

УДК 621.32:658.562

М. Тарасенко, докт. техн. наук; К. Козак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ЗАЛЕЖНІСТЬ НОМІНАЛЬНИХ СВІТЛОВИХ ВІДДАЧ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ВІД НОМІНАЛЬНИХ ПОТУЖНОСТЕЙ

Резюме. На основі аналізу та узагальнення опублікованих даних отримано аналітичні вирази для функціональних залежностей номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для всієї гами існуючих джерел світла. Це дало можливість установити, що світлова віддача зі зростання потужності джерел світла змінюється за гіперболічним законом. Для визначення конкретних значень можливих змін світлових віддач (зростання або падіння) із зростання номінальної потужності джерел світла розроблено спеціальну методуку.

Ключові слова: світлова віддача, потужність, джерела світла.

M. Tarasenko; K. Kozak

DEPENDENCE OF THE NOMINAL LUMINOUS EFFICIENCY FROM THE NOMINAL POWER

Summary. Based on the analysis and generalization of the published data there have been received analytical expressions for functional dependencies of nominal luminous efficiency on the nominal power for the whole range of available sources of light. Analysis of the received data testified that the nominal luminous efficiencies of light sources, regardless of the physical principles of their operation, are changed along side with the growth of nominal power under the same law – the hyperbolic one. For most of light sources these are growing hyperboles. They are falling only in three types of them: tubular lamp bulbs, electrodeless fluorescent lamps ENDURA and metal halide lamps with ceramic burners. All functional dependencies are characterized by the following three areas: 1 – a fast growing (declining) luminous efficiency; 2 – a slowing down one; 3 – transient to saturation. The less significant is the second area, the less likely is the prospect of improving the efficiency of light sources not only of a low but also of a high power. It is absolutely obvious that the traditional way of improving the efficiency of thermal light sources by increasing the temperature of the tungsten incandescent body is no longer efficient. The only possible way of solving the problem is a transition to a tantalum-carbide incandescent bodies. The coefficient of efficiency of incandescent bulbs can grow up to 20-30%, which is equivalent to the luminous efficiency of 60-90 lm/W with the lifetime up to 10,000 hours. With these indices they could compete not only with modern fluorescent lamps that need start-control devices and toxic mercury, but also with some types of LED lamps. To determine the specific values of possible changes of nominal luminous efficiency with the growth of nominal capacities there has been developed a special technique. It has been found out that the possibility of increasing the luminous efficiency for most types of compact fluorescent lamps has almost been exhausted, though for some types of them it is still feasible. It concerns, first of all, the following lamps: DULUX L LUMILUX PL, DULUX T/E PLUS and DULUX SUPERSTAR MICRO TWIST. The most promising in this respect are LED lights and metal halide lamps with a quartz burner.

Key words: luminous efficiency, power, light source.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Сучасні проблеми енергоефективного освітлення багатогранні. Їхнім вирішенням займається велика кількість передових компаній та організацій, що працюють в області світлотехніки. З метою розширення існуючого асортименту світлотехнічної продукції вони закладають в основу новітніх розробок найактуальнішу на сьогодні тенденцію: збільшення енергоефективності освітлювальних установок. У результаті на світовому ринку постійно з'являються інноваційні джерел світла, світлові прилади та системи керування світловим потоком освітлювальних систем як для внутрішнього, так і зовнішнього освітлення. Одним із основних параметрів, який визначає енергоефективність освітлювальних установок, є світлова віддача джерел світла (ДС). Вона залежить від фізичних принципів їхньої роботи (теплові, розрядні чи напівпровідникові), потужності, напруги мережі (низьковольтні чи високовольтні), режимів експлуатації й

температури оточуючого середовища. Остання критична виключно для люмінесцентних ламп та натрієвих ламп низького тиску. Теплові й розрядні лампи високого тиску до коливань температури навколишнього середовища не чутливі. Водночас як напівпровідникові ДС (світловипромінюючі діоди) особливо чутливі виключно до підвищення температури оточуючого їх середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1, 2, 3, 4] показав, що в існуючих публікаціях досить докладно викладено матеріал щодо основ роботи, розрахунку та конструювання згаданих вище джерел світла і відверто слабо представлені дослідження щодо встановлення математичних залежностей номінальних світлових віддач від номінальних потужностей. Наявність таких досліджень дасть можливість здійснювати прогнозне оцінювання щодо граничних значень світлових віддач як існуючих, так і перспективних джерел світла та визначатися з такою номенклатурою їхніх потужностей, яка б дозволяла реалізовувати принцип дискретного, а не плавного, регулювання світлового потоку освітлювальних установок за рахунок вимикання певної кількості ламп у наперед визначені періоди часу доби.

Саме тому **метою даної статті** й стало встановлення математичних залежностей номінальних світлових віддач ($H_{л.н.}$) від номінальних потужностей ($P_{л.н.}$) для існуючих джерел світла.

Результати досліджень. Дослідження проводилися на основі аналізу каталогових даних передових світлотехнічних фірм Philips та Osram [5, 6]. Це дало можливість встановити функціональні залежності номінальних світлових віддач ДС від їхніх номінальних потужностей, які наведено в табл. 1 – 6. За даними цих таблиць побудовано відповідні графічні залежності, які наведені на рис. 1, 2, 3, 4.

