

Влияние температуры окружающего воздуха на цветовые характеристики люминесцентных ламп

П. ТАБАКА ¹

Лодзинский технический университет, Лодзь, Польша

тостоянок, остановок общественного транспорта, автобусных и железнодорожных перронов, вывесок и рекламных щитов. Но ЛЛ присущи особенности, отмеченные в литературе [1–4], и в первую очередь зависимость их светового потока от температуры окружающего воздуха (ТОВ). Однако в литературе отсутствует анализ зависимости коррелированной цвето-

Аннотация

Представлены результаты лабораторных измерений колориметрических характеристик ЛЛ разных типов и мощностей при изменении температуры окружающего воздуха от +25 до –25 °С с шагом 5 °С. На основе измеренных спектров излучения определялись значения коррелированной цветовой температуры и общего индекса цветопередачи. Измерения проводились на линейных ЛЛ мощностью 8, 18 и 36 Вт. Для лампы мощностью 18 Вт были рассмотрены различные цветности её излучения (640, 827, 840). Кроме того, были измерены одна линейная морозостойкая лампа цветности 840 и одна КЛЛ со встроенным обычным электромагнитным дросселем. Все линейные ЛЛ работали с обычными электромагнитными дроселями.

Ключевые слова: люминесцентная лампа, температура окружающего воздуха, коррелированная цветная температура, общий индекс цветопередачи.

1. Введение

ЛЛ входят в число наиболее популярных ламп НД. Они широко используются для внутреннего освещения офисов, конференц-залов и административных помещений, коридоров, школ, магазинов, универсамов, торговых центров, ресторанов, гостиниц, спортивных и развлекательных центров, галерей и музеев, больниц, врачебных кабинетов, залов ожидания, складов, производственных помещений (кухонь, ванных комнат, кладовых), гаражей. Кроме того, они используются в установках наружного освещения для освещения пешеходных объектов (например, подземных переходов), ав-

Таблица 1

Примеры составляющих трёхзначного международного кода, описывающего цвет излучения и общий индекс цветопередачи имеющихся на рынке линейных ЛЛ

Общий индекс цветопередачи (R_a)					
Позиция ② на рис. 1, а и 1, в	5	6	7	8	9
Значение	50–59	60–69	70–79	80–89	90–100
Коррелированная цветная температура (T_c)					
Позиция ③ на рис. 1, а и 1, в	27	30	35	40	50
Значение, К	2700	3000	3500	4000	5000
Позиция ④ на рис. 1, а и 1, в	54	60	65	80	
Значение, К	5400	6000	6500	8000	

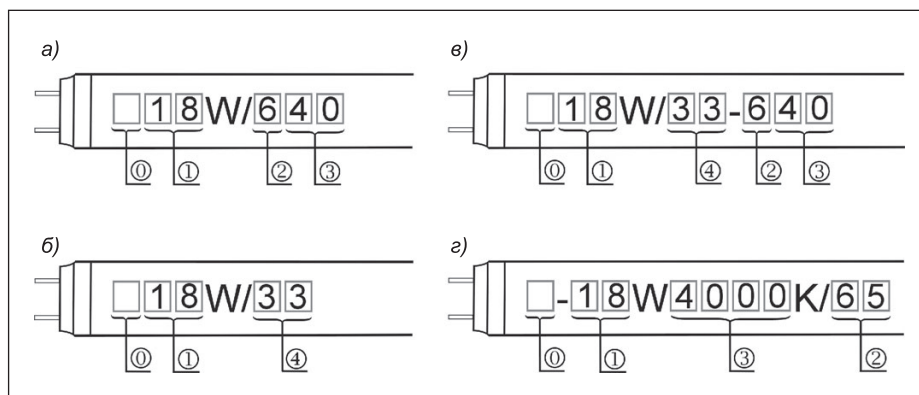


Рис. 1. Примеры разных способов обозначения цветовых характеристик линейных ЛЛ: а – международный, б – старый, в – старый, совмещённый с международным, г – индивидуальный, принятый одним из производителей. Позиции: 0 – обозначение ЛЛ, 1 – мощность лампы, 2 – общий индекс цветопередачи, 3 – коррелированная цветная температура, 4 – старое (двузначное) обозначение цвета излучения лампы

