

УДК 628.95

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ЛАМП ТИПА FL 36 W/765

Гусева Е.Д., Коваленко О.Ю.

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», Саранск, Россия (430000, Саранск, ГСП ул. Большевикская, 68), e-mail: dep-mail@adm.mrsu.ru

Для повышения световой отдачи была рассмотрена возможность повышения светового потока энергоэкономичных ламп типа FL36W/765 с диаметром колбы 26 мм. При этом должно обеспечиваться сохранение светового потока на том же уровне, что и для ламп с диаметром колбы 32 мм. Это обеспечивает повышение световой отдачи ламп и уменьшение расхода материалов. С этой целью в цехе по производству люминесцентных ламп на ГУП РМ «Лисма» были изготовлены экспериментальные образцы ламп типа FL36W/765 с использованием люминофорной суспензии двух типов с разным процентным соотношением люминофоров. К галофосфатному люминофору «дневной» цветности была произведена добавка галофосфатного люминофора «белой» цветности. В ходе работы был проведен анализ по различию светового потока опытных и контрольных образцов ламп. По результатам измерений светотехнических характеристик была проведена статистическая обработка данных. При анализе осуществлялся контроль координат цветности. Установлено, что значения координат цветности, с учетом доверительных интервалов, находятся вблизи границы допусков, но не превышают соответствующие граничные значения. В результате исследования получены значимые результаты при использовании критериальной оценки для сравнения средних значений и значений, полученных с помощью уравнения регрессии. Добавка галофосфатного люминофора «белой» цветности к галофосфатному люминофору «дневной» цветности увеличивает значения светового потока и обеспечивает повышение световой отдачи.

Ключевые слова: люминесцентная лампа, люминофорная смесь, световой поток, испытание, анализ.

ON THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE LUMINOUS FLUX OF ENERGY EFFICIENT LAMPS SUCH AS FL 36 W / 765

Guseva E.D., Kovalenko O.Y.

FGBOU VPO "Mordovia State University. N. P. Ogareva", Saransk, Russia (430000, Saransk, GSP st. Bolshevist, 68), e-mail: dep-mail@adm.mrsu.ru

To increase the light output was considered the possibility of increasing the luminous flux of energy efficient lamps such FL36W / 765 with bulb diameter 26 mm. This should be ensured lumen maintenance at the same level as the lamp bulb with a diameter of 32 mm. To this end, the workshop for the production of fluorescent lamps at SUE RM "Lisma" were fabricated experimental samples bulb type FL36W / 765 using a phosphor suspension of two types with different percentages of the phosphors. By halophosphate "day" was produced additive color halophosphate "white". providing power savings, as they have a capacity of at least 10% compared with conventional lamps. During the analysis was carried out by the difference of light flux control and experimental samples lamps. Was carried out statistical processing of data obtained in the central laboratory of the enterprise SUE RM "Lisma." In the analysis of the chromaticity coordinates were monitored. Chromaticity coordinates values, taking into account the confidence intervals are near the boundary of tolerances, but do not exceed the corresponding limit values. The study produced significant results when using a criteria evaluation to compare the mean values and the values obtained using regression equations. Additive halophosphate "white" color to halophosphate "day" color increases the light output and enhances the light output to the value of the order.

Keywords: fluorescent lamp phosphor mixture, luminous flux, testing, analysi.

Вопрос об увеличении светового потока и повышении световой отдачи люминесцентных ламп наиболее актуален на сегодняшний день, в связи с вступлением в силу Постановления Правительства РФ от 20 июля 2011 г. № 602 «Об утверждении

требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения».

На предприятии ГУП РМ «Лисма» освоен выпуск энергоэкономичных люминесцентных ламп в трубках диаметром 26 мм уменьшенной мощности. При этом для большинства типов ламп световой поток сохраняется на том же уровне, что и для ламп диаметром 32 мм. Это обеспечивает повышение световой отдачи ламп, уменьшение расхода материалов.

Однако для ламп с галофосфатным люминофором цветности «дневная» на данный момент, в условиях производства, световой поток для ламп типа FL 36 W/ 765 на 100 лм ниже, чем для ламп типа FL 40 W-32/765, и составляет 2400 лм. Задача повышения светового потока до значения 2500 лм является актуальной.

