

ВЛИЯНИЕ ТИПА ЛАМПЫ И НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА НА СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВЕТИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ
СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

P.P. Dolgikh, D.S. Dotsenko,
N.V. Tsuglenok

THE EFFECT OF THE TYPE OF LAMP AND VOLTAGE SOURCE ON INDUSTRIAL LAMP
LIGHT DISTRIBUTION AND EFFICIENT LIGHTING SYSTEM OPERATION

Долгих П.П. – канд. техн. наук, доц. каф. системозащиты Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: dpp@rambler.ru

Доценко Д.С. – магистрант каф. агроинженерии Ачинского филиала Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: demongeroy91@mail.ru

Цугленок Н.В. – д-р техн. наук, проф., президент Восточно-Сибирского научно-образовательного и производственного центра СО РАСХН. E-mail: dpp@rambler.ru

Dolgikh P.P. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Systems of Energetics, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: dpp@rambler.ru

Dotsenko D.S. – Magistrate Student, Chair of Agrarian Engineering, Achinsk Branch, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: demongeroy91@mail.ru

Tsuglenok N.V. – Dr. Techn. Sci., Prof., President, Eastern-Siberian Research, Educational and Production Center SB RAAS. E-mail: dpp@rambler.ru

Проблема энергосбережения в осветительных установках приобретает большое значение в связи с непрерывно происходящим увеличением масштабов осветительных установок и потреблением в них электроэнергии. Неправильная эксплуатация, когда в определенном осветительном приборе потребители меняют лампу одного типа на лампу другого типа, в совокупности с нестабильным напряжением может являться одной из причин нерационального энергопотребления. Предложено оценку эффективности работы системы освещения давать через закономерности изменения светораспределения осветительного прибора в зависимости от типа лампы и напряжения источника питания. В качестве таких закономерностей в работе получены кривые силы света для осветительного прибора НСП 02-100-001УХЛ с лампой накаливания, светодиодной лампой и компактной люминесцентной лампой при трех уровнях напряжения: 200, 220, 240 В. В результате было установлено, что при равных значениях светового потока в номинальном ре-

жиме работы среднее значение силы света осветительного прибора с условным источником света следующее: для ламп накаливания – 529 кд/кЛм, для светодиодной лампы – 534, для компактной люминесцентной лампы – 433 кд/кЛм. Данные зависимости позволили построить пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности, по которым смоделированы системы освещения производственного складского помещения. Доказано, что изменение распределения силы света является причиной корректировки схем расположения осветительных приборов (требуется изменение количества световых точек для ламп накаливания и светодиодных ламп, а для компактных люминесцентных ламп – еще и высоты подвеса). При нормированной освещенности 20 лк и отклонении напряжения $\Delta U = \pm 20\text{В}$ от U_n удельная установленная мощность системы освещения изменяется в пределах от 1,2 до 1,5 Вт/м² для светодиодных ламп и от 5,1 до 10,3 Вт/м² для ламп накаливания. Система освещения на

компактных люминесцентных лампах становится неэффективной.

Ключевые слова: осветительный прибор, кривая силы света, пространственные изолюксы, методика измерения светотехнических параметров, источник света, лампа накаливания, компактная люминесцентная лампа, светодиодная лампа, энергоэффективность.

Energy saving problem in lighting installations is of great importance due to continuous occurring increase in scales of lighting installations and consumption of electric power in them. Misuse takes place when in certain illuminant consumers a lamp of one type is changed for the lamp of another type, in total with unstable tension it can be one of the reasons of irrational energy consumption. It is offered to give an assessment of overall performance of the system of lighting through regularities of change of light distribution of the illuminant depending on the type of lamp and tension of the power supply. As such regularities in the study luminous intensity curves for the NSP 02-100-001UHL illuminant with the glow lamp, a LED lamp and a compact luminescent lamp at three levels of tension were received: 200, 220, 240 V. As a result it was established that at equal values of light stream in nominal operating mode average value of luminous intensity of the illuminant with conditional light source was the following: for glow lamps – 529 cd / klm, for a LED lamp – 534, for a compact luminescent lamp – 433 cd / klm. These dependences allowed constructing spatial isolux of conditional horizontal illumination in which the systems of illumina-