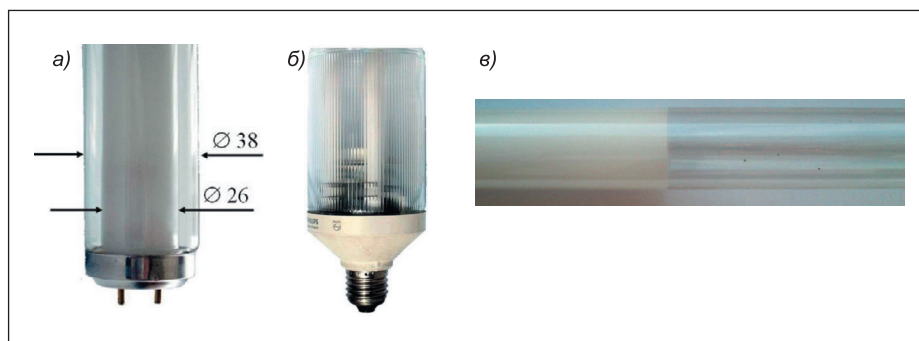


Рис. 2. Фотографии выбранных для проведения исследований источников света: а – часть морозостойкой ЛЛ, б – КЛЛ с призматическим рассеивателем, в – часть специальной лампы

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

вой температуры (T_u) этих источников света от ТОВ. В этой статье рассмотрено влияние ТОВ на цветовые характеристики ЛЛ.

2. Методы определения цветовых характеристик ЛЛ

Производители ЛЛ обычно указывают их цветовые характеристики с помощью трёхзначного кода, которому предшествует символическое обозначение лампы и информация о её мощности (рис. 1, а). Символическое обозначение лампы (одно- или двузначное) выбирается производителем. Первая цифра цветового кода (позиция 2 на рис. 1, а и 1, в) содержит информацию об общем индексе цветопередачи R_a , а две следующие цифры (позиция 3 на рис. 1, а и 1, в) содержат информацию о T_u . Эти символы являются стандартными и используются производителями для обозначения цветовых характеристик ЛЛ. Примеры трёхзначных обозначений цветовых характеристик имеющихся на рынке линейных ЛЛ приведены в табл. 1. Из-за того, что первая цифра кода отражает только диапазон, в котором находится R_a , для получения точного значения необходимо обращаться к каталогу.

Некоторые производители всё ещё пользуются старой системой обозначения цветовых характеристик ЛЛ (рис. 1, б).

В табл. 2 приведены наиболее распространённые обозначения цветовых характеристик и их международные аналоги.

В ряде случаев цветовые характеристики ЛЛ указываются двумя чис-

Примеры обозначений одного и того же цвета в старой и международной системах

Старая система *)	1)	25	30	20	-	10	11
	2)	25	29	33	35	54	-
	3)	125	129	133	135	154	
Международный стандарт		740	530	640	535	765	860
Старая система *)	1)	12	21	26	31	32	41
	3)	-	-	-	-	193	-
Международный стандарт		950	840	835	830	930	827

1) относится к источникам света компании *OSRAM*

2) относится к источникам света компаний *GE* и *PHILIPS*

3) относится к источникам света компании *SYLVANIA*

*) пример не содержит полный список

Таблица 3

Термины, используемые производителями для обозначения наиболее распространённых цветов источников света

Диапазон изменения цветовой температуры, К	Название цвета
2700 ÷ 3000	Тёпло-белый
3000 ÷ 4500	Белый
4000 ÷ 5500	Холодно-белый
5500 ÷ 6500	Дневной

лами, разделёнными дефисом (рис. 1, в). Первое число, стоящее перед дефисом, соответствует старой системе обозначения цвета, а второе – международной. Однако некоторые производители для указания характеристик своих ЛЛ пользуются собственными (индивидуальными) обозначениями (рис. 1, з).

