

# Анализ светотехнических параметров светорегулируемых аналогов ламп накаливания

П. ТАБАКА<sup>1</sup>

Лодзинский технический университет, Лодзь, Польша

## Аннотация

Даже до введения в действие запрета на лампы накаливания на рынок поступило большое количество разнообразных ламп их прямой замены и продолжает поступать. В статье представлены результаты лабораторных исследований, демонстрирующие зависимость изменений фотометрических и колориметрических параметров от уровня светорегулирования подходящих для этих целей ламп прямой замены ламп накаливания. Кроме того, была исследована традиционная лампа накаливания, что позволило ответить на вопрос, насколько изменения фотометрических и колориметрических параметров энергосберегающих ламп согласуются с изменениями параметров ламп накаливания.

**Ключевые слова:** источник света, светорегулятор, спектр излучения, коррелированная цветовая температура, индекс цветопередачи, световой поток.

## Введение

Из-за постепенного изъятия с рынка традиционных ламп накаливания (ЛН), потребителям пришлось заменять выходящие из строя ЛН на их энергосберегающие аналоги. Предлагается широкий спектр подобных аналогов, а именно: светодиодные лампы (СДЛ), галогенные лампы накаливания (ГЛН) и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). К сожалению, очень немногие из них (не считая низковольтных ГЛН) годятся для их светорегулирования. Описанию параметров ламп прямой замены посвящено немало публикаций [1–3, 5, 9–16]. Однако если говорить об источниках света (ИС), предназначенных для работы с регуляторами светового потока, то им посвящено довольно небольшое количество

публикаций. Причиной этого может быть то обстоятельство, что такие ИС не нашли широкого распространения в быту, так как их цена в три или даже в четыре раза выше, чем у обычных энергосберегающих аналогов ЛН.

## Предмет и область исследований

Исследования проводились применительно к ЛН мощностью 60 Вт и её аналогам: ГЛН, КЛЛ и СДЛ. Общая информация об обследованных ИС (рис. 1) приведена в табл. 1.

По данным производителей, выбранные ГЛН и СДЛ могут считаться прямыми аналогами ЛН мощностью 60 Вт (если учитывать только их световые потоки), а КЛЛ со встроенным ПРА эквивалентна ЛН мощностью 100 Вт. Даже несмотря на то, что ассортимент типичных аналогов ЛН

очень обширен, только некоторые производители предлагают их регулируемые варианты. Следует подчеркнуть, что если говорить о нерегулируемых КЛЛ и СДЛ, то предлагаемый набор этих ИС охватывает практически весь диапазон нормируемых значений мощности. В случае регулируемых ИС аналоги ЛН имеются только для нескольких значений мощности, а именно для 60 и 100 Вт. Ожидается, что регулировка светового потока не предназначенных для этого ИС существенно скажется на других их параметрах. В этой статье анализируются фотометрические и колориметрические параметры регулируемых ИС. Для ответа на вопрос, насколько изменения этих параметров совпадают с изменениями соответствующих параметров ЛН, был проведён целый ряд измерений.

Спектры излучения в диапазоне 380–780 нм измерялись (с интервалом в 1 нм) при пяти уровнях освещённости от ИС, устанавливаемых посредством тиристорного светорегулятора (так называемого тиристорного диммера). На основе результатов этих измерений были рассчитаны координаты цветности, коррелированная цветовая температура  $T_c$  и общий индекс цветопередачи  $R_a$ . К ним добавились результаты соответствующих измерений силы света.



Рис. 1. Обследованные источники света

Таблица 1

**Технические параметры (напряжение питания  $U$ , мощность  $P$ , световой поток  $\Phi$ , срок службы  $\tau$  и класс энергоэффективности КЭ) предоставленные производителями источников света**

	$U$ , В	$P$ , Вт	$\Phi$ , лм	$\tau$ , ч	КЭ	Диапазон светорегулирования, %
ЛН	230	60	710	1000	Е	×
ГЛН	230	42	630	2000	С	×
КЛЛ	220–240	20	1300	16000	А	2–100
СДЛ	220–240	12	810	25000	А	100