При создании люминесцентных ламп высокой эффективности используются различные методы их совершенствования, например, применение люминофоров, активизированных редкоземельными элементами. Однако это приводит к существенному удорожанию ламп. Существует метод, направленный на экономию расхода дорогостоящих люминофоров на 50 ÷ 60 % и снижение стоимости ламп, заключающийся в нанесении двухслойного покрытия. При этом на внутреннюю поверхность колбы наносится галофосфат кальция, активированный сурьмой и марганцем, типа ФЛ –580 –3500 – 2 на водорастворимом сополимере метилметакрилата и мекриловой кислоты, затем на первый слой наносится смесь люминофоров, активированных редкоземельными элементами [6]. Применение этого метода значительно снижает технологичность, приводит к удорожанию ламп. В связи с вышеизложенным, следует рассмотреть альтернативный метод совершенствования люминофоров энергоэкономичных ламп.

Цель исследования

Целью данного исследования является повышение энергоэффективности люминесцентных ламп при соблюдении параметров, регламентируемых соответствующим стандартом.

Материал исследования

В каталоге предприятия ГУП РМ «Лисма» указаны следующие значения основных параметров люминесцентных ламп мощностью 36 Вт в трубках-колбах диаметром 26 мм и ламп мощностью 40 Вт в трубках-колбах диаметром 32 мм (табл. 1).

Таблица 1

Значения основных параметров энергоэффективных люминесцентных ламп в каталоге ГУП РМ «Лисма»

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Цветовая Температура, К	Средняя продолжительность горения, ч
FL36W/635	36	2800	3500	1300

FL36W/765	36	2400	6500	1300
FL36W32/635	40	2800	3500	1100
FL36W32/765	40	2500	6500	1100

Из таблицы 1 видно, что лампы мощностью 36 Вт, имеют более высокий срок службы, чем лампы мощностью 40 Вт. Кроме того, для ламп типа FL36W/635 значение светового потока такое же, что и для FL40W-32/635. Однако для ламп типа FL36W/765 значение светового потока на 100 лм меньше, чем для FL36W-32/765. Поэтому в первом случае световая отдача энергоэффективных ламп выше почти на 8 лм/Вт, а во втором – только 4 лм/Вт.

Для повышения световой отдачи была рассмотрена возможность повышения светового потока ламп типа FL36W/765 до значения 2500 лм. С этой целью в цехе по производству люминесцентных ламп на ГУП РМ «Лисма» были изготовлены экспериментальные образцы ламп типа FL36W/765 с использованием люминофорной суспензии двух типов с разным процентным соотношением люминофоров, соблюдая технологию [3].

В производстве для ламп типа FL36W/635 используется галофосфатный люминофор ФЛ-580-3500-1, для ламп типа FL36W/765 - ФЛ-575-6500-3М-1. Для опытных образцов ламп с двухкомпонентной смесью люминофоров было предложено в качестве основы использовать люминофор ФЛ-575-6500-3М-1 и добавить к нему определенное количество люминофора ФЛ-580-3500-1. Процентное соотношение между двумя люминофорами смеси подбирались с таким расчетом, чтобы обеспечить желаемое увеличение светового потока ламп типа FL36W/765 с сохранением значения цветовой температуры 3500 К в пределах зоны допусков в соответствии с ГОСТ 6825-91. Были получены следующие результаты: контрольные образцы – 100 % Д, плотность 1540 кг/м³, вязкость 35 с; опытные образцы – 95 % Д+ 5 % Б, плотность 1570 кг/м³, вязкость 36 с, 97 % Д+ 3 % Б, плотность 1590 кг/м³, вязкость 38 с, 90 % Д + 10 % Б, плотность 1593 кг/м³, вязкость 37 с. Разбавить дистиллированной водой до рабочей плотности 1280 кг/м³ и вязкости 15 с [1].

На всех этапах изготовления экспериментальных образцов люминесцентных ламп типа FL36W/765 неизбежно возникали погрешности, учтенные при обработке данных, для достоверности результатов эксперимента [4].

