

Электротехника

УДК 628.931

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ В РОССИИ

Г.Я. Вагин, Е.Б. Солнцев, О.Ю. Малафеев

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

В настоящее время в России отсутствует постоянный мониторинг установленного парка источников света, его характеристик и энергопотребления на освещение. Это затрудняет составление планов производства и внедрения энергосберегающих источников света и анализ их выполнения. В работе выполнена оценка количества установленного парка источников света и объемов электропотребления на освещение как в целом по РФ, так и по секторам потребления. Для верификации результатов предложен метод расчета общего количества светоточек на основании емкости рынка ламп. Сравнение результатов показывает хорошую сходимость обоих методов. Использование полученных результатов позволяет организовать постоянный мониторинг внедрения энергосберегающих источников света и электропотребления на освещение в различных секторах экономики России и более обоснованно разрабатывать планы по производству и внедрению этих источников света.

Ключевые слова: *источники света, характеристики систем освещения, электропотребление на освещение по секторам потребления.*

Введение

В последние годы в России активизировалась работа по внедрению энергосберегающих источников света и светильников. В нормативных документах, таких как 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» и «Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года», а также в работах [1, 2] намечены соответствующие мероприятия. Однако проведенное авторами исследование показывает, что намеченные сроки внедрения срываются. Это объясняется несколькими факторами: 1) большой долей импорта таких источников света и введенными экономическими санкциями; 2) падением курса рубля; 3) отсутствием технических регламентов на разработку и внедрение энергосберегающих источников света; 4) отсутствием информации о количестве и видах установлен-

Геннадий Яковлевич Вагин (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника».

Евгений Борисович Солнцев (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника».

Олег Юрьевич Малафеев, ассистент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника».

ных источников света как в целом по России, так и по отдельным секторам экономики, и другими [1–4].

Целью и задачей данного исследования является разработка методики оценки количества установленных источников света в целом по стране и по отдельным секторам экономики.

В качестве исходных данных послужили результаты энергетических обследований систем освещения России, проведенных в 2013 году, а также данные отчетов по проекту ПРООН-ГЭФ/Минэнерго РФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения в России». Исследования проводились в шести основных секторах экономики: промышленном, общественном, жилищном, сельскохозяйственном, транспортном и строительном. Охвачено также наружное освещение. Обработка результатов энергетических обследований проводилась по рекомендациям [5].

Промышленный сектор. Оценка объемов потребления и установленного парка источников света в промышленности может проводиться двумя методами:

- 1) на основе данных о доле освещения в суммарном объеме потребляемой электроэнергии;
- 2) на основе данных по площадям промышленных предприятий и удельным расходам электроэнергии на единицу площади.

Исследование, проведенное авторами, показало, что второй метод дает большую погрешность. Для его применения необходимо большое количество исходных данных, которые можно получить только при энергетических обследованиях предприятий. Поэтому расчет выполнен по первому методу.

В табл. 1 приведены данные по потреблению электроэнергии в 2013 г. и доле потребления на освещение в отраслях промышленности по данным Росстата РФ [6].

Таблица 1

Годовое потребление электроэнергии в промышленности

Отрасли промышленности	Суммарное потребление, млрд кВт·ч [6]	Потребление на освещение	
		% [6]	млрд кВт·ч
Добыча полезных ископаемых	126,0	4,5	5,67
Обрабатывающая промышленность	328,137	7,4	24,282
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	110,85	2,5	2,771
Итого	564,987		32,723

Таблица 2

Потребление электроэнергии на внутреннее и наружное освещение

Отрасли промышленности	Доля распределения потребления, %		Годовое потребление электроэнергии, млрд кВт·ч	
	Внутреннее	Наружное	Внутреннее	Наружное
Добыча полезных ископаемых	10	90	0,567	5,103
Обрабатывающая промышленность	95	5	23,068	1,214
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	95	5	2,633	0,139
Итого			26,268	6,456

В табл. 2 приведено потребление электроэнергии на внутреннее и наружное освещение в промышленности в 2013 г. (доли распределения потребления получены на основании экспертных оценок).