× – информация отсутствует

<sup>1</sup> E-mail: przemyslaw.tabaka@wp.pl  
Перевод с англ. Е.И. Розовского

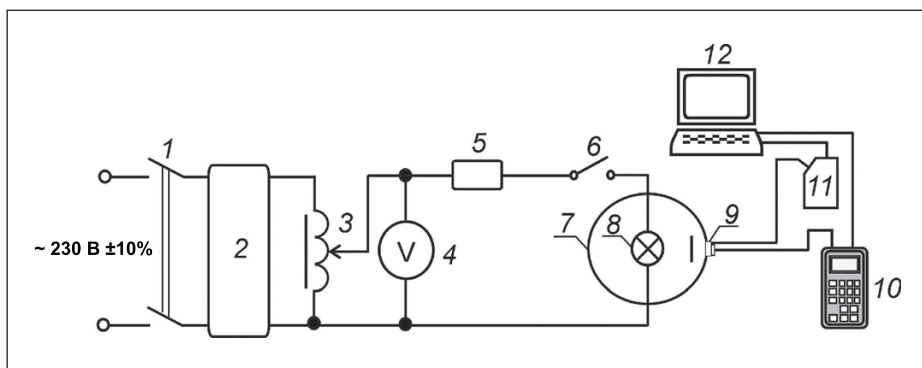


Рис. 2. Схема измерительной установки: 1, 6 – сетевые выключатели; 2 – стабилизатор напряжения; 3 – автотрансформатор; 4 – цифровой вольтметр; 5 – регулятор светового потока; 7 – интегрирующая сфера; 8 – обследуемый источник света; 9 – отверстие; 10 – устройство управления люксметра; 11 – спектрометр; 12 – персональный компьютер

Производители обследуемых КЛЛ и СДЛ утверждали, что они могут работать со светорегуляторами всех типов. Поэтому при измерениях относительных значений светового потока использовались два способа светорегулирования, а именно: с регулированием угла отсечки тока – посредством тиристорного светорегулятора; с изменением амплитуды напряжения – с помощью автотрансформатора.

### Измерительная установка и методика измерений

Перед началом измерений ИС, в соответствии с нормами [5], отжигались в течение 100 ч при номинальном напряжении.

Питающее напряжение,  $230\text{ В} \pm 10\%$ , подавалось через выключатель на стабилизатор напряжения, обеспечивающий постоянство действующего значения напряжения (рис. 2). Затем напряжение регулировалось ав-

тотрансформатором и через регулятор светового потока и выключатель подавалось на обследуемый ИС, помещённый в интегрирующую сферу. В отверстии последней располагались головка люксметра и оптическое волокно (подсоединённое к спектрометру). Все результаты измерений поступали в компьютер, где сохранялись на жёстком диске для последующего анализа.

При проведении испытаний все обследуемые ИС устанавливались вертикально цоколем вверх. Лаборатория имела систему кондиционирования воздуха, температура внутри лаборатории поддерживалась равной  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

Пространственное светораспределение каждого ИС определялось хорошо известным гониофотометрическим методом.

Силы света обследуемых ИС определялись по закону обратного квадрата расстояния по результатам из-

мерений освещённости на постоянном расстоянии в 8 м. Во время испытаний приёмник излучения оставался фиксированным. ИС (закреплённый на подвижной руке гониофотометра) поворачивался и наклонялся относительно двух перпендикулярных осей. Перед проведением измерений световой центр лампы совмещался с точкой пересечения двух поворотных осей (то есть с центром вращения).

Так как производители не указали рекомендуемые рабочие положения ИС, то считалось, что они не влияют на результаты испытаний.

### Относительное изменение светового потока

Измерение параметров ЛН и трёх её аналогов, работающих с регуляторами светового потока, проводилось для выявления влияния уровня светорегулирования на световой поток ИС. Так как разным лампам соответствовали разные значения светового потока, то изменения последних выражались в относительных (безразмерных) единицах, нормализованных относительно значений, полученных при максимальном уровне светорегулирования. Если для регулирования светового потока использовался автотрансформатор, то максимальный уровень света соответствовал напряжению на выходе автотрансформатора 230 В. Результаты измерений, проводившихся с использованием двух способов регулирования светового потока, представлены на рис. 3 и 4.