tion of production warehouse were simulated. It was proved that the change of distribution of luminous intensity was the reason of updating of illuminants arrangement (change of quantity of light points for glow lamps and LED lamps, and for compact luminescent lamps – also subweight heights was required) schemes. At rated illumination of 20 lx and tension deviation $\Delta U = \pm 20V$ from U_n the specific rated capacity of system of lighting changes ranged from 1.2 to 1.5 W/sq.m for LED lamps and from 5.1 to 10.3 W/sq.m in glow lamps. The system of lighting on compact luminescent lamps becomes inefficient.

Keywords: illuminant, light intensity curve, spatial isolux, technique of lighting parameters measurement, light source, glow lamp, compact luminescent lamp, LED lamp, energy efficiency.

Введение. Проблема энергосбережения в осветительных установках всех стран мира, не только передовых, но и развивающихся, приобрела за последние годы исключительное значение. Связано это, в значительной мере, с непрерывно происходящим увеличением масштабов осветительных установок (ОУ) и потреблением в них электроэнергии (ЭЭ).

Доли ЭЭ, расходуемые в ОУ различных стран мира, показаны в таблице 1. Как видно, на освещение направляется до 20 % всей генерируемой ЭЭ, при этом в ряде областей применения, например в промышленности, доля ЭЭ, идущей на освещение, достигает до 55 % и является доминирующей в энергетическом балансе сооружений [1].

Таблица 1

Распределение электроэнергии, расходуемой в ОУ, %

Страна	Σ	$\Sigma_{\text{пром}}$	$\Sigma_{\text{жил}}$	$\Sigma_{\text{общ.зд}}$
США	20	11	23	66
Германия	10	-	-	-
Япония	15	55	27	18
Индия	17	9	28	60
Китай	10-13	-	-	-
Бразилия	17	2	25	44

Примечание: Σ – доля всей энергии, вырабатываемой в стране и потребляемой на освещение в целом; $\Sigma_{\text{пром}}$, $\Sigma_{\text{жил}}$, $\Sigma_{\text{общ.зд}}$ – доля энергии, потребляемой ОУ в промышленности, жилищном секторе, общественных и коммунальных зданиях соответственно.

Усиление внимания к экономичности освещения сопровождается повышением требований к светильникам. Осветительные приборы и комплексы – исключительно широкая группа светотехнических изделий, от которых в значительной степени зависит эффективность использования электрической энергии в ОУ. Под осветительным прибором (ОП) в соответствии с ГОСТ Р 55392-2012 понимают устройство, предназначенное для освещения и содержащее один или несколько электрических источников света (ИС) и осветительную арматуру [2].

Важнейшей светотехнической характеристикой ОП является светораспределение, т. е. распределение его светового потока во внешнем пространстве, выражаемое через распределение силы света или освещенности по заданной поверхности. Распределение силы света ОП общего освещения и прожекторов характеризуется пространственной плотностью светового потока, т. е. формой фотометрического тела ОП, и описывается кривыми силы света (КСС) [2].

В работе [3] указано, что при разработке ОП учитывают свойства ИС, одним из которых являются размеры светящейся поверхности, от которых зависит форма КСС. Рекомендации [4] позволяют дать оценку влияния изменения напряжения на потребляемую мощность, световой поток, световую отдачу, срок службы ИС. Однако в литературе нет сведений об исследованиях, рассматривающих вопрос о том, как влияет некорректная замена одного типа источника света в ОП (рекомендуемая также производителями) на источник другого типа, в совокупности с нестабильным напряжением сети, на эффективность работы системы освещения с точки зрения искажения формы КСС ОП.

Цель исследования: определение закономерности влияния типа лампы и напряжения источника питания на распределение силы света ОП и эффективность работы системы освещения.

Методика исследования. Снятие КСС производили на стенде (рис. 1), позволяющем измерять освещенности в разных направлениях радиуса сферы вокруг ОП, например, через каждые 10°, т. е. под углами 10, 20, 30° и т. д., от оси симметрии. Расстояние от нити накала или центра лампы до точки замера освещенно-

сти (радиус сферы) равно 1 м. В эксперименте влияние постороннего излучения исключали, выполняя замеры в помещении без освещения. Температура воздуха в помещении $t = 20$ °С, относительная влажность $\varphi = 60$ %.