Таблиця 1

Функціональні залежності номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для теплових джерел світла (рис. 1а)

№ графіка на рис. 1а	Тип джерела світла	Аналітичний вираз
1	ЛР SPECIAL А, з термозахистом	$H_{л.н.} = -251,47 / P_{л.н.} + 16,90$
2	КГ ЛР класу Р ЕКО	$H_{л.н.} = -151,95 / P_{л.н.} + 17,20$
3	КГ ЛР класу А ЕКО	$H_{л.н.} = -189,82 / P_{л.н.} + 19,63$
4	КГ ЛР HALOLUX CERAM ЕКО	$H_{л.н.} = -270,58 / P_{л.н.} + 21,09$
5	HALOLINE ЕКО КГ ЛР лінійна на 230 В	$H_{л.н.} = -300,94 / P_{л.н.} + 22,61$
6	КГ ЛР HALOSTAR ЕКО (капс. на 12 В)	$H_{л.н.} = -83,33 / P_{л.н.} + 26,90$

Таблиця 2

Функціональні залежності номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для розрядних ламп (рис. 1б)

№ графіка на рис. 1б	Тип джерела світла	Аналітичний вираз
1	Ртутні лампи HQL (STANDART) (ДРЛ)	$H_{л.н.} = -1031,02 / P_{л.н.} + 57,99$
2	Метало-галогенні лампи з кварцовим пальником POWERSTAR HQI-TS без зовнішньої колби для закритих світильників (для прожекторів стадіонів 230 В)	$H_{л.н.} = -20000 / P_{л.н.} + 110$
3	Метало-галогенні лампи з кварцовим пальником POWERSTAR HQI-E, прозорі й з покриттям для закритих світильників (230 В)	$H_{л.н.} = -8000 / P_{л.н.} + 113,67$
4	Натрієві лампи високого тиску VIALOX NAV-E SUPER 4Y (230 В, еліптична колба)	$H_{л.н.} = -3376,38 / P_{л.н.} + 139,73$
5	Натрієві лампи низького тиску типу SOX	$H_{л.н.} = -1412,83 / P_{л.н.} + 175,3$

Таблиця 3

Функціональні залежності номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для люмінесцентних ламп (рис. 2а)

№ графіка на рис. 1б	Тип джерела світла	Аналітичний вираз
1	Трубчасті SA T12	$H_{л.н.} = -398,93 / P_{л.н.} + 79,95$
2	Трубчасті LUMILUX T2 FM	$H_{л.н.} = -170,01 / P_{л.н.} + 85,08$
3	Трубчасті ЛЛ LUMILUX T5 HO CONSTANT	$H_{л.н.} = -274,08 / P_{л.н.} + 92,31$
4	Трубчасті ЛЛ LUMILUX T8	$H_{л.н.} = -337,09 / P_{л.н.} + 95,28$
5	Трубчасті ЛЛ LUMILUX T5 HO	$H_{л.н.} = -284,87 / P_{л.н.} + 97,38$
6	Трубчасті ЛЛ LUMILUX X XT T8	$H_{л.н.} = -427,99 / P_{л.н.} + 99,82$
7	Трубчасті ЛЛ LUMILUX T5 HE	$H_{л.н.} = -191,56 / P_{л.н.} + 109,85$

Таблиця 4

Функціональні залежності номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) (рис. 2б)

№ графіка на рис. 2б	Тип джерела світла	Аналітичний вираз
1	DULUX SUPERSTAR MINI GLOBE 15 000 год, 220-240 В, шароподібні	$H_{л.н.} = -75,58 / P_{л.н.} + 62,21$
2	OSRAM DULUXSTAR STICK 10 000 год, 220-240 В, 6-канальні	$H_{л.н.} = -76,30 / P_{л.н.} + 62,90$
3	DULUX STAR MINI TWIST 8 000 год, 220-240 В, спіральні	$H_{л.н.} = -84,09 / P_{л.н.} + 66,18$

Закінчення таблиці 4

4	DULUX INTELLIGENT LONGLIFE. 20 000 год, 220-240 В, 6-канальна	$H_{л.н.} = -72,19 / P_{л.н.} + 66,90$
5	DULUX SUPERSTAR MICRO TWIST 12 000 год, 220-240 В, спіральна	$H_{л.н.} = -89,17 / P_{л.н.} + 70,99$
6	DULUX T/E PLUS для електронних ПРА, 6-канальні	$H_{л.н.} = -140,89 / P_{л.н.} + 78,55$
7	DULUX L LUMILUX PL	$H_{л.н.} = -430,38 / P_{л.н.} + 92,66$

Таблиця 5

Функціональні залежності номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для світлодіодних ламп прямої заміни ламп розжарення (рис. 3)

№ графіка на рис. 1б	Тип джерела світла	Аналітичний вираз
1	LED STAR CLASSIC P	$H_{л.н.} = -14,14 / P_{л.н.} + 65,50$
2	PARANOM CLASSIC B	$H_{л.н.} = -23,30 / P_{л.н.} + 69,55$
3	LED STAR CLASSIC A	$H_{л.н.} = -99,95 / P_{л.н.} + 76,75$
4	PARANOM CLASSIC A ADVANCED	$H_{л.н.} = -206,35 / P_{л.н.} + 87,25$

Аналіз рис. 1 – 4 свідчить про те, що номінальні світлові віддачі ДС, незалежно від фізичних принципів їхньої роботи, зі зростання номінальної потужності змінюються за одним і тим самим законом – гіперболічним. Для більшості ДС (рис. 1, 2, 3) – це зростаючі гіперболи. І тільки для трьох типів ДС (трубчастих ЛР, безелектродних ЛЛ ENDURA та метало-галогенних ламп з керамічними пальниками (рис. 4) вони є падаючими.