Количество светоточек наружного освещения определяется по выражению

$$N_{\text{н.осв}} = \frac{W_{\text{г.н.осв}}}{T_{\text{г.н.осв}} \cdot P_{\text{ср.н.осв}}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{г.н.осв}}$ – годовое потребление электроэнергии;

$T_{\text{г.н.осв}}$ – среднее годовое время работы системы наружного освещения;

$P_{\text{ср.н.осв}}$ – средняя мощность светильников наружного освещения.

На основании [7] принято $T_{\text{г.н.осв}} = 3600$ ч, $P_{\text{ср.н.осв}} = 0,4$ кВт.

В табл. 3 приведены результаты расчетов среднего количества светоточек наружного освещения всех отраслей промышленности в 2013 г.

Таблица 3

Количество светоточек наружного освещения в промышленности

Отрасли промышленности	Количество светоточек, млн шт.
Добыча полезных ископаемых	3,543
Обрабатывающая промышленность	0,845
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	0,096
Итого	4,483

Внутреннее освещение разбивается на освещение производственных помещений и административно-бытовых. Расчет количества светоточек производится по выражению, аналогичному (1). Для производственных помещений принято [7]: $T_{\text{г.п.осв}} = 2600$ ч, $P_{\text{ср.п.осв}} = 0,4$ кВт. Для административно-бытовых принято люминесцентное освещение [7]: $T_{\text{г.а.осв}} = 2600$ ч, $P_{\text{ср.а.осв}} = 0,08$ кВт.

В табл. 4 приведены результаты расчета количества светоточек производственных и административно-бытовых помещений. В табл. 5 приведены сводные данные по количеству светоточек в промышленности.

Таблица 4

Количество светоточек внутреннего освещения в промышленности

Отрасли промышленности	Доля распределения, %		Количество светоточек, млн шт.	
	Производственные помещения	Административно-бытовые	Производственные помещения	Административно-бытовые
Добыча полезных ископаемых	50	50	0,273	1,363
Обрабатывающая промышленность	70	30	15,527	33,271
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	95	5	2,405	0,633
Итого			18,204	35,267

Сводные данные по количеству светоточек в промышленности

Отрасли промышленности	Кол-во светоточек, млн шт.		Всего, млн шт.
	Наружное освещение	Внутреннее освещение	
Добыча полезных ископаемых	3,543	1,636	5,179
Обрабатывающая промышленность	0,845	48,798	49,643
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	0,096	3,038	3,134
Итого	4,483	53,471	57,956

Строительство. По данным Росстата РФ, в 2013 г. потребление электроэнергии на данный сектор составило 12,293 млрд кВт·ч. По данным энергетических обследований и экспертных оценок доля на освещение составляет 2 %, или 245,86 млн кВт·ч; годовое число часов работы системы освещения принимается 5 000 часов, средняя мощность светильников 0,1 кВт. По выражению, аналогичному (1), определяем число светоточек, оно составляет 0,492 млн шт. Мощность системы освещения по данному сектору составляет 49,2 тыс. кВт.

Таблица 6

Результаты расчета характеристик систем освещения на транспорте

Вид транспорта	Потребление электроэнергии, млрд кВт·ч [6]	Доля на освещение, % [6]	Потребление электроэнергии на освещение, млрд кВт·ч	Количество светоточек, млн шт.
Транспорт – всего,	90,378			
в том числе:				
– железнодорожный с электротягой	44,753			
– железнодорожный без электротяги	6,034	7	0,422	1,056
– прочий сухопутный	7,516	7	0,526	1,315
– трамвайный и троллейбусный	2,646	5	0,132	0,331
– метрополитен	2,858	7	0,2	0,333
– перекачка нефти и нефтепродуктов	15,667	2	0,313	0,522
– перекачка газа и продуктов его переработки	10,904	2	0,218	0,363
Итого	90,378		1,811	3,920

Транспорт. По данным Росстата РФ, в 2013 г. потребление электроэнергии по данному сектору составило 90,378 млрд. кВт ч. Средняя мощность светильников принята 0,1 кВт; годовое число часов работы освещения принимается:

– железнодорожный без электротяги, прочий сухопутный, трамвайный и троллейбусный виды транспорта – 4000 ч;

– метрополитен, перекачка нефти и нефтепродуктов, перекачка газа и продуктов его переработки – 6000 ч.