В эксперименте использовали ОП НСП 02-100-001УХЛ, предназначенный для общего освещения влажных, сырых, пыльных (в том числе пожароопасных зон), производственных помещений, в постройках хозяйственно-бытового назначения (сарай, гаражи, подвалы).

Для эксперимента выбирали три типа ламп с близким по величине световым потоком $\Phi \approx 700$ лм: лампа накаливания (ЛН) «Лисма» мощностью $P = 60$ Вт, компактная люминесцентная лампа (КЛЛ) ASD мощностью $P = 15$ Вт, светодиодная лампа (СИД) ASD мощностью $P = 7$ Вт.

Порядок определения силы света и построения КСС для ОП с тремя типами ламп следующий [5]:

1. Собирали схему измерительной установки по рисунку 2 и устанавливали с помощью автотрансформатора ATV номинальное напряжение $U=220$ В для осветительного прибора с ЛН.

2. Перемещая датчик люксметра на стенде, устанавливали необходимый угол для вычисления силы света: 10, 20, 30, 40 и т. д.

3. Для каждого угла люксметром измеряли освещенность в выбранном направлении.

4. Определяли силу света, кд,

$$I_{\alpha} = \frac{E_{\alpha} l^2}{\cos \beta}, \quad (1)$$

где E_{α} – освещенность плоскости, перпендикулярной рассматриваемому направлению, измеренной люксметром, лк; l – расстояние от источника до места замера, м; β – угол падения светового потока на фотоэлемент люксметра, в данном случае угол равен 0°.

5. Полученные данные распределения силы света приводили к источнику с условным световым потоком 1000 лм по формуле

$$I_{\alpha}^{1000} = \frac{1000 I_{\alpha}}{\Phi}, \quad (2)$$

где Φ – световой поток лампы, лм; I_{α}^{1000} – значения силы света светильника с условным источником света, кд/кЛМ.

Результаты опытов и расчетов, а также справочные данные сводили в таблицу.

6. Далее опыт повторяли при напряжении 200 и 240 В.

7. Затем аналогичные опыты производили с КЛЛ и СИД.

8. По опытным данным вычерчивали в полярных координатах КСС для ОП с тремя типами ламп.

Результаты исследования. В таблице 2 даны результаты расчетов силы света ОП с условным источником света по трем типам

ламп. На рисунке 3 представлены кривые силы света для ОП НСП 02-100-001УХЛ.

При равных значениях светового потока в номинальном режиме работы среднее значение силы света ОП с условным источником света для ЛН $I_{cp}=529$ кд/кЛМ, для СИД $I_{cp}=534$ кд/кЛМ, для КЛЛ $I_{cp}=433$ кд/кЛМ. При увеличении напряжения на 20 В I_{cp} для ЛН увеличивается на 33 %, для СИД – на 5 %, для КЛЛ I_{cp} снижается на 8 %. При снижении напряжения на 20 В I_{cp} для ЛН снижается на 33 %, для СИД – на 18 %, для КЛЛ – на 18,5 %.

Используя полученные данные, строили пространственные изолюксы по методике, изложенной в [6] (рис. 4).

