 0,7772K_U + 0,2182$ $R^2 = 0,9322$	$F = 0,9834K_U + 0,0265$ $R^2 = 0,982$	$H = -0,2089K_U + 1,2099$ $R^2 = 0,5324$
16	$P = 1,4284K_U - 0,4088$ $R^2 = 0,9798$	$F = 0,9491K_U + 0,0416$ $R^2 = 0,9929$	$H = -0,4472K_U + 1,4243$ $R^2 = 0,8396$
17	$P = 0,5687K_U + 0,4313$ $R^2 = 1$	$F = 0,308K_U + 0,6897$ $R^2 = 0,9932$	$H = -0,2608K_U + 1,2597$ $R^2 = 0,9872$
18	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
19	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
20	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
21	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
22	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
23	$P = 1,8826K_U - 0,8391$ $R^2 = 0,984$	$F = 1,7003K_U - 0,7063$ $R^2 = 0,9938$	$H = -0,2856K_U + 1,2555$ $R^2 = 0,6932$
24	$P = 2,0057K_U - 1,004$ $R^2 = 0,9957$	$F = 1,498K_U - 0,5158$ $R^2 = 0,9866$	$H = -0,4681K_U + 1,4563$ $R^2 = 0,8899$
25	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$
26	$P = \text{const}$	$F = \text{const}$	$H = \text{const}$

Примечание: R^2 — коэффициент детерминации.

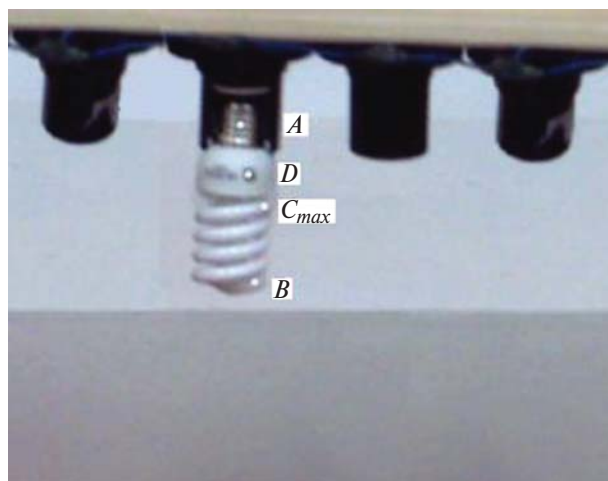


а)

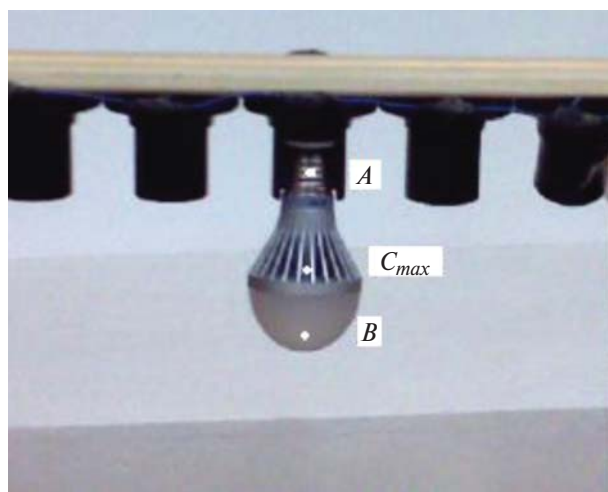


б)

Рис. 2



а)



б)

Рис. 3

висимости для КЛЛ фирмы “Nakai”, а на рис. 2, б — для СДЛ фирмы “Navigator”. Точки *A*, *D*, C_{max} и *B* на кривых рис. 2 соответствуют точкам на рис. 3, а — для КЛЛ и на рис. 3, б — для СДЛ. Точка *D* на рис. 3, а соответствует месту расположения в лампе пускорегулирующей аппаратуры, а на

рис. 3, б это место совпадает с точкой C_{max} . В табл. 3 и 4 приведены результаты измерения температуры нагрева различных КЛЛ и СДЛ в точках *A*, *D*, C_{max} и *B* при расположении ламп цоколем вверх (I), цоколем вниз (II) и при горизонтальном положении ламп (III). Максимальная температура КЛЛ дости-

Таблица 3

Точки измерения температуры (рис. 3, а)	Температура нагрева КЛЛ, °С, при разном их расположении														
	Nakai 15 Вт			Navigator 13 Вт			Navigator 20 Вт			ASD Spiral-econom 20 Вт			Camelion 30 Вт		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
<i>A</i>	32,3	31,6	32,0	33,8	29,6	30,5	31,2	30,2	30,8	31	30	30,1	34,9	33,4	34,1
<i>D</i>	103,8	84,5	92,8	85,3	73,7	77,6	111	95,6	98,3	92,5	79,7	81,1	102,1	93,5	95,3
C_{max}	130,8	105,1	109,4	120,4	96,8	110	154	147	153,1	124,4	108,8	111,1	157	149,8	152,7
<i>B</i>	63,8	98,5	77,4	72,9	82,0	80,5	83,4	90	85,7	90,8	98	90,9	103,9	104,5	104,0