Таблиця 6

Аномальні (падаючі) функціональні залежності номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для окремої групи ДС (рис. 4)

№ графіка на рис. 4	Тип джерела світла	Аналітичний вираз
1	Трубчасті ЛР Special Linestra	$H_{л.н.} = 36,76 / P_{л.н.} + 6,58$
2	Безелектродні ЛЛ OSRAM ENDURA	$H_{л.н.} = 1754,53 / P_{л.н.} + 66,20$
3	Метало-галогенні лампи з керамічними пальниками POWERBALL HSI-T для закритих світильників	$H_{л.н.} = 84,31 / P_{л.н.} + 100,17$

Для всіх функціональних залежностей характерні такі три ділянки: 1 – швидкого зростання (падіння) світлової віддачі (ділянки подібні k-t на рис. 5); 2 – уповільненого (ділянки подібні t-m); 3 – переходу до насичення (ділянки подібні m-∞). Чим менш вагомою є друга ділянка t-m (тобто чим ближче кут між дотичними d та e на рис. 4 до 90°), тим менш вірогідна перспектива підвищення ефективності не тільки малопотужних, але й високопотужних ДС. Серед ТДС (рис. 1а) найбільші перспективи щодо підвищення ефективності потужних ламп мають ЛР SPECIAL A (крива 1), КГ ЛР класів А ЕКО (2), HALOLUX CERAM ЕКО (6) та HALOLINE ЕКО (5). Найменші – КГ ЛР класів Р ЕКО (2) та низьковольтні капсульні HALOSTAR ЕКО (6).

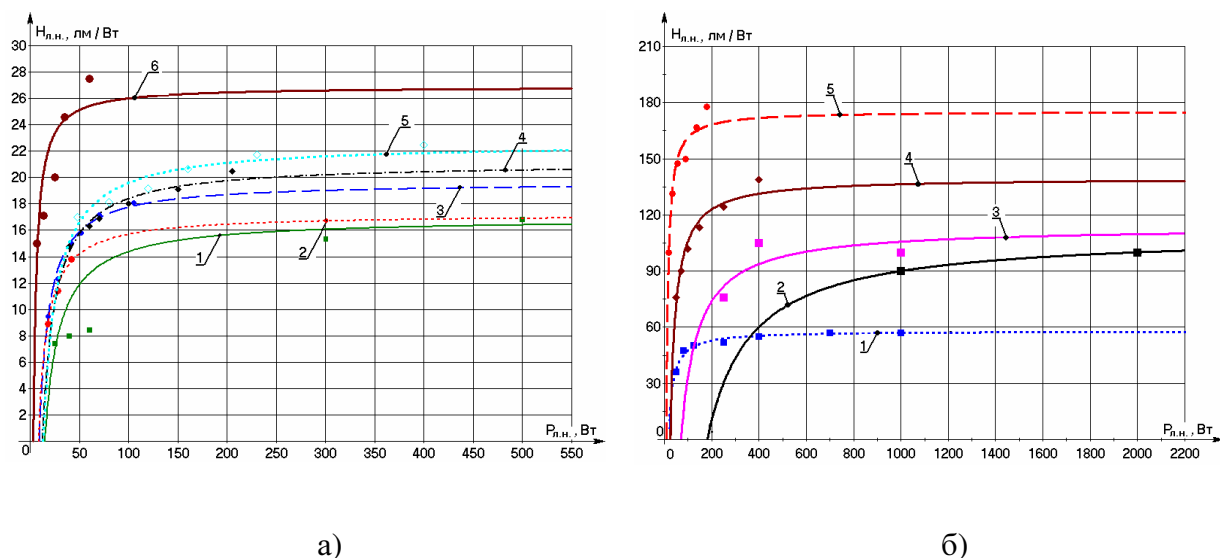


Рисунок 1. Залежність номінальних світлових віддач ($H_{l.n.}$) від номінальних потужностей ($P_{l.n.}$) для: а) теплових джерел світла (ТДС); б) розрядних ламп (РЛ). **ТДС:** 1 – лампи розжарення (ЛР) SPECIAL A, з термозахистом; 2 – кварцово-галогенні ЛР (КГ ЛР) класу Р ЕКО (заміна ЛР); 3 – КГ ЛР класу А ЕКО (заміна ЛР); 4 – КГ ЛР HALOLUX CERAM EKO (заміна ЛР, циліндр. колба); 5 – HALOLINE EKO КГ ЛР, лінійна на 230 В; 6 – КГ ЛР HALOSTAR EKO (капсульна на 12 В). **Розрядні лампи:** 1 – ртутні лампи HQL (STANDART) (ДРЛ); 2 – метало-галогенні лампи з кварцовим пальником POWERSTAR HQI-TS без зовнішньої колби для закритих світильників (для прожекторів стадіонів 230 В); 3 – метало-галогенні лампи з кварцовим пальником POWERSTAR HQI-E, прозорі й з покриттям для закритих світильників (230 В); 4 – натрієві лампи високого тиску VIALOX NAV-E SUPER 4Y (230 В, еліптична колба); 5 – натрієві лампи низького тиску SOX (в тумані більш контрастне освітлення)