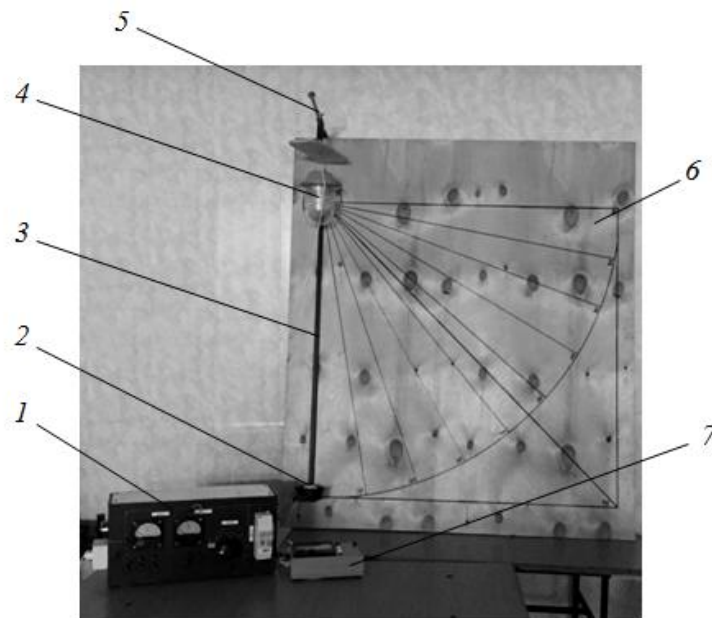


Рис. 1. Стенд для определения характеристик ОП:
 1 – блок управления с приборами и автотрансформатором; 2 – датчик люксметра; 3 – подвижный рычаг; 4 – светильник НСП 02-100-001УХЛ; 5 – горизонтальная штанга с поворотной площадкой; 6 – планшет; 7 – люксметр

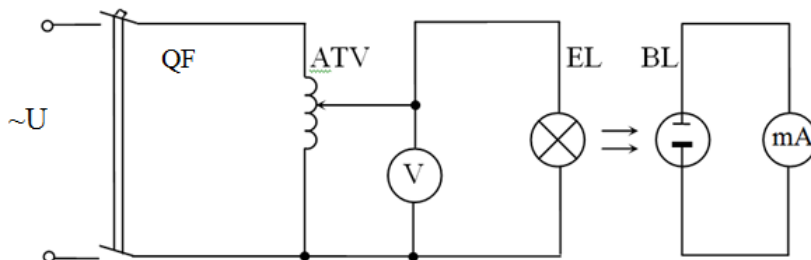


Рис. 2. Электрическая схема стенда

Расчетное значение силы света I_{α} , кд/кЛМ

Напряже- ние, В	Угол для вычисления силы света, град.										
	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
для ЛН «Лисма» Р=60 Вт, Ф=710 лм, С=12 руб.											
220	422	394	436	563	591	584	570	598	577	556	542
200	281	267	288	366	394	373	392	408	391	380	373
240	549	521	563	739	788	795	774	809	767	732	718
для СИД ASD Р=7 Вт, Ф=630 лм, С=97 руб.											
220	345	350	345	345	355	360	360	345	315	290	260
200	310	310	305	305	315	320	320	300	280	255	230
240	365	365	370	360	375	380	370	360	335	305	270
для КЛЛ ASD Р=15 Вт, Ф=750 лм, С=107 руб.											
220	290	300	310	340	360	370	370	360	330	320	295
200	235	240	255	275	295	300	305	290	270	260	250
240	260	280	290	310	340	345	340	330	300	295	275