Погрешность приборов, применяемых при измерении проверяемых параметров в Центральной заводской лаборатории, составила: фотоэлектрический колориметр УКЛ – 3, составными элементами которого являются вольтметр Э 545, амперметр М 3214, ФЭС: напряжение питания $\pm 0,1$ %, сила тока $\pm 0,1$ %, световой поток $\pm 5,0$ %, измерительные приборы не ниже класса 0,5, абсолютная погрешность измерений координат цветности $\pm 0,004$ % [2]. Общая инструментальная погрешность составит:

$$\Delta = \sqrt{\Delta U^2 + \Delta I^2 + \Delta \Phi^2} = 5,0 \% .$$

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного исследования были получены следующие значения светового потока. Далее приведены значения светового потока и координат цветности (табл. 2, 3) четырех партий ламп после 100 часов горения.

Таблица 2

Значение светового потока Φ , лм

№ п/п	Световой поток, Φ (лм)			
	Особенности изготовления			
	100 % Д	95 % Д +5 % Б	93 % Д +7 % Б	90 % Д +10 % Б
1	2518	2602	2488	2546
2	2492	2572	2479	2572
3	2459	2517	2520	2572
4	2459	2549	2520	2566
5	2518	2549	2514	2543
6	2503	2549	2511	2453
7	2462	2572	2520	2489
8	2506	2549	2511	2512

Таблица 3

Координаты цветности

№ п/п	Особенности изготовления							
	100 % Д		95 % Д +5 % Б		93 % Д +7 % Б		90 % Д +10 % Б	
	x	y	x	y	x	y	x	y
1	0,317	0,337	0,318	0,340	0,317	0,346	0,318	0,345
2	0,316	0,340	0,320	0,340	0,317	0,346	0,318	0,346
3	0,314	0,343	0,319	0,342	0,316	0,345	0,318	0,347
4	0,312	0,342	0,315	0,342	0,316	0,346	0,307	0,350
5	0,315	0,341	0,315	0,344	0,314	0,348	0,320	0,346
6	0,317	0,339	0,320	0,340	0,321	0,343	0,331	0,342
7	0,317	0,340	0,317	0,342	0,317	0,345	0,322	0,347
8	0,313	0,342	0,314	0,344	0,318	0,345	0,327	0,345

Проведен анализ выявления грубых промахов при малом числе параллельных измерений по критерию Романовского. Сомнительный результат отбрасывается, если (1):

$$|Y_{m+1} - Y_{\text{ф}}| \geq t' \cdot S_y,$$

(1)

где Y_{m+1} – сомнительный результат;

Y_{cp} – средневзвешенное значение отклика;

t' – критерий Романовского (табличное значение);

S_y – среднее квадратическое отклонение.

Расчетные данные не превышают критические, следовательно, не одно из значений не признается грубым промахом.

Проведен расчет статистических параметров значений светового потока для четырех выборок данных (табл. 4).

Таблица 4

Расчетные данные

Особенности изготовления	Среднее значение	СКО	Дисперсия	Дов. инт.	Верх. гран.	Нижн. гран.
	X_{icp}	S_i	σ			
100 % Д	2489,63	24,24	671,70	$\pm 26,81$	2539,48	2457,26
95 % Д +5 % Б	2557,38	23,26	618,55	$\pm 18,95$	2571,95	2534,04
93 % Д +7 % Б	2507,88	14,69	246,70	$\pm 14,82$	2529,57	2499,92
90 % Д +10 % Б	2531,63	40,56	1880,26	$\pm 41,10$	2572,56	2489,93

На данном этапе работы, можно говорить о тенденции увеличения светового потока и эффективности экспериментальных образцов, а также о необходимости продолжения расчетов.

При обработке наблюдений часто возникает необходимость сравнивать две или несколько выборочных дисперсий. Однородность дисперсий является необходимой предпосылкой большого количества статистических расчетов. Проверка на однородность дисперсий показала, что дисперсии однородны, следовательно, для сравнения двух средних арифметических используем критерий Стьюдента по формуле (2) :

$$t = \frac{|y_{1cp} - y_{2cp}| \cdot ((m_1 \cdot m_2) / ((m_1 + m_2) \cdot S_a^2))^{0,5}}{1}, \quad (2)$$

$$S_a^2 = \sum_{j=1}^n S_j^2 / n$$

где
(3)

$$t_{расч} = 1,25.$$

$$t_{кр} = 2,3. (v = n_1 + n_2 - 2)$$

$t_{расч} < t_{кр}$, следовательно, подтверждается однородность дисперсий.