Для обозначения наиболее распространённых цветностей излучения источников света производители часто используют термины «тёпло-белый», «белый», «холодно-белый» и «дневной». Такое описательное обозначение цвета очень удобно с точки зрения потребителей, не знакомых с применяемыми в светотехнической

Таблица 4

Общая информация об исследовавшихся ртутных лампах низкого давления

Лампа	Мощность лампы, Вт	Цвет	Диаметр трубки, мм	Длина трубки, мм	Обозначение
Линейная	8	840	16	288	1
Линейная	18	827	26	590	2
Линейная	18	640	26	590	3
Морозостойкая	18	840	26/38*	1125	4
Компактная	18	Тёпло-белый	-	-	5
Линейная	18	Дневной	26	590	6
Линейная	36	840	26	1199,4	7

* Лампа с трубкой диаметром 26 мм, дополнительно защищённая стеклянной трубкой диаметром 38 мм

промышленности техническими терминами. Однако же оно неоднозначно, так как диапазоны $T_{ц}$, соотносимые с используемыми названиями цветов, перекрываются (табл. 3). И часто бывает так, что цвета излучения двух линейных ЛЛ с одинаковой $T_{ц}$ (например, 4000 К) описываются как белый или холодно-белый (в зависимости от производителя).

3. Объекты и область исследований

Измерялись параметры нескольких линейных ЛЛ мощностью 8, 18 и 36 Вт, а также одной КЛЛ мощностью 18 Вт со встроенным ПРА. Для линейной ЛЛ мощностью 18 Вт были рассмотрены разные цветности излучения. Все лампы (включая КЛЛ) работали с обычными электромагнитными дросселями. Дополнительно была исследована одна линейная морозостойкая ЛЛ мощностью 18 Вт. Общая информация о рассматривавшихся источниках света представлена в табл. 4. В рамках этого исследования измерявшиеся источники света были обозначены цифрами от 1 до 7.

Определялись следующие характеристики ламп: зависимость спектра и силы света от ТОВ при изменении последней от +25 до -25 °С с шагом примерно 5 °С.

Из-за того, что в случае ЛЛ излучение (первичное) преобразуется люминофором (во вторичное более длинноволновое), измерения дополнительно проводились на специальной ЛЛ мощностью 40 Вт, внутренняя поверхность которой (в учебных целях) люминофором была покрыта наполовину. Это позволяло исследовать влияние ТОВ на спектр первичного излучения.

Примерный внешний вид рассматривавшихся ЛЛ представлен на рис. 2.

4. Измерительная установка

Лабораторные измерения, в ходе которых исследовалось влияние ТОВ на цветовые характеристики ЛЛ, проводились на установке, схематически изображённой на рис. 3.

Схема с лампой (ЛЛ с нужным дросселем) содержала стабилизатор напряжения, обеспечивавший постоянство среднеквадратичного значения напряжения с точностью 0,1%.