В табл. 6 приведены результаты расчета потребления электроэнергии и количества светоточек на транспорте в 2013 г.

Общественный сектор. Он делится на государственный (муниципальный) и частный. Общая площадь государственного и муниципального нежилого фонда составляет¹ 476 889 тыс. кв. м. Общая площадь частного нежилого фонда составляет 250 290 тыс. кв.м.

Основным источником внутреннего освещения зданий этого сектора являются люминесцентные лампы. Согласно МГСН 2.01-99 среднюю удельную мощность общего равномерного освещения при люминесцентном освещении можно принять равной 2,5 Вт/м² при освещенности 100 лк и КПД светильника 100 %. Годовое число часов работы освещения принято 3 600 часов [7]. Средняя мощность источников света принята равной 0,022 кВт.

Годовое потребление электроэнергии системой внутреннего освещения определяется по выражению

$$W_{г.общ.с} = W_{г.гос.с} + W_{г.част.с} \quad (2)$$

где $W_{г.гос.с}$, $W_{г.част.с}$ – годовые потребления электроэнергии государственного и частного секторов, которые определяются по выражению, ТВт·ч [3]:

$$W_{г.i} = P_{уд} \cdot F_i \cdot \frac{E_{нормi}}{100} \cdot T_{гi} \cdot \frac{100}{\eta_{св}} \cdot K_c \cdot 10^{-9}, \quad (3)$$

где $P_{уд}$ – удельная мощность общего равномерного освещения, Вт/м²;

F_i – площадь основных или вспомогательных помещений, м²;

$E_{нормi}$ – нормируемая освещенность, лк (согласно СП 52.13330.2011 принято 300 лк);

$T_{гi}$ – среднее годовое число часов работы освещения, ч;

$\eta_{св}$ – КПД светильников (принят 60 %);

K_c – коэффициент спроса (принят 0,9).

В табл. 7 приведены результаты расчета потребления электроэнергии и количества светоточек в общественном секторе.

Таблица 7

Результаты расчета характеристик систем освещения в общественном секторе

Вид общественного сектора	Годовое потребление электроэнергии, млрд кВт·ч	Установленная мощность систем освещения, млн кВт	Количество светоточек, млн шт.
Государственный и муниципальный	20,846	5,791	263,209
Частный	10,941	3,039	138,142
Итого	31,787	8,830	401,351

¹ Данные предоставлены Эколого-энергетическим рейтинговым агентством Интерфакс-ЭРА и тематическим сообществом «Энергоэффективность и энергосбережение».

Городское и сельское население. По данным Росстата РФ, в 2013 г. потребление электроэнергии по данному сектору составило 140,971 млрд кВт·ч. Доля на освещение составляет 20 %, что равно 28,194 млрд кВт·ч. Годовое число часов работы системы освещения принимаем 1200 ч [7], среднюю мощность источников света принимаем 0,04 кВт. По выражению, аналогичному (1), определяем число светоточек, оно составляет 587,379 млн шт. Установленная мощность системы освещения составляет 23,495 млн кВт.

Сельское хозяйство. По данным Росстата РФ, в 2013 г. потребление электроэнергии на данный сектор экономики составило 15,286 млрд кВт·ч. По данным энергетических обследований, доля на освещение составляет 15 %, или 2,293 млрд кВт·ч; годовое число часов работы системы освещения принимается 4000 ч, средняя мощность светильников 0,1 кВт. По выражению, аналогичному (1), определяем число светоточек, оно составляет 5,732 млн шт. Мощность системы освещения по данному сектору составит 573,2 тыс. кВт.