В случаях КЛЛ и СДЛ изменения светового потока наблюдались сра-

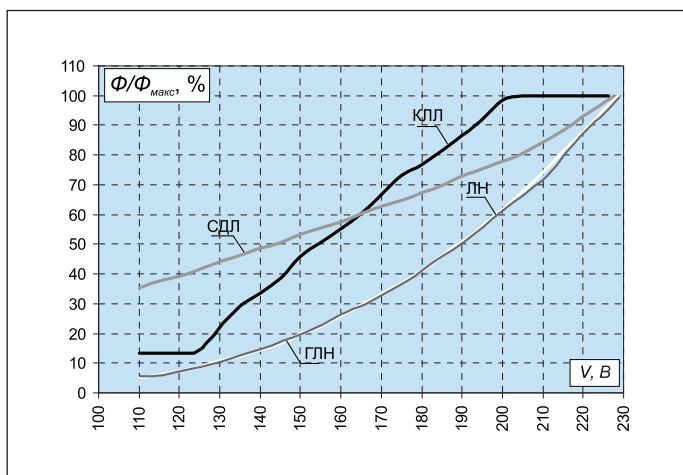


Рис. 3. Относительные изменения светового потока обследуемых источников света при регулировании напряжения с помощью тиристорного светорегулятора

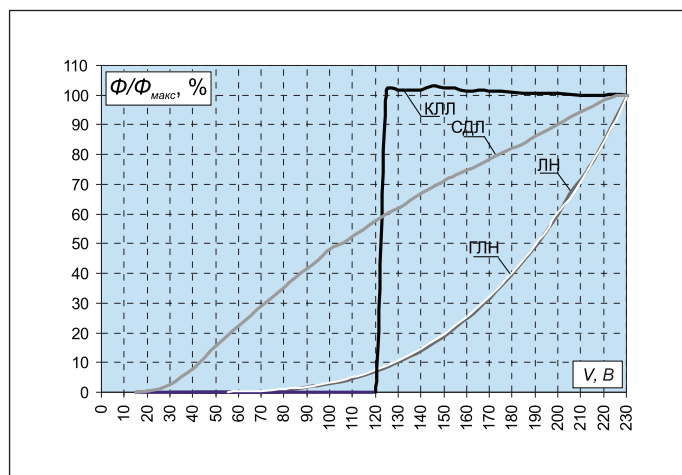


Рис. 4. Относительные изменения светового потока обследуемых источников света при регулировании напряжения с помощью автотрансформатора

зу после их подключения к источнику питания, даже до начала какого-либо регулирования светового потока. Это позволило определить время, требуемое для его стабилизации. Относительные изменения светового потока КЛЛ и СДЛ после подключения их к источнику питания показаны на рис. 5. Исходя из наблюдавшихся изменений световых потоков, время стабилизации было принято равным 1 ч.

Затем напряжение постепенно уменьшали (с шагом  $10 \pm 0,2$  В). Было замечено, что (в случаях КЛЛ и СДЛ) после каждого уменьшения напряжения на 10 В световой поток стабилизировался через 6–7 мин. Исходя из этого, 10-минутная задержка была признана достаточной для проведения измерений светового потока.

### Пространственное светораспределение

Общеизвестно, что пространственное распределение силы света зависит от излучающей поверхности источника света. В случае ЛН это может быть нить накала, а в случае ЛЛ – разрядная трубка. Если рассматривать полупроводниковые ИС, то на распределение силы света влияет используемая оптическая система. Так как в настоящее время единичные СД – мало мощные ИС, то на практике используют большее количество СД. Обычно их размещают на единой поверхности. И такое решение использовалось в обследованной СДЛ. Кроме того, производитель снабдил этот ИС молочным полусферическим рассеивателем, играющем роль вторичной оптической системы. Более подробно возможности формирования пространственного светораспределения СДЛ описаны в [6].

Разные формы светоизлучающих поверхностей ИС приводят к разному пространственному светораспределению. При этом представленные, на рис. 6, в полярных координатах КСС (измеренные с шагом  $5^\circ$ ) были приведены к полному световому потоку 1000 лм и получены при питании исследуемого ИС от сети с номинальным напряжением 230 В. В случае КЛЛ измерения производились ещё один раз после подключения тиристорного светорегулятора. Посредством светорегулятора напряжение на лампе было установлено равным

Рис. 5. Относительные изменения светового потока аналогов ЛН после подключения их к источнику питания с номинальным действующим (среднеквадратичным) напряжением 230 В