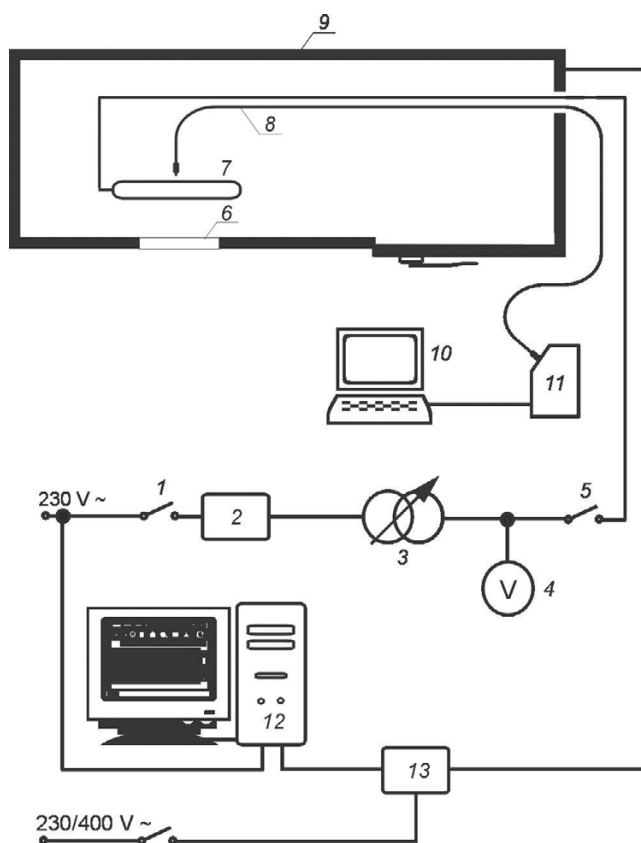


Рис. 3. Схема измерительной установки, предназначенной для определения зависимостей светотехнических характеристик ЛЛ от температуры окружающего воздуха: 1, 5 – выключатель; 2 – стабилизатор напряжения; 3 – автотрансформатор; 4 – вольтметр; 6 – круглое стекло, позволяющее производить наблюдения; 7 – исследуемый источник света; 8 – оптическое волокно; 9 – испытательная камера, изготовленная из многослойных панелей; 10 – персональный компьютер, регистрирующий спектральное распределение излучения; 11 – спектрометр; 12 – управляющий камерой компьютер; 13 – блок управления камерой

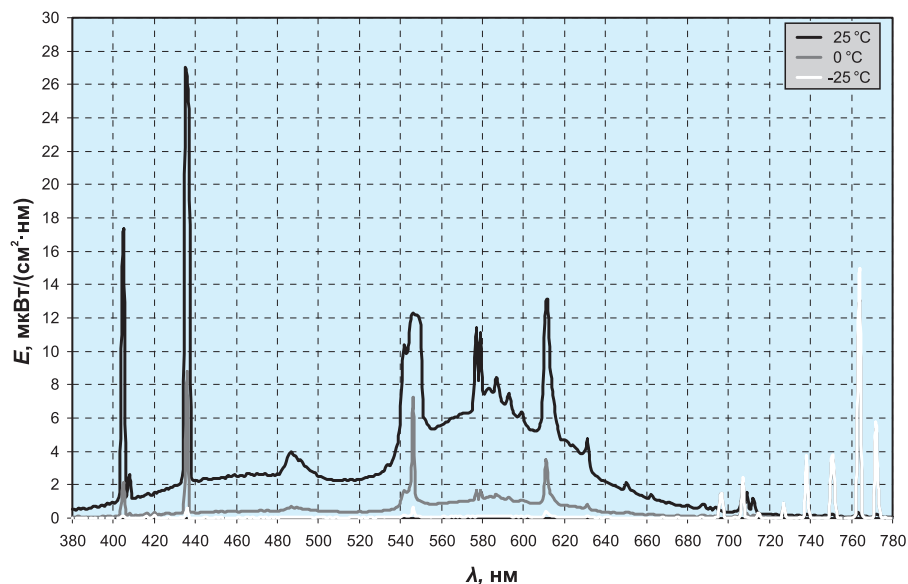


Рис. 4. Спектры излучения линейной ЛЛ мощностью 8 Вт с цветом излучения 840 (источник света 1) при различных значениях температуры окружающего воздуха

При помощи автотрансформатора выставлялось значение напряжения 230 В, которое измерялось вольтметром. За опорную ТОВ бралась комнатная температуры в 25 °С.

Для регистрации спектра излучения исследуемого источника света использовалось оптическое волокно диаметром 50 мкм, помещённое внутрь камеры. Один конец оптического волокна был направлен на исследуемый

источник света, а второй – присоединён к ПЗС-спектрометру, который располагался за пределами камеры. Связь между спектрометром и персональным компьютером обеспечивалась с помощью интерфейса USB 2.0.