Наружное освещение. Протяженность освещенных улиц, проездов и набережных в России составляет² 335 598 км. Расстояние между опорами уличного освещения – 35–45 м. Средняя мощность светильников – 0,2 кВт. Время работы освещения – 3600 ч в год.

Таблица 8

Оценка электропотребления на освещение по секторам экономики в 2013 г.

Статьи расходного баланса	Годовое потребление на освещение, млрд кВт·ч	Установленная мощность освещения, млн кВт	Количество светоточек, млн шт.
Промышленный сектор	32,723	11,896	57,956
Сельское хозяйство	2,293	0,573	5,732
Строительство	0,246	0,049	0,492
Транспорт	1,811	0,392	3,92
Общественный сектор	31,787	8,830	401,351
Городское и сельское население	28,194	23,495	587,379
Наружное освещение	6,131	1,703	8,390
Итого	103,186	46,9	1065,22

² Источники данных:

– данные отчета «Исследование и сбор информации для формирования базы данных проектов для тиражирования пилотного проекта по уличному освещению» ПРООН/ГЭФ (www.undp-light.ru/results/16/file/0/235/PROPERTY_25/74/?download=y);

– данные, найденные в сети (преимущественно сайты муниципалитетов городов и сайты Горсвета различных городов);

– результаты анкетирования и данные опросных листов;

– единая межведомственная информационно-статистическая система (<http://www.fedstat.ru/>).

Определяем количество светоточек:

$$N_{\text{св.н}} = 335598 / 0,04 = 8,39 \text{ млн шт.}$$

Суммарная установленная мощность:

$$P_{\Sigma\text{оосв.}} = 0,2 \cdot 8,39 = 1,703 \text{ млн кВт.}$$

Годовой объем потребления электроэнергии:

$$W_{\text{г.осн.н}} = 1,703 \cdot 3600 = 6,131 \text{ млрд. кВт}\cdot\text{ч.}$$

Оценка суммарного электропотребления и установленного парка светотехнического оборудования в России в 2013 г. приведена в табл. 8. Доля потребления на освещение составила 11,1 % от общего электропотребления. Современные световые технологии позволяют сэкономить около 40 % потребляемой электроэнергии [8], что соответствует 41,3 млрд кВт·ч в год.

Верификация результатов. Для оценки корректности полученных результатов (табл. 8) проведено сравнение общего количества светоточек на основании емкости рынка ламп (производство и импорт) в 2013 г. Для этого, зная средний срок службы каждого типа ламп и среднее время их использования в течение года (табл. 9), вычислим интенсивность замены каждого типа ламп:

$$K_{\text{и}} = \frac{T_{\text{сл.л}}}{T_{\text{и.г}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{сл.л}}$ – срок службы ламп, ч; $T_{\text{и.г}}$ – среднее время использования ламп в течение года, ч.

Таблица 9

Средний срок службы и среднее время использования ламп в течение года

Тип ламп	Средний срок службы, ч [8]	Среднее время использования, ч [7]
Лампы накаливания (ЛН)	1000	1400
Галогенные (ГЛН)	2000	2000
Люминесцентные (ЛЛ)	10000	4000
Компактные люминесцентные (КЛЛ)	6000	3000
Светодиодные (СИД)	20000	4000
Натриевые (ДНаТ)	12000	3000
Металлогалогенные (МГЛ)	10000	4000
Ртутные (ДРЛ)	10000	4000