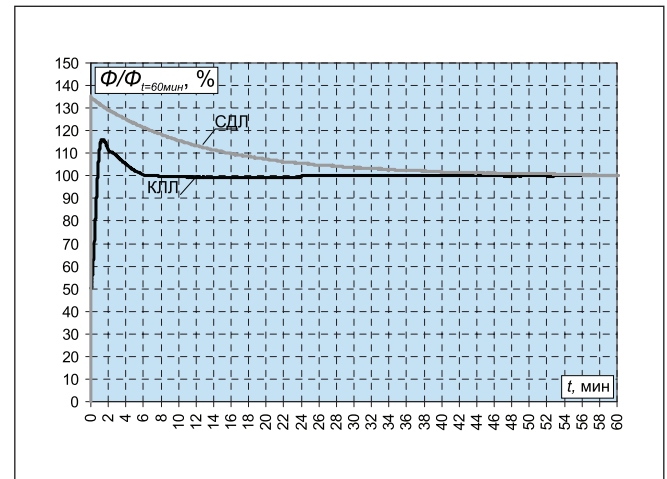
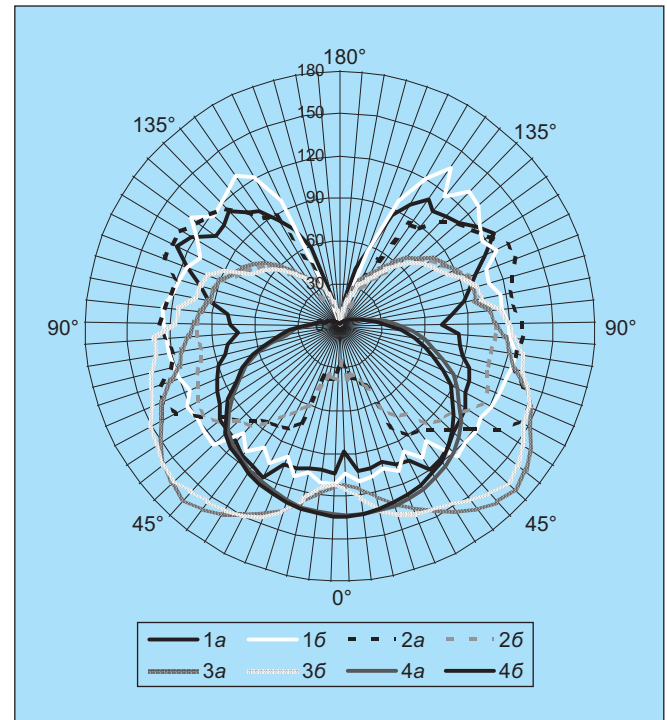


Рис. 6. Кривые силы света обследованных источников света в двух перпендикулярных друг другу плоскостях: а – С0-С180, б – С90-С270: 1 – ЛН, 2 – СЛН, 3 – КЛЛ, 4 – СДЛ



143 В (что эквивалентно половинному световому потоку). Учитывая, что КСС оставались практически неизменными (за исключением масштаба), подобные измерения остальных ИС не производились.

### Изменение спектров излучения

Спектры излучения определялись при следующих значениях светового потока, в %: 100 (максимальное значение), 75, 50, 25 и минимальное значение (разное у разных ИС).

Измеренные спектры излучения обследуемых ИС послужили основой для последующих расчётов значений координат цветности  $x, y$  (МКО 1931),  $T_u$  и  $R_a$ . Результаты приведены в табл. 2.

Для определения того, насколько полученные данные отличаются от имеющих место в случае ЛН, в табл. 2 были добавлены отклонения  $x, y, T_u$  и  $R_a$ :  $\Delta x$  и  $\Delta y, \Delta T_u$  и  $\Delta R_a$  соответственно.

Так как ЛН и их энергосберегающие аналоги (КЛЛ, СДЛ) генерируют свет по-разному, то их такие параметры, как  $T_u$  и  $R_a$ , должны быть разными. Однако для оценки степени подобия изменений этих величин (при регулировании светового потока) у ламп-аналогов и ЛН представлялось разумным представить колориметрические параметры в относительных единицах измерения (рис. 7 и 8).