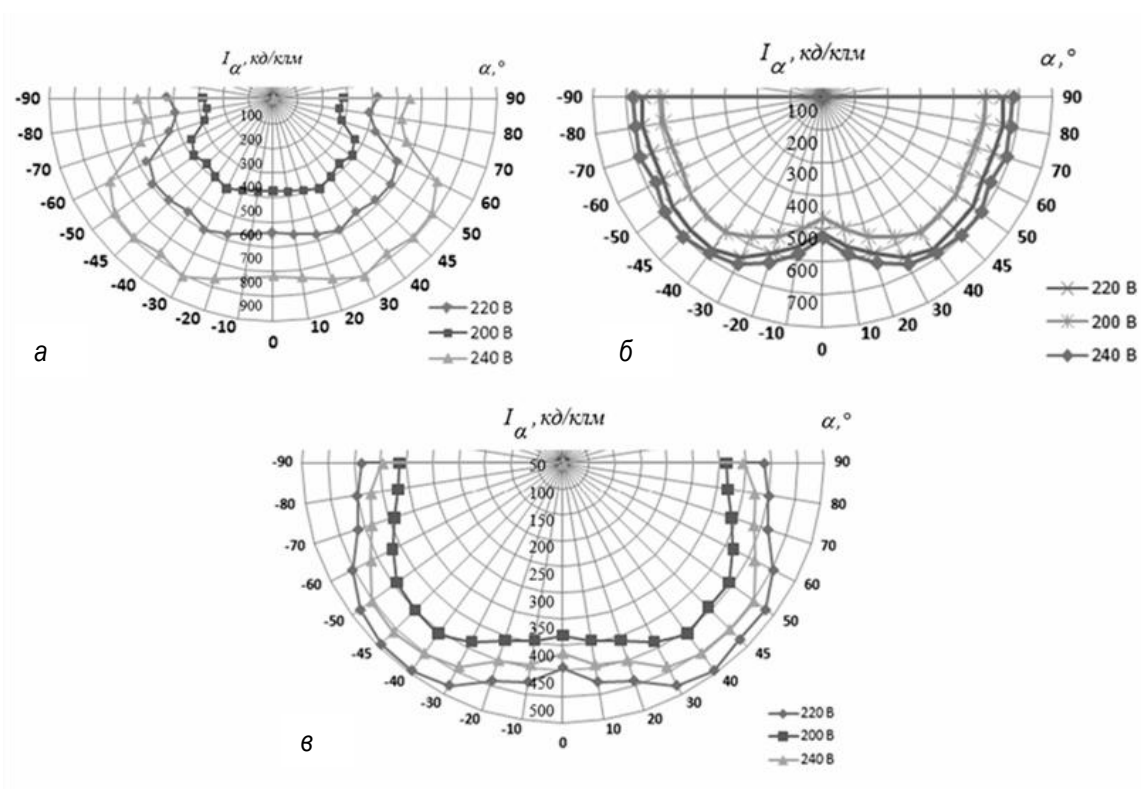


Рис. 3. Кривые силы света для ОП НСП 02-100-001УХЛ: а – с ЛН; б – с СИД; в – с КЛЛ