Количество установленных ламп (табл. 10) каждого типа определяется по выражению

$$N_{\text{ли}} = N_{\text{л.р}} \cdot K_{\text{и}i}. \quad (5)$$

Количество установленных ламп*

Тип ламп	Емкость рынка ламп (производство и импорт), $N_{л.р}$, млн шт. [3]	$K_{и}$ (4)	Количество установленных ламп, $N_{ли}$, млн шт.
ЛН	436,4	0,714	311,714
ГЛН	53	1,0	53
ЛЛ	121,7	2,5	302,5
КЛЛ	124,5	2,0	249
СИД	53,9	–	71,04*
ДНаТ	2,4	4,0	9,2
МГЛ	1,5	2,5	3,75
ДРЛ	8,7	2,5	21,5
ИТОГО	802,1		1021,704

* В связи со стремительным ростом рынка светодиодного оборудования и достаточно большим сроком его службы количество СИД определялось по динамике изменения рынка СИД в 2011-2014 гг. [3].

Сравнение итоговых результатов расчета (табл. 8 и 10) показывает хорошую сходимость обоих методов расчета количества установленных ламп. Расхождение результатов не превышает 5 %.

Заключение

Проведены оценки установленного парка источников света и объемов электропотребления как в целом по РФ, так и по всем секторам экономики. Это позволяет организовать постоянный мониторинг энергоэффективности электропотребления на освещение в различных секторах экономики России, более обоснованно разрабатывать планы по разработке и внедрению энергоэффективных источников света.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Циссис Ж., Айзенберг Ю.Б., Шевченко А.С. Формирование светотехнического рынка России для повышения энергоэффективности освещения // Светотехника. – 2009. – № 6. – С. 42–48.
2. Шевченко А.С. Программа продвижения энергоэффективного освещения в России // Светотехника. – 2014. – № 1–2. – С. 112–117.
3. Анализ состояния и перспектив рынка светотехнической продукции в странах Евразийского экономического союза / Программа развития Организации Объединенных Наций (ПРООН), 2015. – 78 с.
4. Вагин Г.Я., Терентьев П.В., Малафеев О.Ю. О необходимости корректировки нормативных документов по показателям энергетической эффективности источников света // Промышленная энергетика. – 2015. – № 12. – С. 30–33.
5. Жежеленко И.В., Кротков Е.А., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей: 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: СамГТУ, 2001. – 195 с.
6. Российский статистический ежегодник. 2013: Стат. сб. / Росстат. – М., 2013. – 717 с.
7. Экономия энергоресурсов в промышленности, бюджетных организациях, жилищно-коммунальном хозяйстве: справ.-метод. пособие / Авт.-сост. Г.Я. Вагин, С.Ф. Сергеев. – НГТУ, ДПИ. – Н. Новгород, 2007. – 280 с.

8. Энергоэффективное электрическое освещение: Учеб. пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, В.Д. Поляков и др.; под ред. Л.П. Варфоломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 288 с.

Статья поступила в редакцию 11 июля 2016 г.

ESTIMATION OF CHARACTERIZATION OF LIGHTING SYSTEMS IN RUSSIA

G.Ya. Vagin, E.B. Solntsev, O.Yu. Malafeev

Nizhniy Novgorod State Technical University
24, Minina str., Nizhniy Novgorod, 603950, Russian Federation

At present in Russia there is no continuous monitoring of the set number of light sources, characteristics and energy consumption for lighting . This complicates the planning of production and introduction of energy-saving light sources. Estimation of the total number of installed lamps and the electrical energy consumption for lighting both in Russia as a whole and by sectors: residential buildings, commercial buildings, industrial buildings, agricultural sector, transport sector and outdoor lighting. To verify the results a method of calculating the total number of installed lamps based on the capacity of lamps market was proposed. Comparison of the results shows a good convergence of both methods. The obtained results allow to organize continuous monitoring of energy efficiency of power consumption on lighting in Russia and more reasonably develop plans for implementation of energy-efficient light sources.

Keywords: *light sources, characteristics of lighting systems, electrical energy consumption for lighting by sectors.*

*Gennady Ya. Vagin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Evgeny B. Solntsev (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Oleg Yu. Malafeev, Assistant.*