Относительные изменения колориметрических параметров при изменении уровня светорегулирования

Сравнение координат цветности  $x, y$  (МКО 1931), коррелированной цветовой температуры  $T_c$  и общего индекса цветопередачи  $R_a$  при регулировании световых потоков обследованных источников света с помощью тиристорного светорегулятора

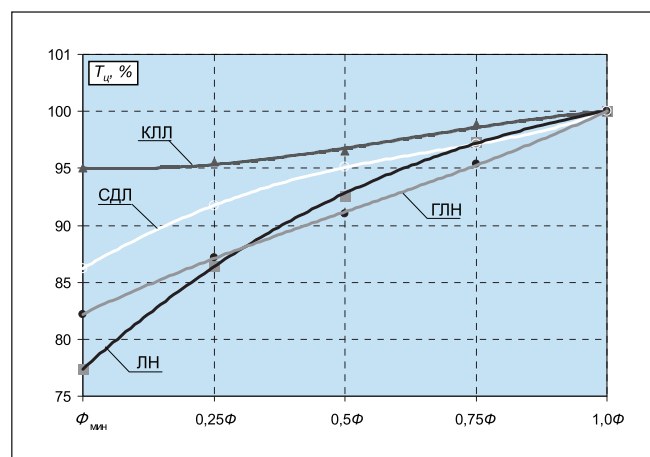
	$x$	$y$	$\Delta x$	$\Delta y$	$T_c, K$	$\Delta T_c, \%$	$R_a$	$\Delta R_a, \%$
Максимальное значение светового потока ( $1,0 \cdot \Phi$ )								
ЛН	0,4533	0,4076	-	-	2770	-	99,9	-
ГЛН	0,4442	0,4044	0,0091	0,0032	2918	5,3	99,3	-0,6
КЛЛ	0,4423	0,3948	0,0110	0,0128	2836	2,4	84,0	-15,5
СДЛ	0,4359	0,4625	0,0174	-0,0549	3437	24,1	74,9	-24,6
75% от максимального значения светового потока ( $0,75 \cdot \Phi$ )								
ЛН	0,4592	0,4088	-	-	2696	-	99,3	-
ГЛН	0,4521	0,4069	0,0071	0,0019	2783	3,2	98,8	-0,5
КЛЛ	0,4471	0,4001	0,0121	0,0087	2803	4,0	83,7	-15,7
СДЛ	0,4409	0,4596	0,0183	-0,0508	3338	23,8	73,1	-26,4
50% от максимального значения светового потока ( $0,5 \cdot \Phi$ )								
ЛН	0,4698	0,4105	-	-	2565	-	98,9	-
ГЛН	0,4618	0,4084	0,0080	0,0021	2656	3,5	98,2	-0,7
КЛЛ	0,4542	0,4049	0,0156	0,0056	2736	6,7	82,0	-17,1
СДЛ	0,4453	0,5936	0,0245	-0,1831	3268	27,4	72,0	-27,2
25% от максимального значения светового потока ( $0,25 \cdot \Phi$ )								
ЛН	0,4843	0,4105	-	-	2396	-	98,1	-
ГЛН	0,4712	0,4099	0,0131	0,0006	2544	6,2	97,9	-0,9
КЛЛ	0,4562	0,3948	0,0281	0,0157	2711	13,1	81,5	-20,3
СДЛ	0,4516	0,4564	0,0324	-0,0459	3153	31,6	71,0	-28,1
Минимальное значение светового потока ( $\Phi_{\min}$ )								
ЛН	0,5053	0,4060	-	-	2142	-	94,1	-
ГЛН	0,4834	0,4101	0,0219	0,0499	2398	10,7	93,8	-1,0
КЛЛ	0,4381	0,3711	0,0672	0,0349	2695	20,5	79,1	-19,0
СДЛ	0,4612	0,4489	0,0441	-0,0429	2964	38,4	70,0	-34,0

от максимального до минимального приведены в табл. 3.

### Изменение световой отдачи

Потребности современной осветительной техники не сводятся к одной лишь возможности получения достаточно больших световых потоков ИС. Важную роль играют и экономические показатели, которые зависят от световой отдачи используемого ИС. Световая отдача представляет собой параметр, информирующий нас об эффективности генерации видимого излучения ИС (эффективности преобразования электрической энергии). Очевидно, что обследованные ИС имеют разные световые отдачи. Тем не менее, по мнению автора,

Рис. 7. Зависимости коррелированной цветовой температуры  $T_c$  от светового потока  $\Phi$



имело смысл проанализировать изменение этого параметра при светорегулировании. Для ответа на вопрос «является ли более тусклый свет бо-