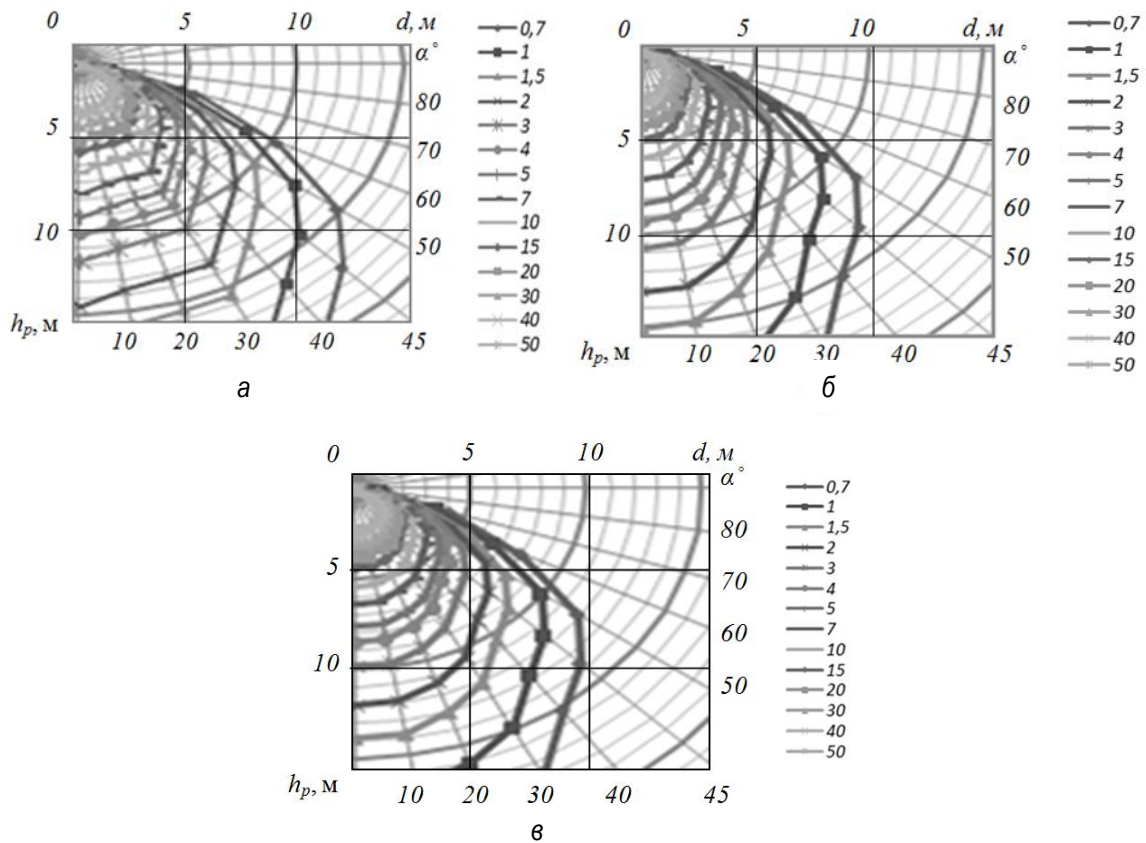


Рис. 4. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности от ОП НСП 02-100-001УХЛ при U=220 В: а – с ЛН; б – с СИД; в – с КЛЛ

Пользуясь пространственными изолюксами, производили расчет системы освещения точечным методом на примере здания со складским помещением (рис. 5).

где E_n – нормированная освещенность, лк; k_3 – коэффициент запаса; μ – коэффициент добавочной освещенности; $\sum e$ – сумма относительных условных освещенностей от ближайших светильников, лк.

$$\Phi = \frac{1000 E_n \cdot k_3}{\sum e \cdot \mu}, \quad (3)$$

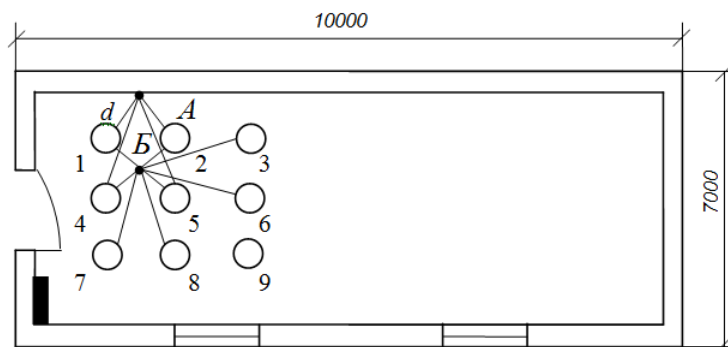


Рис. 5. К расчету точечным методом для складского помещения

Помещение прямоугольной формы размерами 10×7×3,5 м, норма освещенности $E_{лн}=20$ лк, $E_{грл}=30$ лк [7], $k_3=1,5$, $\mu=1,1$, расчетная высота

подвеса светильника $h_p=3$ м. Исходя из известного светового потока лампы, определяли по $\sum e$ расстояние d от ОП до расчетной точки с мини-

мальной освещенностью. Затем находили расстояние между ОП и между рядами ОП. Расчет проводили по трем вариантам систем освещения для режима работы ламп при напряжении

$U=220$ В. Подобные расчеты выполняли для режимов работы при напряжении 200 и 240 В, пользуясь пространственными изолюксами, изображенными на рисунке 6.

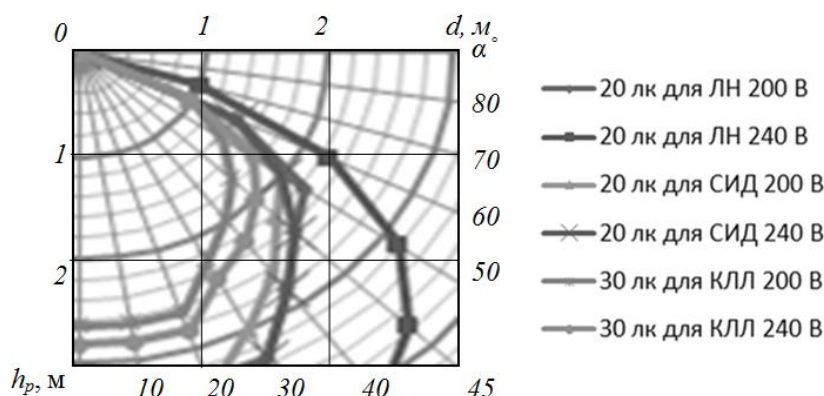


Рис. 6. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности от ОП НСП 02-100-001УХЛ при напряжении 200 и 240 В

Далее определяли расход электроэнергии W , кВт·ч, для трех систем освещения при времени работы $t = 4300$ часов в год (табл. 3).

$$W = P \cdot N \cdot t, \quad (4)$$

где P – мощность лампы, кВт.