Figure 1. Dependence of nominal luminous efficiency ($H_{l.n.}$) from the nominal power ($P_{l.n.}$) for: a) thermal light sources (TLS); b) discharge lamps (DL). **TLS:** 1 – incandescent lamp (IL) SPECIAL A, with thermal protection, 2 – quartz-halogen IL (QHIL) class P ECO (for replacement of IL); 3 – QHIL class A ECO (for replacement of IL); 4 – QHIL HALOLUX CERAM EKO (for replacement of IL, cylinder. bulb); 5 – HALOLINE EKO KG IL linear for 230 V; 6 – QHIL HALOSTAR EKO (capsule for 12 V). **DL:** 1 – arc mercury lamps HQL (STANDART) (AML); 2 – metal-halide lamps with quartz burner POWERSTAR HQI-TS without outer bulb for enclosed fixtures (for stadiums spotlights 230 V); 3 – metal-halide lamps with quartz burner POWERSTAR HQI-E, clear and coated for indoor lighting (230 V); 4 – high pressure sodium lamp VIALOX NAV-E SUPER 4Y (230, elliptical bulb); 5 – low pressure sodium lamp SOX (more contrast in fog lighting)

Це пояснюється тим, що традиційний шлях підвищення ефективності ТДС за рахунок збільшення температури вольфрамового тіла розжарення добіг свого кінця. Більш суттєве підвищення їхньої ефективності можливе тільки на основі переходу до напівпровідникових тіл розжарення (тантал-карбідних та селективно-відбиваючих інфрачервоне випромінювання плівок [9, 10]). ККД таких ламп може зрости до 20 – 30 %, що еквівалентно світловим віддачам 60 – 90 лм/Вт при термін служби – до 10 тис. год. Враховуючи той факт, що ТДС не потребують струмообмежувальних баластів, втрати в яких сягають 10 – 25 % від потужності лампи, і є екологічно чистими, вони могли б скласти конкуренцію не тільки сучасним ЛЛ, для яких обов'язково потрібен пускорегулювальний апарат і токсична ртуть, але й деяким типам світлодіодних джерел світла, підвищення ефективності яких (мова йде про світлодіодні лампи з високим індексом кольоропередавання для прямої заміни традиційних ТДС) є також проблематичним (рис. 4а, крива 1 – LED STAR CLASSIC P).

Це пояснюється тим, що енергоефективність світлодіодних ламп прямої заміни (СДЛПЗ) помітно нижче, ніж у окремо взятих світлодіодів [11]. Світлова віддача світлодіодних ламп визначається за формулою

$$H_{\text{СДЛ}} = H_{\text{СД}} \cdot \eta_{\text{ел}} \cdot \eta_{\text{оп}} \cdot \eta_t, \quad (1)$$

де $H_{\text{СД}}$, $H_{\text{СДЛ}}$ – світлові віддачі окремо взятого світлодіода та світлодіодної лампи прямої заміни, виготовленої з певної кількості окремо взятих світлодіодів, при певній температурі T_C корпусу;

$\eta_{\text{ел}}$, $\eta_{\text{оп}}$ – ККД електричної ($\eta_{\text{ел}} = 0,75-0,80$) та оптичної $\eta_{\text{оп}} = 0,50-0,95$ підсистем СДЛПЗ [11, 12];

η_t – коефіцієнт ефективності тепловідведення, який характеризує зменшення світлового потоку при підвищенні температури корпусу світлодіода від T_C у середині працюючої лампи ($\eta_t = 0,85-0,98$).

Таким чином, якщо в СДЛПЗ використовуються світлодіоди зі світловою віддачею 100 лм/Вт, то світлова віддача такої лампи може бути від 32 до 74 лм/Вт, а в середньому – близько 53 лм/Вт. У сучасних СДЛПЗ світлова віддача не перевищує 75 лм/Вт, а максимальна світлова віддача окремо взятого світлодіода з характерною довжиною хвилі випромінювання 611 нм (це рожевий колір) – 160 лм/Вт. Тому перевищити рубіж 120 лм/Вт при створенні СДЛПЗ з високим індексом кольоропередавання ($R_a > 90$) та низькою колірною температурою ($T_k = 2700-3500$ К) буде досить складно.

З'ясувалося також, що низька споживана потужність не зумовлює відсутність радіатора у СДЛПЗ. Дослідження показали, що середня тривалість світіння СДЛПЗ без радіатора не перевищує 1000 год. Особливо гострою є проблема відведення тепла у потужних СДЛПЗ. Застосування потужних радіаторів помітно збільшує їх розміри й вагу. 10 Вт СДЛПЗ важить 409 гр., в той час як маса 11 Вт КЛЛ, з таким самим світловим потоком, не перевищує 60 гр., а ЛР – 35 гр. Необхідність застосування радіаторів і особливість випромінювання світлодіодів в одну півсферу (нижню) утруднює створення на їх основі джерел світла зі світлорозподілом, подібним до ламп розжарення загального призначення (ЛЗП) [11].