5. Изменение спектра излучения

Спектры излучения измерялись с шагом 1 нм при разных ТОВ. Ре-

Измеренные значения коррелированной цветовой температуры исследованных источников света при разных значениях температуры окружающего воздуха t

$t, ^\circ\text{C}$	Коррелированная цветовая температура T_c, K						
	Источник света 1	Источник света 2	Источник света 3	Источник света 4	Источник света 5	Источник света 6	Источник света 7
25	3923	2740	4022	4007	3015	5747	3980
20	3878	2734	3892	4022	3032	5686	3948
15	3877	2739	3857	4057	3040	5625	3896
10	3843	2692	3827	4099	3100	5637	3721
5	3787	2658	3805	4112	3140	5567	3616
0	3787	2534	3764	4109	3143	5362	3571
-5	3744	2555	3744	4066	3133	5349	3405
-10	3745	2390	3641	4008	3105	5288	3326
-15	3648	2270	3570	3972	3095	5190	3157
-20	3598	2296	3427	3936	3086	5374	3095
-25	3545	2290	3476	3888	3050	5216	3016

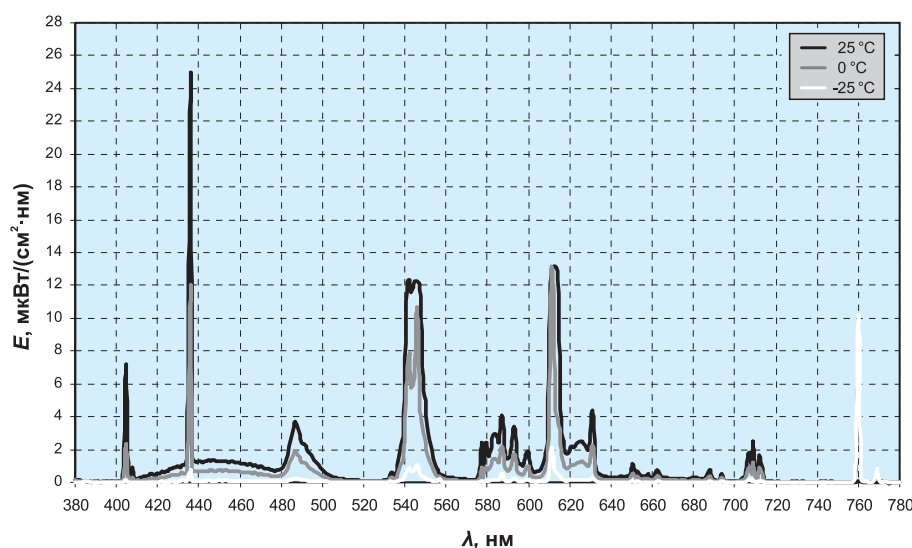


Рис. 5. Спектры излучения линейной морозостойкой ЛЛ мощностью 18 Вт с цветом излучения 840 (источник света 4) при различных значениях температуры окружающего воздуха

зультаты измерений отдельных ламп приведены на рис. 4–7.

Спектры излучения особенно ценны тем, что несут практически полную информацию о качественных характеристиках излучения источников света.

Из-за большого объема данных (для каждого из восьми источников света было получено 11 спектров) было решено представить результаты только для четырех ламп (1, 4, 5 и «специальная»), по три для каждой из этих ламп (при ТОВ +25, 0 и -25 °С). Больше количество спектров снизило бы наглядность рисунков.

6. Изменения коррелированной цветовой температуры и общего индекса цветопередачи

Наиболее распространенный светотехнический параметр, характеризующий цветность излучения источника света, – измеряемая в кельвинах цветовая температура. Это температура такого черного тела, которое генерирует излучение той же цветности (то есть имеющего те же цветовой тон и насыщенность), что и исследуемый источник света. Поэтому этот термин (согласно его определению) должен применяться толь-

ко к таким источникам света, координаты цветности излучения которых лежат на линии излучения черного тела. В случае ламп, координаты цветности которых не лежат на линии излучения черного тела (рис. 8), следует использовать термин «коррелированная цветовая температура» T_c , означающий температуру черного тела, цвет излучения которого наиболее близок к цвету излучения рассматриваемого источника света. Для определения T_c используются изотермы (кривые Джадда [5]). На равноконтрастном цветовом графике (u, v) (МКО, 1960) они перпендикулярны линии черного тела (а точнее, перпендикулярны касательной к линии черного тела в точке пересечения её изотермой).