лее экономичным?» к изображённой на рис. 2 системе измерений был добавлен анализатор мощности, и было проведено измерение активной мощ-

**Максимальные относительные изменения колориметрических параметров при изменении светового потока обследованных ламп от максимума до минимума**

Источник света	ЛН	ГЛН	КЛЛ	СДЛ
$\Delta T_c, \%$	22,7	17,8	4,9	13,8
$\Delta R_a, \%$	5,8	5,5	5,8	6,5

**Изменение класса энергоэффективности при изменении уровня светорегулирования**

Источник света	ЛН		ГЛН		КЛЛ		СДЛ	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Постановление [4] / [8]								
$1,0 \cdot \Phi$	E	×	C	D	A	A	A	A
$0,75 \cdot \Phi$	F	×	E	×	A	A	A	A
$0,5 \cdot \Phi$	G	×	E	×	A	A	A	A+
$0,25 \cdot \Phi$	G	×	F	×	B	B	A	A+
$\Phi_{\min}$	G	×	G	×	B	B	A	A+

I – Директива 98/WE (уже не действует) [4]  
 II – Директива (UE) номер 874/2012 (действует с 01.09.2013) [8]  
 × – не удовлетворяет требованиям

ности, потребляемой помещённым в интегрирующую сферу ИС (рис. 9). Измерения производились при работе исследуемого ИС как с тиристорным светорегулятором, так и с автотрансформатором. Учитывая приведённые на рис. 3 и 4 результаты, в случае КЛЛ измерения производились только при работе с тиристорным светорегулятором.

Обычно производители ИС не приводят в техдокументации данных о световой отдаче. Однако, по директивам [4, 8], они обязаны указывать энергетическую эффективность предлагаемых изделий. Чем выше энергетический класс, тем более энергосберегающим является ИС, а к низким классам относятся менее энергоэффективные (потребляющие больше энергии) ИС. По [4], высший класс энергоэффективности – «А», а низший – «G», а по [8], высший класс – «A<sup>++</sup>», а низший – «E».

ИС относят к определённому классу энергоэффективности в соответствии с их показателем энергоэффективности [4, 8]. В табл. 4 для пяти уровней светового потока и всех ИС приведены классы энергоэффективности, определённые в соответствии с прежней [4] и действующей [8] директивами.

Очевидно, класс энергоэффективности следует определять соотношением к определённому количеству ИС (минимум двадцати одного типа и от одного производителя, работающих при номинальном напряжении источника питания).

Так что приведённые в табл. 4 классы энергоэффективности следует рассматривать как примеры, демонстри-

рующие влияние уровня светорегулирования на энергетические классы единичных ИС разных типов. Приведённые в табл. 4 классы энергоэффективности обследованных ИС относятся к лампам, работающим с тиристорным светорегулятором.

### Заключение

На основе результатов проведённых измерений можно сделать следующие выводы. ЛН имеют наиболее

широкий диапазон уровней регулирования светового потока независимо от типа используемого светорегулятора. Что касается КЛЛ и СДЛ, то возможности их светорегулирования существенно зависят от типа используемого регулятора светового потока. С помощью тиристорного светорегулятора световой поток КЛЛ может снижаться примерно на 87%, а световой поток СДЛ – примерно на 64%. После замены тиристорного светорегулятора на автотрансформатор с ди-

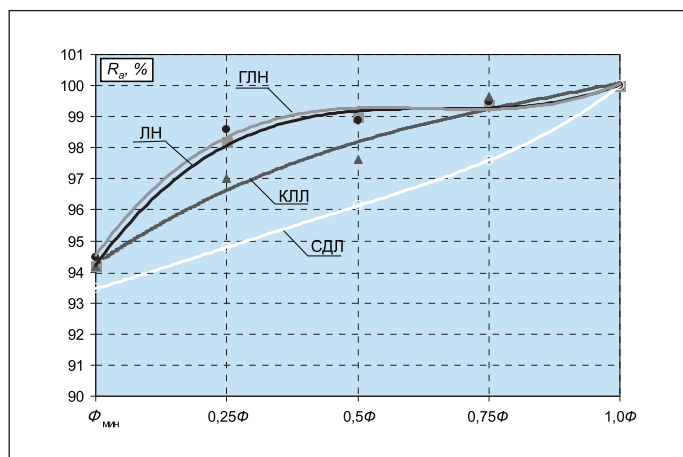


Рис. 8. Зависимости общего индекса цветопередачи  $R_a$  от светового потока  $\Phi$