Що стосується розрядних ламп високого тиску (рис. 1б), то до перспектив підвищення їхньої ефективності найбільш схильні метало-галогенні лампи типу POWERSTAR HQI-TS (крива 2 на рис. 1б) та POWERSTAR HQI-E (3). Вони ще мають деякий резерв щодо підвищення ефективності випромінювання стовпа розряду не тільки за рахунок зменшення долі теплових втрат в об'ємі й на стінках розрядної трубки, але й за рахунок перерозподілу енергії в спектрі випромінювання, яке викликає найбільшу реакцію людського ока. У дугових ртутних лампах з люмінофором (HQL STANDART (1)) такі можливості використані повністю. Тому не слід очікувати зростання номінальних світлових віддач як таких, так і при збільшенні номінальних потужностей цих ламп.

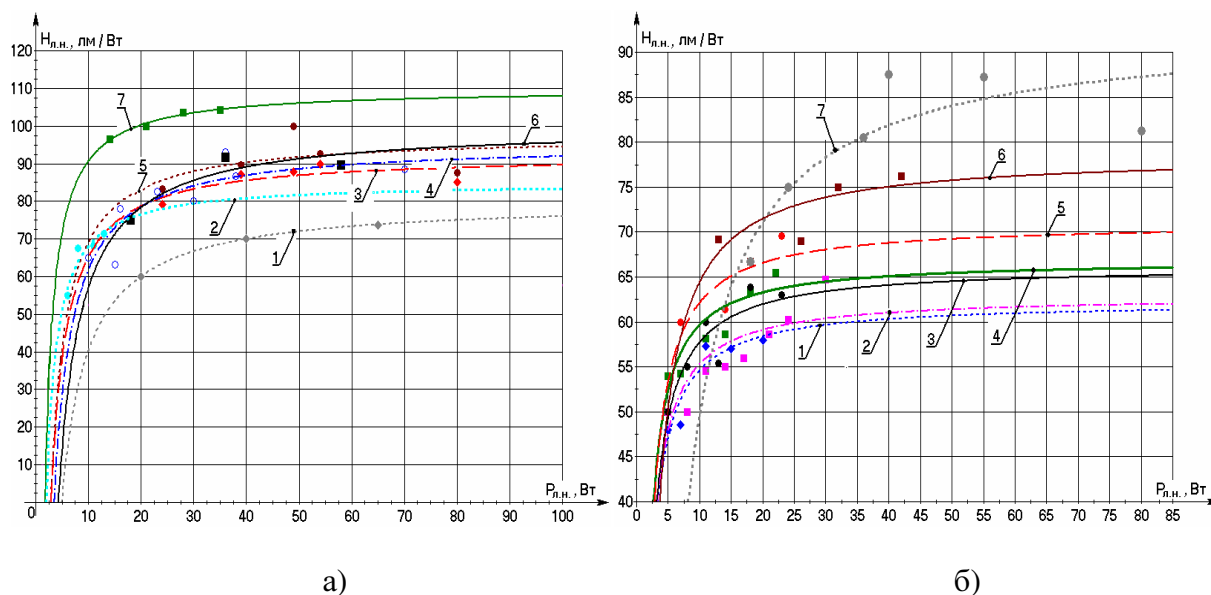


Рисунок 2. Залежність номінальних світлових віддач ($H_{l.n.}$) від номінальних потужностей ($P_{l.n.}$) для:
 а) лінійних ЛЛ; б) компактних ЛЛ (КЛЛ) фірми OSRAM. **Лінійні ЛЛ:** 1 – трубчасті ЛЛ SA T12; 2 – трубчасті ЛЛ LUMILUX T2 FM; 3 – трубчасті ЛЛ LUMILUX T5 HO CONSTANT (зовнішнє освітлення); 4 – трубчасті ЛЛ LUMILUX T8 (26 мм); 5 – трубчасті ЛЛ LUMILUX T5 HO (висока світлова віддача); 6 – трубчасті ЛЛ LUMILUX X XT T8 (75 тис. год); 7 – трубчасті ЛЛ LUMILUX T5 HE (висока ефективність). **КЛЛ:** 1 – DULUX INTELLIGENT LONGLIFE. 20 тис. год, 220 – 240 В 6 канальна; 2 – DULUXSTAR STICK (10 тис. год), 220 – 240 В, 6 канальні; 3 – DULUX STAR MINI TWIST (8 тис. год), 220 – 240 В, спіральні; 4 – DULUX INTELLIGENT LONGLIFE (20 тис. год), 220 – 240 В, 6 канальна; 5 – DULUX SUPERSTAR MICRO TWIST, (12 тис. год), 220 – 240 В, спіральна; 6 – DULUX T/E PLUS ДЛЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРА; 6 канальні; 7 – DULUX L LUMILUX PL

Figure 2. Dependence of nominal luminous efficiency ($H_{l.n.}$) from the nominal power ($P_{l.n.}$) for:
 а) linear fluorescent lamp (LFL) б) compact fluorescent lamp (CFL) of company OSRAM. **LFL:** 1 – tubular FL SA T12; 2 – tubular FL LUMILUX T2 FM; 3 – Tubular FL LUMILUX T5 HO CONSTANT (external lighting); 4 – tubular FL LUMILUX T8 (26 mm); 5 – tubular FL LUMILUX T5 HO (high luminous efficiency); 6 – tubular FL LUMILUX X XT T8 (75 thousand hours); 7 – tubular FL LUMILUX T5 HE (high efficiency). **CFL:** 1 – DULUX INTELLIGENT LONGLIFE. (20 thousand hours), 220 – 240 V 6 channel; 2 – DULUXSTAR STICK (10 thousand hours), 220 – 240 V, 6 channel; 3 – DULUX STAR MINI TWIST (8 thousand hours), 220 – 240 V, coil; 4 – DULUX INTELLIGENT LONGLIFE. (20 thousand hours), 220 – 240 V, 6 channel; 5 – DULUX SUPERSTAR MICRO TWIST (12 thousand hours), 220 – 240, spiral; 6 – DULUX T/E PLUS for electronic ballasts, 6 channel, 7 – DULUX L LUMILUX PL