По стандарту [6], длина каждой из этих изотерм составляет 0,04 единицы, если считать от точки, соответствующей центру этой изотермы и, в то же время, лежащей на линии черного тела, до точки, соответствующей концу изотермы. На практике это означает то, что при определении T_c координаты цветности не могут располагаться на произвольном расстоянии от линии черного тела. Координаты, соответствующие обоим концам изотерм (параметры которых приведены в [6]), можно определять по системе уравнений (1). Получаемая подобным образом совокупность точек на цветовом графике определяет со-

Значения общего индекса цветопередачи исследовавшихся источников света при разных значениях температуры окружающего воздуха t

$t, ^\circ\text{C}$	Общий индекс цветопередачи R_a						
	Источник света 1	Источник света 2	Источник света 3	Источник света 4	Источник света 5	Источник света 6	Источник света 7
25	81,1	81,3	64,8	80,6	81,1	76,2	83,8
20	78,0	81,2	64,2	80,8	78,2	75,1	83,1
15	76,0	78,4	63,3	80,3	80,5	71,0	81,3
10	67,8	76,1	62,1	79,7	80,0	70,0	80,0
5	66,3	74,3	61,4	79,4	78,0	69,4	79,4
0	66,3	71,2	61,0	78,9	79,0	68,7	77,3
-5	64,2	70,9	60,1	78,8	78,1	68,0	76,5
-10	64,1	68,3	59,4	77,5	78,0	67,9	74,2
-15	64,0	66,4	59,0	75,2	78,5	67,1	73,1
-20	64,2	62,3	58,1	74,1	76,7	66,6	71,1
-25	63,2	61,7	53,6	73,0	79,9	69,4	69,8

бой область, к которой и применимо понятие «коррелированная цветовая температура».

$$\begin{cases} v - v_i = t_T(u, v) \cdot (u - u_i) \\ (u - u_i)^2 + (v - v_i)^2 = 0,04^2 \end{cases} \quad (1)$$

где u_i, v_i – координаты точки, соответствующей центру изотермы; $t_T(u, v)$ – наклон изотермы.

Так как в природе нет цветов, координаты цветности которых лежат за пределами линии спектральных цветов, то при определении T_u координаты цветности должны располагаться в пределах области, ограниченной кривыми 3 и 4 и прямыми 1 и 2 (рис. 8), – выделенной области, кроме заштрихованного участка.

Когда производители электрических источников света приводят сведения о своей продукции в каталогах или на упаковке, они не используют термин «коррелированная цветовая температура». Очень удобен термин «цветовая температура», и он используется применительно почти ко всем источникам света, включая те, цветности излучения которых отличаются от цветностей излучения чёрного тела. Поэтому перед представлением полученных результатов автор решил более подробно остановиться на этом вопросе.