Таблица 4

Точки измерения температуры (рис. 3, б)	Температура нагрева СДЛ, °С, при разном их расположении														
	Philips 4 Вт			Philips 5 Вт			Philips 8 Вт			Philips 13 Вт			Navigator 10 Вт		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
A	31	29,5	30,3	32,1	30,5	31,7	31,4	29,9	30,2	33,4	30,8	31,4	32,5	30,9	31,5
C_{max}	67,8	62,3	64,9	61,4	58,6	58,8	76,1	72,1	75,7	75,3	71,1	71,9	77,0	75,5	76,3
B	38,4	40,3	40,1	40	42,0	40,7	42,1	48,7	44,1	40,4	46,6	42,2	41,3	51,5	47,9

гается за 20 мин, а СДЛ — за 40 мин после их включения.

Проведенное исследование позволяет сделать следующий вывод. Поскольку температура нагрева ламп КЛЛ в точке D, где расположена пускорегулирующая аппаратура, превышает 70 °С, вызывают сомнение сроки их службы, указываемые в паспортных данных. Для подтверждения этого был проведен эксперимент по определению срока службы КЛЛ фирмы “Navigator” мощностью 20 Вт. Лампы устанавливали в полузакрытом стеклянном плафоне цоколем вверх. При ежедневном горении в течение 4 ч одна лампа перестала светиться через 240 ч, а другая — через 120 ч.

В табл. 5 приведены измеренные потребляемые мощности КЛЛ и СДЛ при напряжении 220 В, а также их отклонения от паспортных значений. Как видно, паспортные мощности в основном завышены: для ламп КЛЛ — на 20 %, а для СДЛ — на 36 %.

Выводы

1. Полученные регрессионные уравнения зависимостей потребляемой мощности, светового потока и световой отдачи газоразрядных и светодиодных ИС от отклонений напряжения позволяют выбирать средства регулирования напряжения и определять точки подключения систем освещения в схемах электроснабжения.

2. При отклонениях напряжения в пределах $\pm 15\%$ от $U_{ном}$ все газоразрядные и светодиодные источники света работают без сбоев.

3. Наибольшее влияние отклонений напряжения на потребляемую мощность, световой поток и световую отдачу наблюдается у КЛЛ и ЛЛ при наличии у них ЭМПРА.

4. У большинства СДЛ и светильников, оснащенных ЭПРА и ККМ, при отклонениях напряжения в пределах $\pm 15\%$ от $U_{ном}$ сохра-

Таблица 5

№ источника света из табл. 1	$P_{пасп}$, Вт	$P_{потр}$, Вт	ΔP , %
1	15	12	-20
2	13	11,7	-10
3	20	16,9	-15,5
4	20	16	-20
5	30	28	-6,67
6	72	83	+15,28
7	72	62,5	-13,19
8	72	85	+18,06
9	216	204	-5,56
10	120	109	-9,17
11	120	80	-33,3
12	100	108	+8
13	4	2,6	-35
14	5	4,5	-10
15	8	7,5	-6,25
16	9,5	8	-15,79
17	13	12,9	-0,77
18	5	5	0
19	10	10	0
20	25	26	+4
21	9	8	-11,1
22	10	9	-10
23	5	3,2	-36
24	7	5,1	-27,14
25	8	6	-25
26	8	8	0

няются постоянными потребляемая мощность, световой поток и световая отдача.

5. При замене ГРЛ и СДЛ и проектировании систем освещения необходимо учитывать, что паспортная мощность большинства из них завышена на 10 – 40 % по сравнению с реально потребляемой мощностью.

Список литературы

1. **Карпов Ф. Ф., Солдаткина Л. А.** Регулирование напряжения в электросетях промышленных предприятий. — М.: Энергия, 1970.
2. **Электромагнитная совместимость электроприемников промышленных предприятий / А. К. Шидловский, Б. П. Борисов, Г. Я. Вагин и др.** — Киев: Наукова думка, 1992.
3. **ГОСТ 32144–2013.** Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. **Клыков М. Е.** Электронные пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп и системы автоматического управления освещением. — М.: Знак, 2011.
5. **Энергоэффективное электрическое освещение:** Учеб. пособие / С. М. Гвоздев, Д. И. Панфилов, В. Д. Поляков и др. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
6. **Источники света.** Материалы фирмы OSRAM (www.osram.ru).
7. **К вопросу** о выборе нулевых проводников в городских электрических сетях / Г. Я. Вагин, А. А. Севостьянов, Е. Б. Солнцев, П. В. Терентьев. — Промышленная энергетика, 2014, № 2.
8. **Шуберт Ф.** Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. — М.: Физматгиз, 2008.
9. **ГОСТ Р 54350–2011.** Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний.
10. **Рекомендации МКО 84:1989.** Измерение светового потока.
11. **Рекомендации МКО 127:2007.** Измерения светодиодов.
12. **Федеральный закон** от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ “Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”.
13. **Кокрен У.** Методы выборочного исследования / Пер. с англ. И. М. Сони́на. — М.: Статистика, 1976.

terentyevpv@inbox.ru