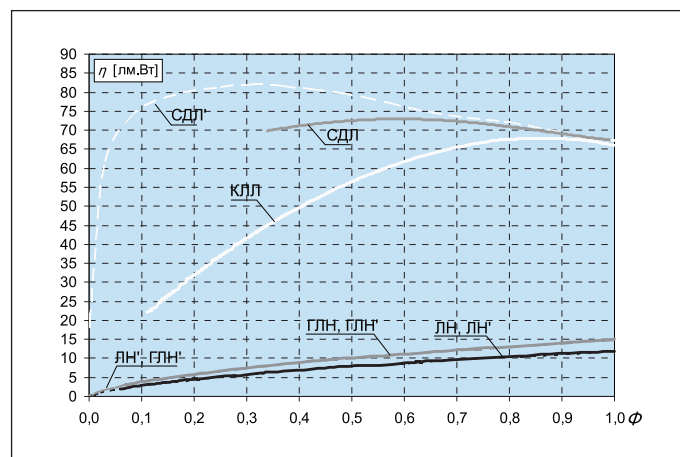


Рис. 9. Изменения световой отдачи при измерениях светового потока источников света. Кривые «ЛН», «ГЛН» и «СДЛ» соответствуют работе с автотрансформатором

апазоном выходного напряжения 125–230 В наблюдалось незначительное (примерно на 2–3%) повышение светового потока КЛЛ. Снижение напряжения питания ниже 125 В приводило к исчезновению излучения. Поэтому можно считать, что автотрансформатор не подходит для регулирования светового потока КЛЛ. Что касается СДЛ, то применение автотрансформатора в качестве светорегулятора приводит к реализации всего возможного диапазона уровней светового потока (от 0 до 100%).

Светораспределения обследованных ламп существенно отличны друг от друга. ГЛН меньше всего излучает в нижнюю полусферу, а СДЛ излучает в основном в полупространство (*half-spatial light*). При анализе светораспределения СДЛ возникает вопрос, можно ли этот ИС отнести к лампам направленного света. Для ответа на него, в соответствии с постановлением Еврокомиссии [7], следует определить долю светового потока в пределах телесного угла  $\pi$  ср, соответствующего конусу с углом при вершине  $120^\circ$ .

Для этого были проведены простые измерения, на основе результатов которых было установлено, что световой поток в пределах вышеуказанного телесного угла составляет 62% от полного светового потока этого ИС. Поэтому, учитывая, что доля полного светового потока в пределах этого телесного угла меньше 80%, получаем, что, в соответствии с документом [7], этот ИС является лампой ненаправленного света. Но несмотря на то, что СДЛ относят к той же категории, что и ЛН (лампы ненаправленного света), эти две лампы светят по-разному.

Ещё одним параметром, описывающим качество излучаемого света, служит  $R_a$ . При уменьшении светового потока обследованных ИС наблюдалось некоторое снижение  $R_a$ . В первом приближении можно сказать, что это снижение было одного порядка у всех этих ИС.

При уменьшении светового потока снижалась и ордината графика спектра излучения. Так как в пределах видимой области спектра степень этого изменения непостоянна, то происходит и изменение  $T_u$ . В случае ЛН максимальный спад  $T_u$  составил 20%, тогда как у её энергосберегающих аналогов (то есть у ИС, относящихся

к наивысшему классу энергоэффективности) он был меньше.

Суммируя вышесказанное, можно заключить, что ГЛН можно рассматривать как прямой аналог типичной ЛН, так как у ГЛН такой же диапазон светорегулирования. Сходны и их колориметрические параметры: при регулировании светового потока их изменения были аналогичными.

Говоря о светораспределении каждого из рассмотренных ИС, следует учитывать, что соответствующие данные относятся к лампам, вставленным в патрон при отсутствии каких-либо экранов. На практике такое встречается крайне редко. Обычно ИС, вставленные в патроны, часто окружены, например, рассеивающими экранами. Это меняет светораспределение, что не обязательно плохо.