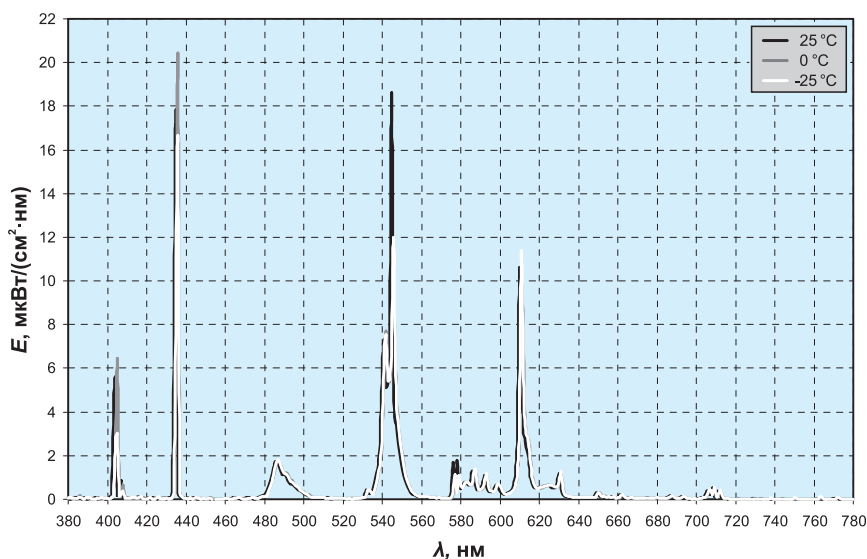


Рис. 6. Спектры излучения КЛЛ тёплого белого света мощностью 18 Вт (источник света 5) при различных значениях температуры окружающего воздуха

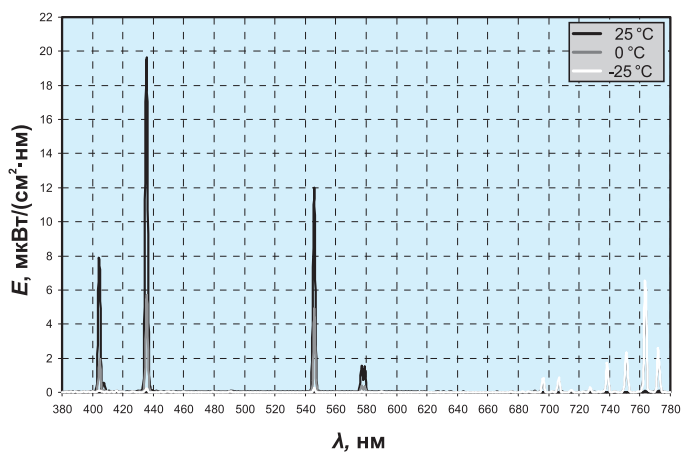
По уравнению (2) определялись относительные спектры излучения исследовавшихся источников света $S(\lambda)$ при конкретных ТОВ. Полученные результаты затем использовались для расчёта T_u (табл. 5) и R_a (табл. 6).

$$S(\lambda) = \frac{100E(\lambda)}{E(560)}, \quad (2)$$

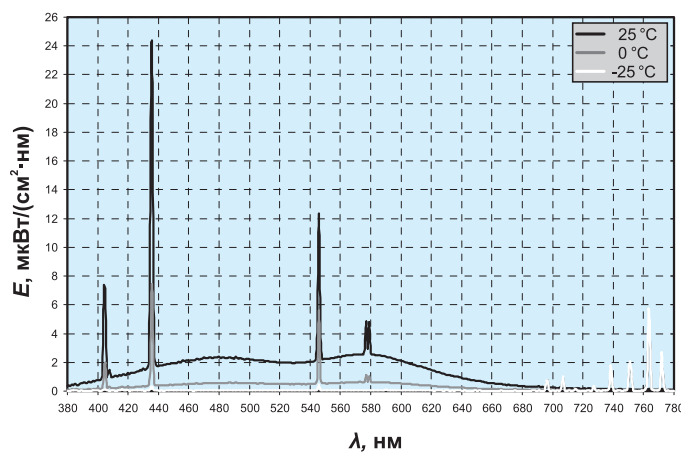
где $E(\lambda)$ – спектральное распределение энергетической светимости, $E(560)$ – значение энергетической светимости на длине волны $\lambda = 560$ нм.

7. Заключение

Из результатов экспериментальных исследований следует, что цветовые характеристики ртутных ламп НД зависят от ТОВ. При уменьшении последней у всех исследованных ЛЛ наблюдалось изменение спектра излучения: максимум излучения разряда НД в парах ртути смещается из коротковолновой области в сторону более длинноволновой. Это приводит к изменению цветности излучения лампы (в очень холодных условиях T_u уменьшается). Это происходит по двум при-



а)



б)

Рис. 7. Спектры излучения специальной линейной ЛЛ мощностью 40 Вт при различных значениях температуры окружающего воздуха: а – свободная от люминофора часть трубки; б – покрытая люминофором часть трубки