Для ЛН учитывали увеличение мощности на 12 Вт при увеличении напряжения на 20 В и снижение мощности на 12 Вт при снижении напряжения на 20 В [5], для КЛЛ [8] учитывали снижение мощности на 3 Вт при снижении напряжения на 20 В. Для СИД такое изменение не учитывали [9].

Таблица 3

Варианты систем освещения для режимов работы ОП

Варианты систем освещения	Количество световых точек N , шт.	Сумма относительных условных освещенностей Σe , лк	Нормированная освещенность E , лк	Расстояние до расчетной точки d , м	Расход электроэнергии W , кВт·ч в год	Удельная установленная мощность системы освещения $P_{уд}$, кВт/м ²
$U = 220$ В						
С ЛН	6	42	20	2,5	1548	0,0051
С СИД	12	42	20	1,8	361	0,0012
С КЛЛ	12	55	30	1,6	774	0,0026
$U = 200$ В						
С ЛН	12	42	20	1,5	2477	0,0103
С СИД	15	42	20	1,2	452	0,0015
С КЛЛ	-	55	30	Менее 0,5 м	-	-
$U = 240$ В						
С ЛН	6	42	20	2,7	1858	0,0051
С СИД	12	42	20	1,5	361	0,0012
С КЛЛ	-	55	30	Менее 0,5 м	-	-

При изменении напряжения питающей сети система освещения на КЛЛ становится неэф-

фективной в силу повышенных норм освещенности для данного типа ламп и необходимости

изменения высоты подвеса ОП для корректировки параметров схемы.

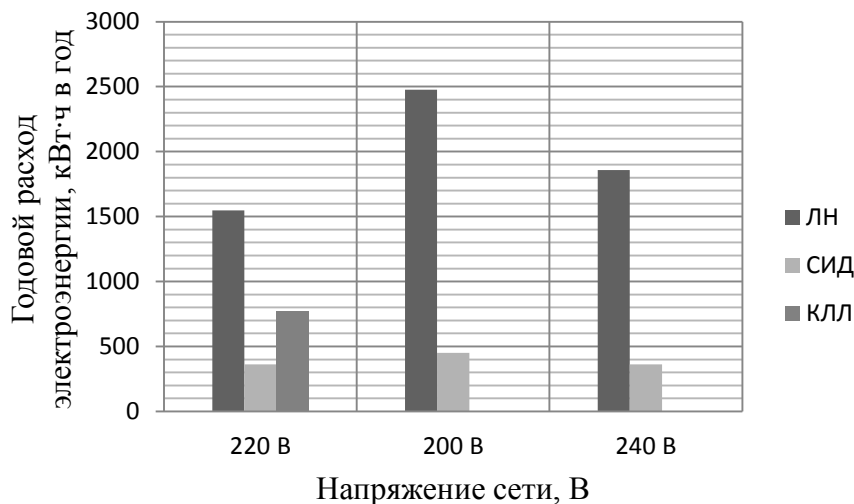


Рис. 7. Потребление электроэнергии системами освещения с тремя видами ламп при различных режимах работы сети

Наиболее энергозатратной является система освещения с ЛН при $U = 200$ В, $W = 2477$ кВт·ч в год; самой энергоэффективной – с СИД при $U = 220...240$ В, $W = 361$ кВт·ч в год.

Выводы

1. Экспериментальным путем доказано, что замена источника света одного типа на другой с одинаковым световым потоком в светильнике при нестабильном напряжении приводит к изменению распределения силы света. Для ОП НСП 02-100-001УХЛ с ЛН, КЛЛ и СИД со световым потоком $\Phi \approx 700$ лм среднее значение силы света варьируется в пределах 433–534 кд/кЛМ.