С потребительской точки зрения наиболее важен предлагаемый диапазон регулирования светового потока. Утверждая, что их изделия допускает 100%-ное светорегулирование, производители подразумевают, что световой поток их лампы может снижаться до нуля (безотносительно к используемому светорегулятору). Однако результаты исследований, хотя и проведённых на одном ИС каждого вида, противоречат этому заявлению. По мнению автора, предоставляемая производителями информация о диапазоне светорегулирования должна сопровождаться примечанием «в зависимости от типа используемого светорегулятора».

Важным представляется и экономический фактор. Уменьшение светового потока как ЛН, так и КЛЛ снижает световую отдачу. В случае СДЛ ситуация совершенно другая: с уменьшением светового потока этого ИС световая отдача его может расти. Стоит обратить внимание на то, что на световую отдачу СДЛ сильно влияет используемый метод светорегулирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bommel, W.* Incandescent replacement lamps and Health // *Light & Engineering*.– 2011. – Vol. 19, No. 1. – P. 8–14.
2. *Czyżewski, D.* Zamienniki LED klasycznych żarówek // *Przegląd Elektrotechniczny*.– 2012. – No. 11a. – P. 123–127.
3. *Dulas, J.* Low energy-consuming compact fluorescent lamps // *Zeszyty Naukowe Elektryka. Politechnika Opolska*.– 2010. – Bulletin 64. – P. 35–36.
4. Dyrektywa Komisji 98/11/WE z dnia 27 stycznia 1998 r. wykonująca dyrektywę Rady 92/75/

EWG w zakresie etykietowania energii lamp gospodarstwa domowego.

5. *Janosik, E., Marzec, S., Łaciak, M., Nowicka, J., Zachara, J.* Porównawcza ocena wpływu światła żarówek i świetlówek kompaktowych na sprawność i komfort widzenia osób z różnych grup wiekowych // *Przegląd Elektrotechniczny*.– 2012. – No. 5a. – P. 177–180.

6. *Kelm, P.* Kształtowanie przestrzennego rozsyłu strumienia świetlnego przez matrycowe oprawy oświetleniowe ze źródłami elektroluminescencyjnymi // *Dissertation, Lodz University of Technology*. Łódź 2012

7. PN-EN 61000-3-2 KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA. part 3-2: Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznego prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika  $\leq 16$  A).

8. Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) nr 874/2012 z dnia 12 lipca 2012 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/30/UE w odniesieniu do etykietowania energetycznego lamp elektrycznych i opraw oświetleniowych.

9. *Sosnowski, J.* Niekonwencjonalne źródła promieniowania optycznego // *Prace Instytutu Elektrotechniki*.– 2010. – Bulletin 244. – P. 49–59.

10. *Ślęk, B.* Zmiercz żarówek – i co dalej? // *Przegląd Elektrotechniczny*.– 2009. – R83, No. 9. – P. 372–375.

11. *Tabaka, P.* Badania porównawcze zamienników tradycyjnych żarówek // *Przegląd Elektrotechniczny*.– 2010. – No. 9. – P. 315–321.

12. *Wiśniewski, A.* Świetłówki kompaktowe // *Przegląd Elektrotechniczny*.– 2007. – R83, No. 5. – P. 100–102.

13. *Wiśniewski, A.* Lamy LED – ocena podstawowych parametrów // *Przegląd Elektrotechniczny*.– 2012. – No. 5a. – P. 166–168.

14. *Zalesińska, M.* Analiza porównawcza parametrów fotometrycznych i elektrycznych bezkierunkowych źródeł światła do użytku domowego // *Prace Instytutu Elektrotechniki*.– 2012. – Bulletin 255. – P. 161–173.

15. *Turlej, Z., Żagan, W.* Używanie świetlówek kompaktowych // *Nowa Elektrotechnika*.– 2010. – No. 7–8. – P. 71–72.

16. *Żagan, W.* Warunki wycofywania żarówek z eksploatacji i ich racjonalnej wymiany na energooszczędne źródła światła w pomieszczeniach domowych // *Przegląd Elektrotechniczny*.– 2009. – R85, No. 5. – P. 100–104.



**Пржемыслав Табака (Przemysław Tabaka), Ph.D.**  
Окончил в 2002 г. факультет электротехники, электроники, вычислительной техники и систем

управления Лодзинского технического университета. Доцент Института электроэнергетики этого университета. Специалист по электрическим схемам светотехнических приборов. Член Польской ассоциации инженеров-электриков и Польской комиссии по освещению