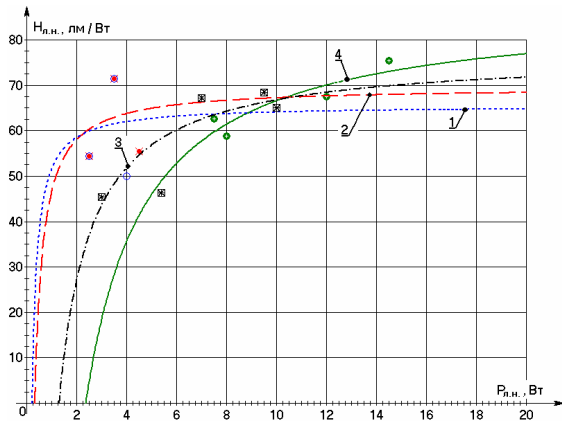


Рисунок 3. Залежність номінальних світлових віддач ($H_{L,n}$) від номінальних потужностей ($P_{L,n}$) для світлодіодних ламп прямої заміни ламп розжарення (СДЛПЗ):

1 – LED STAR CLASSIC P; 2 – PARANHOM CLASSIC B; 3 – LED STAR CLASSIC A; 4 – PARANHOM CLASSIC A ADVANCED

Figure 3. Dependence of nominal luminous efficiency ($H_{L,n}$) from the nominal power ($P_{L,n}$) to LED lamps for direct replacement of incandescent lamps (LEDLDR):

1 – LED STAR CLASSIC P; 2 – PARANHOM CLASSIC B; 3 – LED STAR CLASSIC A; 4 – PARANHOM CLASSIC A ADVANCED

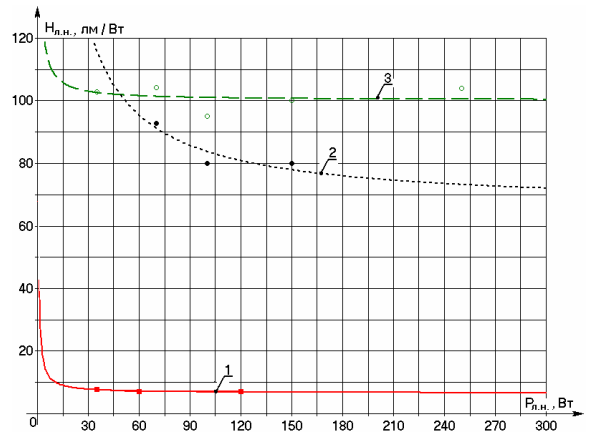


Рисунок 4. Аномальні (падаючі) залежності номінальних світлових віддач ($H_{L,n}$) від номінальних потужностей ($P_{L,n}$) для: 1 – трубчастих ЛР Special Linestra (для дзеркал); 2 – безелектродних ЛЛ ENDURA (230 В, 250 кГц); 3 – метало-галогенних ламп високого тиску з керамічними пальниками для закритих світильників типу POWER-BALL HCI-T

Figure 4. Anomalous (falling) Dependence of nominal luminous efficiency ($H_{L,n}$) from the nominal power ($P_{L,n}$) for: 1 – tubular IL Special Linestra (for mirror);

2 – electrodeless CFL ENDURA (230 V, 250 kHz); 3 – metal halide high pressure lamps with ceramic burners for closed lighting such as POWER-BALL HCI-T

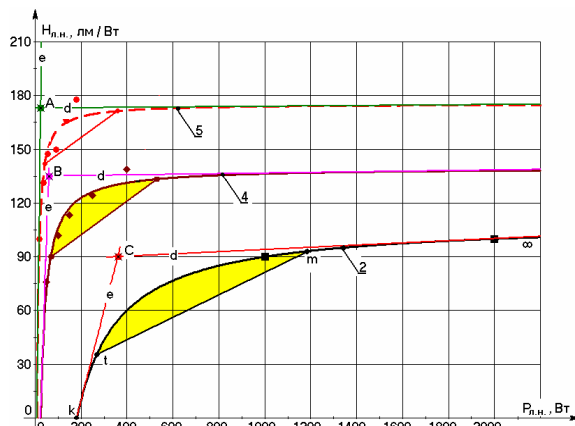


Рисунок 5. Приклад графічного визначення характерних світлових віддач H_x та потужностей P_x джерел світла в т. А, В та С для побудови відповідних нормованих залежностей для кривих 2, 4, 5 (рис. 1б)

Figure 5. Example of graphical definition of typical luminous efficiency H_x and power P_x of light sources in points A, B and C to construct the corresponding normalized dependency for curves 2, 4, 5 (fig. 1b)