Найдем доверительный интервал для среднего каждой группы по формуле (4):

$$\bar{X}_j \pm \frac{t_{N-1, \alpha} \cdot S_j}{\sqrt{N}} \quad (4)$$

Границы доверительных интервалов частично перекрываются.

Исходя из предположения, что зависимость светового потока ламп от процентного содержания галофосфатного люминофора «белой» цветности, линейная, т.е. описывается уравнением $Y = A + B X$, можно говорить о возможности проведения регрессионного анализа.

В результате проведения регрессионного анализа осуществляется оценка коэффициентов линии регрессии A и B с использованием наименьших квадратов. Реализация данного метода осуществляется с помощью статистических функций Microsoft Excel.

Для определения качества аппроксимации пользуются оценкой среднего квадратического отклонения (СКО) (5):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n Y_j^2 - A \sum_{j=1}^n Y_j - B \sum_{j=1}^n X_j Y_j}{n-2}} \quad (5)$$

Доверительный интервал для линии регрессии при $x = x_0$ для математического ожидания $Y E(Y|X_0) = A + BX_0$ вычисляется с помощью выражения (6):

$$A + BX_0 - t_{n-2; 1-\frac{\gamma}{2}} \left[\frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_j (X_j - \bar{X})^2} \right]^{\frac{1}{2}} S < \alpha + \beta X_0 < A + BX_0 + t_{n-2; 1-\frac{\gamma}{2}} \left[\frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_j (X_j - \bar{X})^2} \right]^{\frac{1}{2}} S, \quad (6)$$

где $t_{n-2; 1-\gamma/2}$ - 50% точка t -распределения Стьюдента с $(n-2)$ степенями свободы.

Уравнение регрессии имеет вид $Y = 2502,7 + 3,44 \cdot X$, где Y – значение светового потока, лм; X – добавка люминофора «белой» цветности, % (рис. 1).

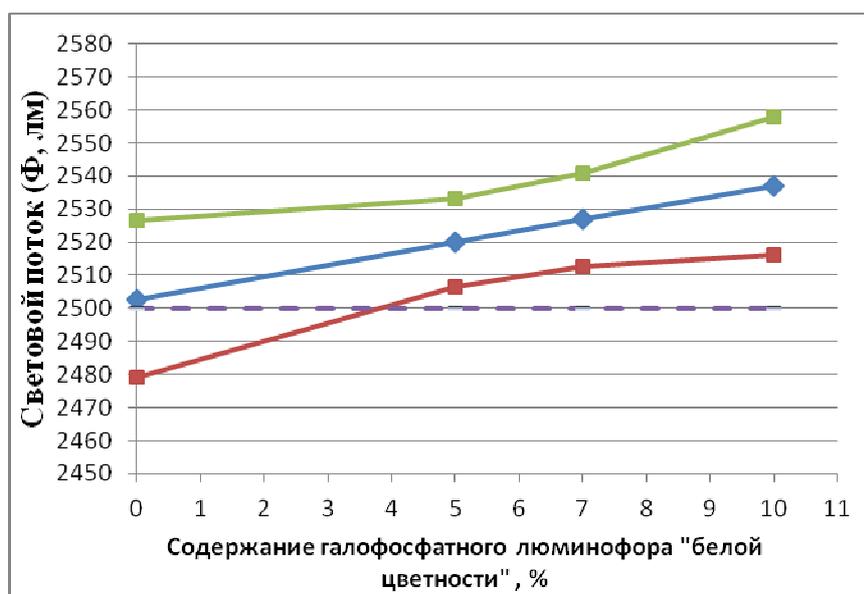


Рис. 1. Регрессионный анализ экспериментальных образцов

Анализируя график, приходим к заключению, что добавление 7 % галофосфатного люминофора ФЛ-580-3500-1 к 93% ФЛ-575-6500-3М-1, с учетом доверительных интервалов, дает увеличение светового потока ламп типа FL36W/765 2500 лм. Для партии 93 % Д +7 % Б, с вероятностью $P = 0,95$, получаем продукцию соответствующего качества.