2. Изменение распределения силы света является причиной корректировки схем расположения ОП (требуется изменение количества световых точек для ЛН и СИД, а для КЛЛ – еще и высоты подвеса).

3. При нормированной освещенности 20 лк и отклонении напряжения $\Delta U = \pm 20$ В от U_n удельная установленная мощность системы освещения изменяется в пределах от 1,2 до 1,5 Вт/м² для СИД и от 5,1 до 10,3 Вт/м² для ЛН. Система освещения на КЛЛ становится неэффективной.

Литература

1. Айзенберг Ю.Б. Проблема энергосбережения в осветительных установках. Энергосовет. – URL: <http://www.energosoвет.ru/stat707.html> (дата обращения: 03.01.2017).
2. ГОСТ Р 55392-2012. Приборы и комплексы осветительные. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 43 с.
3. Айзенберг Ю.Б. Основы конструирования световых приборов: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 704 с.
4. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебник. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с.
5. Долгих П.П., Кунгс Я.А., Цугленок Н.В. Лабораторный практикум и курсовое проектирование по освещению и облучению: учеб. пособие / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2002. – 281 с.
6. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 1992. – 448 с.
7. ОСН-АПК 2.10.24.001-04. Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений / Гипронисельхоз. – М., 2004. – 35 с.

8. Черепанов В.В., Коротаев А.В. Исследование характеристик компактных люминесцентных ламп // Энергосовет. – 2011. – № 3(16) – С. 65–68.
9. Филонович А.В., Горлов А.Н., Филатов Е.А. Потребление электроэнергии светодиодными светильниками при снижении напряжения // Прогрессивные технологии и процессы: сб. науч. ст. междунар. молодежной науч.-практ. конф.: в 2 т. – Курск: Университетская книга, 2014. – С. 218–220.
5. Dolgih P.P., Kungs Ja.A., Cuglenok N.V. Laboratornyj praktikum i kursovoe proektirovanie po osveshheniju i oblucheniju: ucheb. posobie / Krasnojarsk. gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 2002. – 281 s.
6. Knorring G.M., Fadin I.M., Sidorov V.N. Spravochnaja kniga dlja proektirovanija jelektricheskogo osveshhenija – 2-e izd., pere-rab. i dop. – SPb.: Jenergoatomizdat. Sankt-Peterburgskoe otd-nie, 1992. – 448 s.
7. OSN-APK 2.10.24.001-04. Normy osveshhenija sel'skohozjajstvennyh predpriyatij, zdanij i sooruzhenij / Gipronisel'hoz. – M., 2004. – 35 s.
8. Cherepanov V.V., Korotaev A.V. Issledovanie harakteristik kompaktnyh ljuminescentnyh lamp // Jenergosovet. – 2011. – № 3(16) – S. 65–68.
9. Filonovich A.V., Gorlov A.N., Filatov E.A. Potreblenie jelektrojenergii svetodiodnymi svet-il'nikami pri snizhenii naprjazhenija // Progres-sivnye tehnologii i processy: sb. nauch. st. mezhdunar. molodezhnoj nauch.-prakt. konf.: v 2 t. – Kursk: Universitetskaja kniga, 2014. – S. 218–220.

Literatura

1. Ajzenberg Ju.B. Problema jenergosbere-zhenija v osvetitel'nyh ustanovkah. Jenergo-sovet. – URL: <http://www.energosoвет.ru/stat707.html> (data obrashhenija: 03.01.2017).
2. GOST R 55392-2012. Pribory i komplekсы osvetitel'nye. Terminy i opredelenija. – M.: Standartinform, 2014. – 43 s.
3. Ajzenberg Ju.B. Osnovy konstruirovaniya svetovyh priborov: ucheb. posobie dlja vuzov. – M.: Jenergoatomizdat, 1996. – 704 s.
4. Kozlovskaja V.B., Radkevich V.N., Sacukevich V.N. Jelektricheskoe osveshhenie: uchebник. – Minsk: Tehnoperspektiva, 2011. – 543 s.