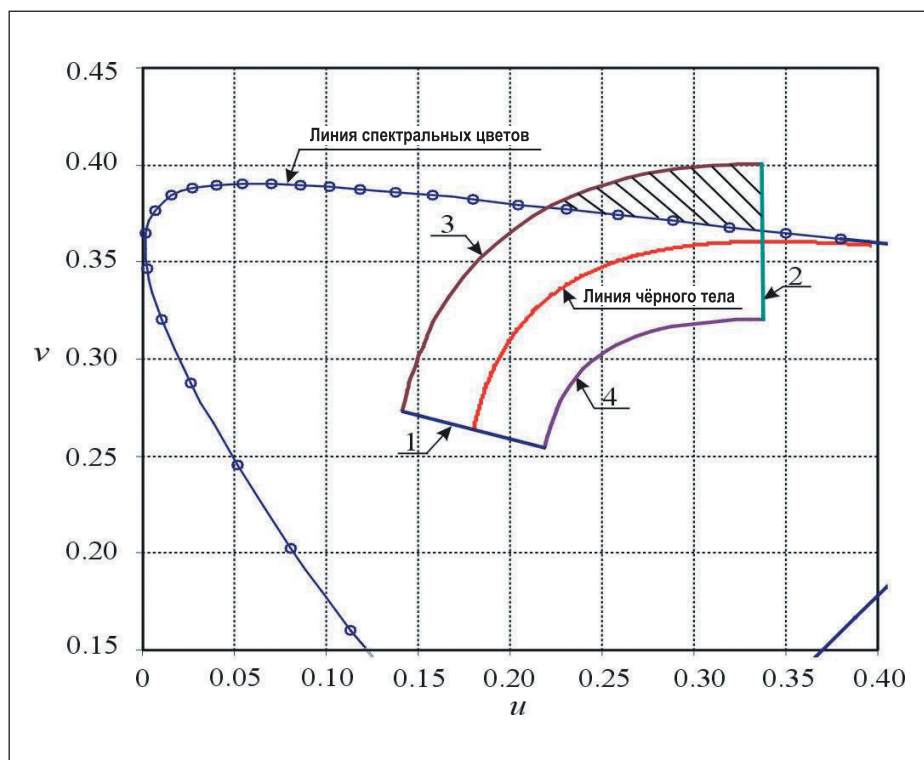


Рис. 8. Часть цветового графика в системе координат u , v с нанесёнными линиями чёрного тела и спектральных цветов и областью координат цветности (ограниченной линиями 1, 2, 3 и 4), для которой оправдано использование понятия коррелированной цветовой температуры

чинам: во-первых, изменяются свойства люминофора и, во-вторых, происходит спад давления в разрядной трубке. Поэтому ТОВ сопровождается изменением условий внутри самой лампы.

Однако есть ещё одна цветовая характеристика, которая тесно связана со спектром излучения, – R_a . У всех исследованных ламп R_a уменьшался с уменьшением ТОВ.

Из всех исследованных ЛЛ, лампы 4 и 5 оказались наименее чувствительными к изменению ТОВ, так как были снабжены дополнительными прозрачными экранами, снижавшими тепловые потери ламп.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tabaka, P.* Badania porównawcze zamienników tradycyjnych żarówek // Prze-

gląd Elektrotechniczny. – 2010. – R.85, No. 9. – P. 315–321.

2. *Wiśniewski, A.* Elektryczne źródła światła. Warszawa: Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2010.

3. *Zaremba, K.* Wpływ budowy świetlówek na ich mrozoodporność w warunkach ruchu powietrza // Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. – 1999. – Elektryka bulletin No. 15.

4. *Żagan, W.* Podstawy techniki świetlonej. Warszawa: Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.

5. *Helbig, E.* Grundlagen der Lichtmesstechnik. – Leipzig: Geest und Portig, 1972.

6. PN-91/E-04042/03 Optical radiation measurements – Colorimetry – Methods for determination of spectral and colorimetric characteristics of light sources.



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