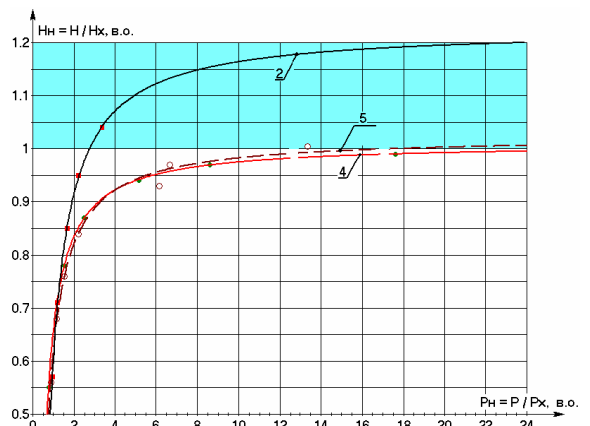


Рисунок 6. Залежність нормованих світлових віддач від нормованих потужностей джерел світла для кривих 2, 4, 5 (рис. 1б)

Figure 6. Dependence of normalized luminous efficiency from normalized power light sources for curves 2, 4, 5 (fig. 1b)

Незначні перспективи щодо підвищення світлових віддач при збільшенні потужності є і у натрієвих лампах як високого (типу VIALOX NAV-E SUPER 4Y (крива 4 на рис. 1б)), так і низького (типу SOX (5)) тиску. І це незважаючи на те, що в експериментальних лабораторних зразках максимальне значення світлової віддачі стовпа розряду натрієвих ламп низького тиску при струмі 100 мА і штучному підігріванні розрядної трубки сягає 360 – 420 лм/Вт, а у лампах високого тиску – 166 лм/Вт [4, С. 452, 614]. Реальні світлові віддачі у натрієвих лампах низького тиску дорівнюють

177 лм/Вт, а у лампах високого тиску – 139 лм/Вт. Таким чином, серійні зразки натрієвих ламп високого тиску впритул наблизилися до експериментальних лабораторних значень світлових віддач за рахунок упровадження РІА технологій, а у натрієвих лампах низького тиску цей показник майже вдвічі менший від досягнутих лабораторних значень. Це пояснюється тим, що в реальних зразках поки що не вдається при низьких густинах струму підтримувати високі значення температури розрядної трубки на оптимальному рівні 270 – 290°C.

Зважаючи на те, що у ЛЛ у світло може перетворитися від 0,37 до 0,44 споживаної електричної енергії, їхня світлова віддача, при енергетичному еквіваленті білого світла в 320 лм/Вт, теоретично може дорівнювати 120 – 140 лм/Вт [8]. Це вказує на те, що можливості стосовно підвищення як взагалі світлової віддачі, так й зі зростанням потужності ЛЛ поки ще є (рис. 2а). Найбільше до цього схильні прямі ЛЛ типу SA T12 (рис. 2а, крива 1), а також LUMILUX T5 HO (5), LUMILUX X XT T8 (6) та LUMILUX T5 HE (7).

Можливості збільшення світлової віддачі КЛЛ у їхньому сучасному вигляді для більшості типів ламп майже вичерпані – це не тільки височастотне живлення, застосування сучасних багатосмугових люмінофорів, перехід до менших діаметрів розрядних трубок, але й застосування сучасного аргон-криптонового наповнення й амальгами ртуті. Не зважаючи на це, як бачимо з графіків рис. 2б, ще є деякі типи КЛЛ, світлова віддача яких зі зростання потужності має тенденції до зростання. Це, в першу чергу, лампи DULUX L LUMILUX PL (крива 7 на рис. 2б), DULUX T/E PLUS (6) та DULUX SUPERSTAR MICRO TWIST (5).

У процесі аналізу з'ясувалося, що є й такі джерела світла (абсолютно різні за фізичними принципами їхньої роботи), у яких світлова віддача зі зростання потужності зменшується (рис. 4). Найбільше це відноситься до безелектродних ЛЛ типу ENDURA (крива 2 на рис. 4), найменше – до трубчастих LP Special Linestra (1) та метало-галогенних лампи високого тиску з керамічними пальниками типу POWER-BALL HSI-T (3).

Аналіз показав, що з графіків, наведених на рис. 1, 2, 3, 4, важко визначити конкретні значення можливих змін (зростання або зменшення) світлових віддач зі зростання номінальних потужностей ДС. Саме тому для цього ми розробили спеціальну методику. Суть їх полягає у наступному. Для визначення конкретних значень можливих змін світлових віддач (зростання або зменшення) зі зростання потужностей необхідно:

- 1) визначити характерні значення світлових віддач H_X та потужностей P_X ДС, які нас цікавлять. Для цього до графічних залежностей $H_{л.н.} = f(P_{л.н.})$ ДС необхідно провести дотичні d та e так, як це показано на рис. 5. У точках перетину дотичних (на рис. 5 точки А, В і С) визначити конкретні значення H_X у лм/Вт та P_X у Вт;
- 2) в n точках ($n = 5 - 10$) на кривих $H_{л.н.} = f(P_{л.н.})$ визначити конкретні значення світлових віддач $H_1 \dots H_n$ та потужностей $P_1 \dots P_n$;
- 3) визначити нормовані значення світлових віддач H_{Hn} та потужностей P_{Hn} , поділивши отримані в п. 2 дані на характерні світлову віддачу та потужність ДС ($H_{H1} = H_1/H_X \dots H_{H10} = H_{10}/H_X$ та $P_{H1} = P_1/P_X \dots P_{H10} = P_{10}/P_X$);
- 4) за отриманими нормованими даними побудувати графік (у відносних одиницях) залежності ($H_H = H/H_X$) = $f(P_{H1} = P_1/P_X)$ так, як це показано на рис. 6;
- 5) визначити величину можливих змін світлових віддач (зростання або зменшення) зі зростання номінальних потужностей. Якщо отримана залежність зростає і: а) проходить вище горизонтальної прямої, проведеної через ординату 1, то можливе зростання світлових віддач зі зростання потужності буде характеризувати та частина кривої, яка знаходиться вище ординати 1 (на рис. 6 – затінена площа). Таким чином,

зростання номінальної світлової віддачі зі зростанням номінальної потужності розрядних ламп високого тиску можна очікувати тільки для метало-галогенних ламп з кварцовим пальником POWERSTAR HQI-TS (крива 2 на рис. 1б та рис. 6); б) не виходить за межі горизонтальної прямої, проведеної через ординату 1, то зростання світлової віддачі зі зростання потужності очікувати не слід. Це натрієві лампи високого та низького тиску (криві 4 і 5 на рис. 1б та рис. 5 відповідно).

Аналогічні міркування слід використовувати і при аналізі падаючих залежностей номінальних світлових віддач від номінальних потужностей ДС.

Висновки. Установлено, що номінальна світлова віддача зі зростання номінальної потужності джерел світла змінюється за гіперболічним законом. Для більшості ДС ця залежність зростаюча і лише для трьох, абсолютно різних за фізичними принципами роботи (трубчастих ЛР Special Linestra, безелектродних ЛЛІ типу ENDURA та метало-галогенних ламп високого тиску з керамічними пальниками типу POWER-BALL HCI-T), – падаюча.

Отримано аналітичні вирази для функціональних залежностей номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для всієї гами існуючих джерел світла. З'ясувалося, що для ДС зі зростаючою залежністю номінальних світлових віддач від номінальних потужностей перший доданок, зі знаком мінус, визначає швидкість зростання, а другий – максимальне значення номінальної світлової віддачі ДС даного типу. Для ДС з аналогічною падаючою залежністю все навпаки. Чим більше відношення чисельника першого доданка до другого, в отриманих математичних залежностях, тим більшою є вірогідність зміни світлових віддач джерел світла при збільшенні їхньої номінальної потужності.

Запропоновано методику для визначення конкретних значень можливих змін номінальних світлових віддач (зростання або падіння) зі зростання номінальної потужності джерел світла.

Conclusions. It was established that the nominal luminous efficiency with increasing nominal power of light sources varies according to the hyperbolic law. For most of the LS this dependence is growing and only for three completely different by physical principles of operation (tubular IL Special Linestra, electrodeless CFL ENDURA and metal halide high pressure lamps with ceramic burner type POWER-BALL HCI-T), – is falling.

Analytical expressions for functional dependencies of nominal luminous efficiency from the nominal power for the whole range of existing sources was received. It was found that for LS with growing dependence of nominal luminous efficiency from the nominal power first term with a minus sign, determines the rate of growth, and the second – the maximum nominal luminous efficiency LS type. For LS with a similar falling dependence is the opposite. The first term, with a plus sign, determines the speed of falling nominal luminous efficiency, and the second – the minimum of its value

The article suggests a method for determining the specific values of possible changes in nominal luminous efficiency (increase or decrease) with increasing nominal power light sources.

Список використаної літератури

1. Уэймаус, Д. Газоразрядные лампы [Текст]; перевод с английского под ред. Рохлина Г.Н. и Фугенфорова М.И. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
2. Пляскин, П.В. Основы конструирования электрических источников света [Текст] / П.В. Пляскин, В.В. Федоров, Ю.А. Буханов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
3. Афанасьева, Е.А. Источники света и пускорегулирующая аппаратура [Текст] / Е.А. Афанасьева, В.М. Скобелев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
4. Рохлин, Г.Н. Разрядные источники света. – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Г.Н. Рохлин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
5. Catalogue for Original equipment Manufactures Lamps & Gear / Controls 2001 / 2002 Philips. – 489 p.
6. Osram Product Catalog [Електронний ресурс]. – OSRAM GmbH. – 2010. – Режим доступу: <http://catalog.myosram.com>

7. Семенов, Б.Ю. Экономичное освещение для всех [Текст] / Б.Ю. Семенов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. – 224 с. – Серия «Технологии энергосбережения».
8. Фок, М.В. О предельных возможностях повышения световой отдачи источников света [Текст] / М.В. Фок // Светотехника. – 1990. – № 6. – С. 1 – 3.
9. Кожушко, Г.М. Енергоекономічні джерела світла ХХІ століття [Текст] / Г.М. Кожушко // Світлолюкс. – 2005. – № 6. – С. 2 – 4.
10. Мордюк, В.С. Материаловедение и прогресс в светотехнической науке и технике [Текст] / В.С. Мордюк // Светотехника. – 2006. – № 6. – С. 2 – 4.
11. Лашик, С.И. О светодиодных лампах прямой замены [Текст] / С.И. Лашик, А.А. Паутино, Ю.В. Трофимов // Светотехника. – 2010. – № 1. – С. 48 – 54.
12. Тарасенко, М.Г. Методика розрахунку енергоефективності джерел світла [Текст] / М.Г. Тарасенко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2011 – № 1. – С. 25 – 34.

Отримано 18.03.2013