Для контроля параметров рассеяния четырех партий были проведены измерения среднего квадратического отклонения для четырех партий, объем выборок составил по три лампы из каждой партии.

Измерения проводились в лаборатории «Центр коллективного пользования» (ЦКП) Светотехнического факультета ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва». С помощью автоматизированного комплекса, в состав которого входят интегрирующая сфера OL IS-7600, предназначенная для общего спектрального анализа различных ламп и источников света и соответствующее программное обеспечение. Различия СКО не превышают 30 %.

Также были проанализированы координаты цветности исследуемых экспериментальных образцов, значения координат цветности для двух выборок представлены в (табл. 5, табл. 6).

Таблица 5

Расчетные данные для координат цветности (x) с границами доверительного интервала $P = 0,95$

Особенности изготовления	Средн. знач.	СКО	Доверит. инт.	Верхн. гран.	Нижн. гран.
100 % Д	0,31	0,0023	0,00162	0,316	0,313
93% Д + 7 % Б	0,32	0,002	0,00164	0,318	0,315

Таблица 6

Расчетные данные для координат цветности (у) с границами доверительного интервала $P = 0,95$

Особенности изготовления	Средн. знач.	СКО	Доверит. инт.	Верхн. гран.	Нижн. гран.
100 % Д	0,35	0,02	0,019	0,37	0,33
93 % Д + 7 % Б	0,34	0,001	0,001	0,34	0,34

Значения координат цветности, с учетом доверительных интервалов, находятся вблизи границы допусков, но не превышают соответствующие граничные значения $x = 0,320$, $y = 0,40$. В результате исследования получены значимые результаты при использовании критериальной оценки для сравнения средних значений и значений, полученных с помощью уравнения регрессии. Добавка галофосфатного люминофора «белой» цветности к галофосфатному люминофору «дневной» цветности увеличивает значения светового потока и обеспечивает повышение световой отдачи до значения порядка 70 лм/Вт.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что на базе существующей технологии и при использовании двухкомпонентной смеси люминофоров ФЛ-575-6500-3М-1 и ФЛ-580-3500-1 в соответствии 93 % к 7 % возможно получение для ламп типа FL36W/765 значение светового потока 2500 лм. Это позволит повысить эффективность лампы, увеличить значение световой отдачи.

Применение двухкомпонентной смеси из галофосфатных люминофоров для люминесцентных ламп мощностью 36 Ватт обеспечивает увеличение светового потока, что позволит повысить время службы лампы и снизить затраты на электроэнергию.

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 60081 – 99. Лампы люминесцентные двухцокольные. Эксплуатационные требования.
2. Гусева Е. Д., Нестеркина Н. П., Коваленко О. Ю. Выявление погрешностей параметров экспериментальных образцов люминесцентных ламп FL 36 W/765. – Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сб. науч. тр. XI Междунар. науч.-техн. конф., Саранск, 3–4 декабря 2013 г. / редкол.: О. Е. Железникова (отв. ред) [и др.]. – Саранск, 2013.
3. Гусева Е. Д., Нестеркина Н. П., Коваленко О. Ю. Анализ качества технологического процесса люминесцентных ламп FL 36 W/765. – Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: сб. науч. тр. XI Междунар. науч.-

техн. конф., Саранск, 3–4 декабря 2013 г. / редкол.: О. Е. Железникова (отв. ред) [и др.]. – Саранск, 2013).

4. Орлов А. Л., Агаянц И. М. Планирование эксперимента и анализ данных. Методические указания к лабораторным работам. – М.: ИПЦ МИТХТ, 1998. – 143 с.

5. Люминесцентные лампы. Люминофоры и люминофорные покрытия / Э. В. Девярых, Ф. В. Дадонов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 344 с.

Рецензенты:

Корочков Ю. А., д.т.н., заведующий лабораторией газоразрядных ламп высокого давления ГУП Республики Мордовия «НИИИС им. Лодыгина», г. Саранск;

Панфилов С. А., д.т.н., заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск.