

Освещение «сверху вниз» – альтернативный способ освещения заливающим светом¹

В. ЖАГАНЬ, К. СКАРЖИНСКИЙ

Варшавский технический университет, Варшава, Польша
E-mail: wojciech.zagan@ien.pw.edu.pl, krzysztof.skarzynski@ien.pw.edu.pl

Аннотация

Исследования, проведённые в данной работе, связаны с реальным объектом, освещаемым заливающим светом. Основная отличительная особенность этого объекта – торгового центра *Sezam* – заключается в направленности освещения заливающим светом (ОЗС). Здание торгового центра *Sezam* было одним из первых объектов, освещённых в направлении, противоположном привычному направлению ОЗС. Анализ, проведённый на основе результатов измерений горизонтальной освещённости на мостовой перед зданием и яркости фасада, позволяет сделать ряд очень интересных выводов. Этот анализ выходит за рамки простой оценки светового загрязнения, обусловленного ОЗС. Кроме того, в работе содержатся ответы более дюжины респондентов на вопросы о предпочтительной направленности ОЗС и световом загрязнении в целом. Оказалось, что люди вполне осознают наличие светового загрязнения и предпочитают ОЗС, направленное «сверху вниз».

Ключевые слова: освещение заливающим светом, световое загрязнение, паразитный свет, освещение заливающим светом «сверху вниз».

1. Введение

В настоящее время световое загрязнение становится всё более заметным, и многие организации считают его значительной угрозой. Наличие светового загрязнения связано с такими нежелательными явлениями, как свече-

ние неба, проникновение постороннего света в пределы частной собственности (*light trespass*), боковое рассеяние («разбрызгивание») света (*light spill*) и препятствование проведению астрономических наблюдений [1]. В последнее время были опубликованы различные технические отчёты [2, 3], стандарты и законодательные акты, связанные с контролем и ослаблением светового загрязнения. В разных странах по-разному подходят к защите окружающей среды от отрицательного воздействия паразитного света [4, 5], и до сих пор не разработан единый подход к решению указанной проблемы. Пока что все исследования были, в основном, направлены на поиск методов расчётов и измерений, обеспечивающих возможность количественного описания светового загрязнения [6–8]. В литературе световое загрязнение рассматривается в качестве одной из проблем современного освещения, которая должна быть решена в ближайшее время [9, 10].

2. Защита от паразитного света, создаваемого установками наружного освещения

Нормативные требования, устанавливающие предельные уровни паразитного света, создаваемого установками наружного освещения, являются долгожданным и крайне необходимым законодательным актом. Современные польские требования сводятся к одной таблице польского стандарта *PN-EN12464-2* [11] (табл. 1). Следует отметить, что этот стандарт представляет собой прямой перевод европейского стандарта *EN12464-2* [12].

В этом стандарте введены природные зоны *E1 – E4*, отличающиеся разными требованиями к световой среде.

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского.

Таблица 1

Максимальное количество паразитного света, допустимого для установок наружного освещения [11]

| Природная зона | Попадание света в окна, E_v , лк | | Сила света светильника I , кд | | Свет в верхнюю полусферу, URL , % | Яркость, $кд\cdot м^{-2}$ | |
|----------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | До начала периода ограничения освещения | Во время периода ограничения освещения | До начала периода ограничения освещения | Во время периода ограничения освещения | | До начала периода ограничения освещения, L_b | Во время периода ограничения освещения, L_s |
| E1 | 2 | 0 | 2500 | 0 | 0 | 0 | 500 |
| E2 | 5 | 1 | 7500 | 500 | 5 | 5 | 400 |
| E3 | 10 | 2 | 10000 | 1000 | 15 | 10 | 800 |
| E4 | 25 | 5 | 25000 | 2500 | 25 | 25 | 1000 |

а) В случае отсутствия указаний по ограничению наружного освещения, не допускается превышение более высоких значений, а в качестве предпочтительных следует принимать более низкие предельные значения.



Рис. 1. ТЦ Sezam. Вид фасада 1 (слева) и фасада 2 (справа) в ночное время



Рис. 2. Способ загоразивания светильников на фасаде ТЦ Sezam

Природная зона $E1$ (например, национальные парки) характеризуется самым низким уровнем яркости, тогда как природной зоне $E4$ (например, центры больших городов) соответствует самый высокий уровень яркости. Для каждой из зон установлены предельные уровни средней вертикальной освещённости E_v на фасадах зданий и яркости этих фасадов L_b или вывесок L_s в периоды до и после наступления периода ограничения освещения². Кроме того, учитываются такие параметры, как сила света I и свет в верхнюю полусферу URL . Однако на практике эти требования могут быть поняты неправильно. Имеются как многочисленные сомнения и вопросы по поводу этих вроде бы универсальных стандартов на освещении [13], так и местные интерпретации этих стандартов [4, 5]. Причиной этого являются попытки применить эти требования к конкретным схемам освещения, новым проектам и оценкам существующих установок наружного освещения. Кроме того, имеется ряд чрезвычайно важных вопросов, на которые следует ответить:

- Где следует измерять проникающий свет? Очевидно, что его следует измерять на окнах, но с какой, внешней или внутренней, стороны?

- Почему в направлениях, в которых возможно проникновение света, были установлены столь большие предельные значения силы света? Хотя эти значения силы света и были заявлены как максимально допустимые, они соответствуют силам света довольно мощных светильников.

- А как же URL ? Относится ли этот параметр к освещению заливающим светом (ОЗС) объектов или же он учитывает тот факт, что при освещении большинства зданий заливающим светом светильники направлены в небо ($URL = 100\%$)?

- Почему нет никакой зависимости между предельной средней яркостью вывесок и направлением наблюдения?

- Почему приемлемыми считаются такие большие значения яркостей вывесок? Они намного превышают сред-

ние яркости большинства дисплеев и экранов. Как известно, существуют носители объявлений, которые эффективны даже в условиях дневного зрения.

Без подробных разъяснений, нормы, содержащиеся в стандартах, неясны проектировщикам освещения (или даже приводят их в замешательство). В результате стандарты имеют малое практическое применение и, что важнее, ситуация остаётся такой же, как и до его появления.

3. Паразитный свет, создаваемый ОЗС

Приборы для наружного освещения могут создавать паразитный свет и световое загрязнение разными способами [1, 14], особенно те из них, которые предназначены для ОЗС [15]. Однако если учесть расходуемую на ОЗС электрическую мощность, то окажется, что это явление довольно незначительно по своим масштабам (например, по сравнению с освещением улиц). Тем не менее, в этой области всё же возможны улучшения. Если луч света направлен неверно (например, при освещении памятника), то он может попасть в окно жилого дома или гостиницы. В этом случае излучаемый светильником световой поток проникает внутрь объекта и может раздражать жильцов или даже мешать им спать. Если этот луч света имеет очень малую ширину и характеризуется таким большим значением силы света, что оно не удовлетворяет требованиям $PN-EN12464-2$ [11], то существует большая вероятность возникновения блёскости и, как следствие, жилец может быть ослеплён.

Светильники, предназначенные для ОЗС, обычно светят прямо в небо [17]. Поэтому все подобные светильники излучают в верхнюю полусферу 100 % своего светового потока независимо от точки фиксации луча. Из этого следует, что все реализованные до сих пор проекты ОЗС привели к увеличению как количества паразитного света, так и светового загрязнения. Похоже, что в стандартах на ОЗС должным образом сформулированы только те требования, которые связаны со средним уровнем яркости фасадов зданий. Если проект ОЗС разработан с учётом рекомендаций МКО [17], то средние уровни яркости не превышают пределов, установленных в $PN-EN12464-2$ [11].

В случае ОЗС уверенность в том, что все нормативные требования выполнены, легко обеспечить при наличии

² Период ограничения освещения (*curfew*) – это «время, на протяжении которого действуют жёсткие требования по ограничению нежелательного освещения. Этот режим устанавливается контролирующими органами, обычно местными властями». (CIE S017/E:2011 International Lighting Vocabulary, термин 0268). – Прим. пер.



Рис. 3. Высокая яркость дорожного покрытия как нежелательное следствие противоположной направленности ОЗС

экранирующих решёток и других специальных устройств, призванных уменьшить блёскость и ширину луча. Более того, правильный подход к проектированию ОЗС состоит в том, чтобы учитывать не только эстетические моменты, но и связанную с паразитным светом возможность использования тех или иных светильников [15].

Наибольшая проблема, возникающая при приведении установки ОЗС в соответствие с нормативными требованиями, связана с ограничением направленного вверх светового потока, т.е. параметра *URL* [1, 2]. Есть только одна возможность удовлетворения существующих требований, а именно, изменение способа организации ОЗС и угла, под которым световой поток падает на освещаемый объект. Вместо традиционного для ОЗС подхода «освещение снизу вверх» следует применить «освещение сверху вниз». Но возможно ли это? Окажутся ли приемлемыми изменение направленности распределения яркости на противоположное, эстетическое воздействие и типичные места образования теней? Окажется ли создаваемое впечатление тем же самым? Позволяет ли существующее осветительное оборудование освещать объект «сверху вниз»? Эти важные вопросы формируют основу для проведения моделирования, выполнения измерений и проведения небольшого опроса.



Рис. 4. Вид в ночное время ресторана, расположенного в анализируемом объекте

4. Изменение направленности ОЗС на противоположное

Гуляя в вечернее или ночное время по большинству городов Европы, можно заметить множество объектов, освещённых заливающим светом. Благодаря ОЗС можно наслаждаться красотой не только классической, но и современной архитектуры, например, торговых центров (ТЦ). Одним из наилучших примеров подобных архитектурных объектов является расположенный в Варшаве ТЦ *Sezam* (рис. 1).

Здание этого ТЦ выделяется на фоне окружающих его зданий не только благодаря своей необычной современной архитектуре, но и в связи с особенностями используемого в этом случае ОЗС. В отличие от большинства освещённых заливающим светом зданий, оно освещено в обратном направлении, то есть «сверху вниз». Следует отметить, что подобное освещение производит очень интересное эстетическое впечатление. Можно предположить, что в процессе проектирования этого ОЗС имело место тесное сотрудничество между теми, кто отвечал за внешний вид фасада здания ТЦ, и теми, кто отвечал за его освещение. Светильники, которые обеспечивают освещение, спрятаны в нишах (рис. 2) вдоль всего фасада здания настолько искусно, что трудно поверить, что это не было задумано изначально.

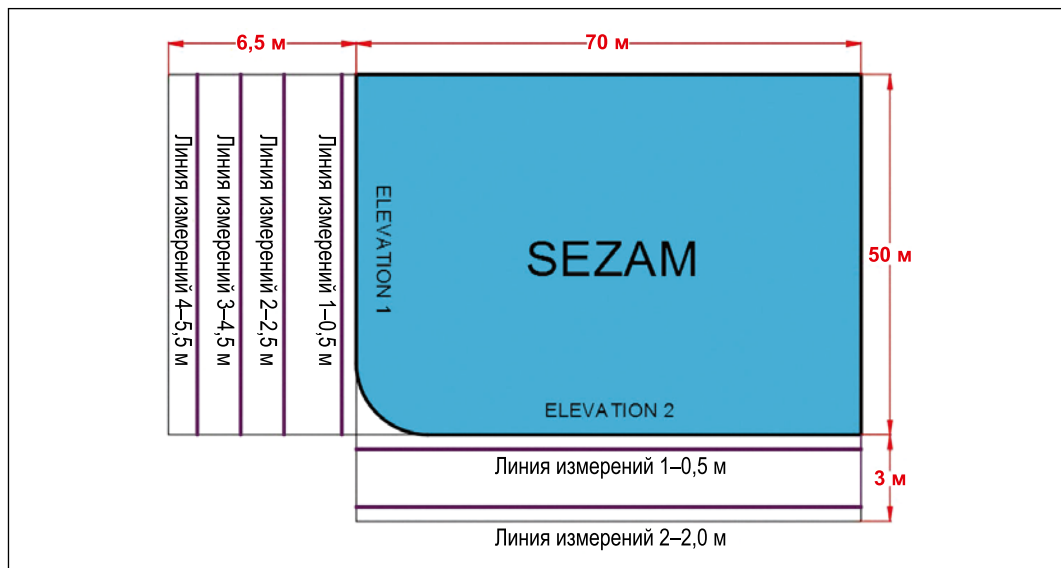


Рис. 5. Схема расположения линий измерения перед зданием ТЦ *Sezam*

Результаты измерений освещённости

| | $S, \text{ м}^2$ | $E_L, \text{ лк}$ | | | | $E_m, \text{ лк}$ | $E_{min}, \text{ лк}$ | $E_{max}, \text{ лк}$ | U_0^* |
|---------|------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------|
| | | Расстояния измерения, м | | | | | | | |
| | | 0,5 | 2,5 | 3,5 | 5,5 | | | | |
| Фасад 1 | 325 | 566 | 259 | 59 | 38 | 202 | 23 | 690 | 0,11 |
| Фасад 2 | 175 | 645 | 217 | - | - | 431 | 78 | 1200 | 0,18 |

$$* U_0 = E_{min} / E_m$$



Рис. 6. Визуализация 1: ОЗС «сверху вниз»



Рис. 7. Визуализация 2: ОЗС «снизу вверх»

Кроме того, при первом знакомстве с освещением ТЦ *Sezam* заливающим светом трудно понять, в каком же именно направлении осуществляется это освещение. Это не очень очевидно, и становится понятным только тогда, когда на глаза попадает очень ярко освещённая мостовая (рис. 3).

Последнее приводит к необходимости контроля уровня освещённости в упомянутой плоскости. Измерения производились при помощи люксметра класса А (по классификации МКО), имевшего действующее свидетельство о поверке. Результаты этих измерений представлены для нескольких расстояний от объекта (рис. 5). Средний уровень освещённости E_L был рассчитан для каждой из ука-

занных линий. Кроме того, средний уровень освещённости E_m и её равномерность U_0 были определены для всей мостовой перед фасадами 1 и 2 (табл. 2).

Подобное освещение имеет, конечно, и некоторые другие достоинства. Например, не требуется дополнительное оборудование для освещения наружной части расположенного в здании ТЦ ресторана (рис. 4). Однако следует учитывать, что такое освещение всё же влияет на окружающую среду. Световой поток, направленный на мостовую, отражается в верхнюю полусферу. Если известны средняя освещённость E_m и размеры освещённой поверхности S , то отражённый световой поток Φ_p , который рассеивается в атмосферу и служит основной причиной

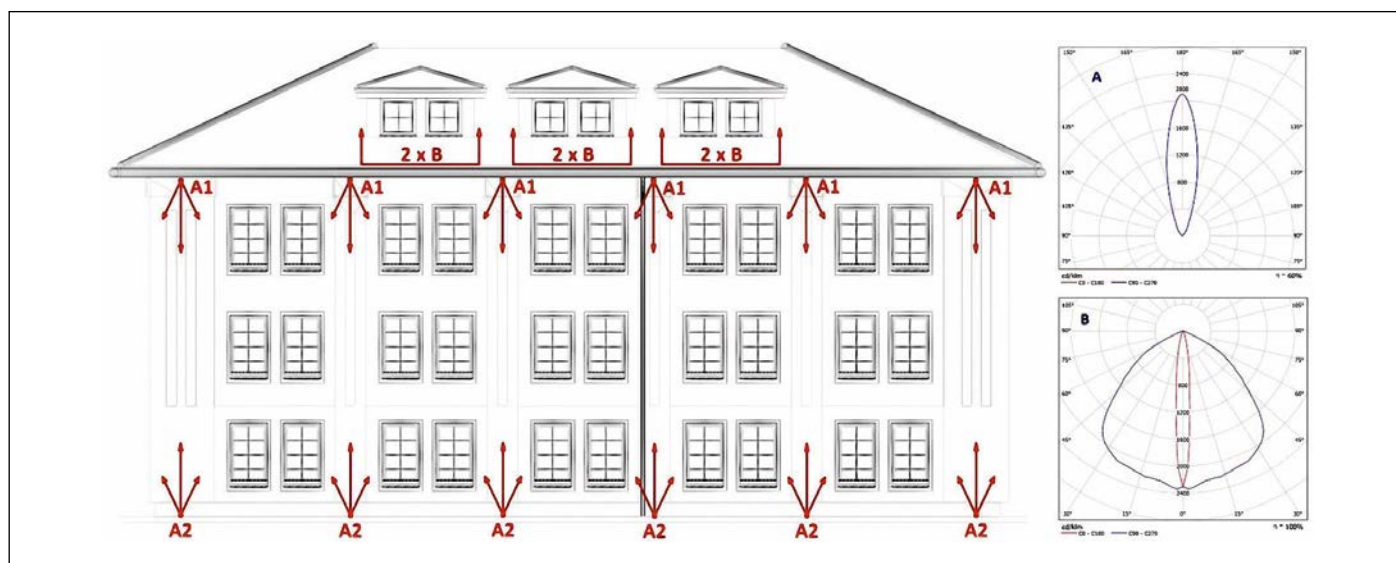


Рис. 8. Схема объекта, направление излучения и кривые силы света осветительного оборудования. A1 – «сверху вниз», A2 – «снизу вверх»

Результаты опроса

| № | Вопрос | Возможные ответы |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Известен ли Вам термин «световое загрязнение» | ДА – 13 (81 %) НЕТ – 3 (19 %) |
| 2 | Считаете ли Вы световое загрязнение важным? | ДА – 13 (81 %) НЕТ – 3 (19 %) |
| 3 | В чём заключается главное отличие этих двух визуализаций?* | <ul style="list-style-type: none"> – Второй вариант выглядит освещённым лучше. – В расположении источников света. – Одна визуализация соответствует освещению сверху, а вторая – снизу. – В точках размещения светильников. – В выделении типичных элементов: во втором случае выделен карниз, а в первом случае карниз виден плохо. – В первом случае более тёмное окружение. – В первом случае имеет место равномерность цвета, а во втором случае освещение неравномерное. – Во втором случае ОЗС более эффективно и зрелищно. – В первом случае имеет место более высокая яркость, а во втором яркость слишком мала, и низ здания плохо различим. |
| 4 | Какая визуализация соответствует освещению заливающим светом «снизу вверх»? | ВИЗУАЛИЗАЦИЯ 1–16 (100 %) ВИЗУАЛИЗАЦИЯ 2–0 (0 %) |
| 5 | Какая визуализация Вам больше нравится? | ВИЗУАЛИЗАЦИЯ 1–13 (81 %) ВИЗУАЛИЗАЦИЯ 2–3 (19 %) |

* приведены только некоторые ответы

свечения неба и «разбрызгивания» света, можно рассчитать по формуле:

$$\Phi_p = E_m \cdot S \cdot \rho, \quad (1)$$

где ρ – коэффициент отражения дорожного покрытия.

Подобные расчёты были выполнены в предположении, что поверхность дорожного покрытия имеет типичный коэффициент отражения, равный 0,1. Результаты расчётов показали, что отражённый световой поток в рассматриваемом случае был равен примерно 14000 лм, а это эквивалентно случаю направленного в небо освещения объекта светильником с металлогалогенной лампой мощностью 250 Вт.

Уровень яркости фасада ТЦ *Sezam* измерялся яркомером *CS-200* компании *Konica Minolta*. Измерения проводились в нескольких десятках точек вдоль всей поверхности фасада. Средний уровень яркости оказался равным примерно 11 кд·м⁻². Это удовлетворяет требованиям, содержащимся в отчёте МКО [18]. Что интересно, значения яркости в пределах фасада меняются, причём более высокие значения яркости наблюдаются на малой высоте. Это, несомненно, связано с отражением светового потока. Такие высокие уровни яркости в нижней части здания могут мешать правильному восприятию высоты объекта, который может восприниматься как неестественно приплюснутый.

5. Предпочитаемая направленность ОЗС

Анализ реальных примеров ОЗС «сверху вниз» позволил сделать вывод о необходимости исследования предпочтений людей, воспринимающих освещение этого типа.

Похоже, что с эстетической точки зрения освещение «снизу вверх» выглядит более естественным, и благодаря его широкому распространению, оно более привычно для наблюдателей. Однако для проверки этого было решено провести небольшой опрос, для чего методами компьютерной визуализации при помощи программы *3dS Max* были подготовлены два варианта ОЗС выбранного здания. Визуализация 1 (рис. 6) отображает типичный способ ОЗС «сверху вниз», а визуализация 2 (рис. 7) отображает противоположный способ освещения «снизу вверх». В обоих вариантах использовались одни и те же светильники, так что эти визуализации отличаются друг от друга только направленностью освещения. Осветительное оборудование имело одинаковые распределение силы света, световые потоки источников света (3300 лм) и коррелированные цветовые температуры (4000 К). Единственное различие заключалось в местоположениях светильников и направленностях их световых потоков, что было обусловлено очевидной необходимостью обеспечения разной направленности освещения (рис. 8). В результате в обоих вариантах средний уровень создаваемой освещённости был одним и тем же. Варианты отличались только направленностью освещения и, как следствие, противоположным распределением яркости.

Затем был проведён небольшой опрос, в ходе которого 16 человек ответили на 5 вопросов. Респонденты не имели никакой профессиональной связи со светотехникой – они только выступали в роли воспринимающих освещённые здания наблюдателей. Участникам опроса, средний возраст которых составлял 22–28 лет, поочередно демонстрировали визуализации 1 и 2 (рис. 6, 7). Задававшиеся вопросы и полученные результаты приведены в табл. 3.

6. Заключение

В работе предпринята серьёзная попытка рассмотрения ОЗС применительно к требованиям стандарта EN12464–2 [12], направленным на ограничение светового загрязнения в случае установок наружного освещения. Побудительной причиной проведения этого исследования послужил один из первых проектов ОЗС в направлении «сверху вниз», и были проведены техническая оценка количественных характеристик освещения и оценка эстетического восприятия новых решений. В результате проведённого авторами анализа были сделаны следующие выводы:

1. Сравнение требований, содержащихся в EN12464–2 [12] и Руководстве МКО по ОЗС [18], демонстрирует серьёзные расхождения между ними. Похоже, что единственный способ защиты ночного неба от светового загрязнения заключается в ограничении среднего уровня яркости фасадов, но, к сожалению, в последней редакции EN12464–2 допустимый уровень этого параметра был увеличен. Это серьёзный просчёт, который следует незамедлительно устранить.

2. Изменение направленности ОЗС на противоположное вполне возможно. Для этого требуется только правильная геометрия освещаемого фасада. Он должен иметь ниши и специальные козырьки. Это означает, что подобную систему ОЗС гораздо легче реализовать в случае нового здания, у которого ОЗС было предусмотрено на ранних стадиях архитектурного проектирования, тогда как в случае старых объектов (таких как исторические здания, памятники и т.д.) это связано с большими трудностями.

3. Большинство людей, по-видимому, знают о световом загрязнении и, что не менее важно, придают ему большое значение.

4. Изменение направленности ОЗС на противоположное заметно наблюдателям по местоположению осветительного оборудования, приводящему к другим распределению яркости и форме и расположению теней.

5. Предварительные сравнительные исследования традиционных и новых способов ОЗС показали, что большинство наблюдавших их людей способны более всесторонне оценить ОЗС, традиционно направленное «снизу вверх».

6. Распространённая в настоящее время идея изменения направленности ОЗС требует разработки нового, обеспечивающего возможность подобного изменения осветительного оборудования. Одно из этих изменений связано с тепловым режимом работы оборудования в тех случаях, когда имеется большая вероятность того, что оборудование будет заметно, или когда необходима предельная миниатюризация оборудования.

7. Имеется сильная потребность в разработке нормативных требований в части светового загрязнения в случае ОЗС. Новые стандарты должны быть понятными и обеспечивать возможность реализации содержащихся в них требований и проверки выполнения этих требований как на стадии проектирования, так и после реализации проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Garner, C. Tackling unwanted light: an international perspective // Light & Engineering. – 2012. – Vol. 20, No. 1. – P. 24–39.

1а. Гарднер К. Борьба с нежелательным светом: международная практика // Светотехника. – 2012. – № 1. – С. 6–18.

2. CIE126. Guidelines for minimizing sky glow. CIE, 1997. Vienna.

3. CIE150. Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installation. CIE, 2003. Vienna.

4. Cha, J.S, Lee, J.W, Lee, W.S. et al. Policy and status of light pollution management in Korea // Lighting Research & Technology. – 2014. – Vol. 46. – P. 78–88.

5. Ho, C.Y., Lin, H.T. Analysis of and control policies for light pollution from advertising signs in Taiwan // Lighting Research & Technology. – 2015. – Vol. 47. – P. 931–944.

6. Saraiji, R., Saju Oommen, M. Light Pollution Index (LPI): An integrated approach to study light pollution with street lighting and facade lighting // Leukos. – 2012. – Vol. 9, No. 2. – P. 127–145.

7. Kollath, Z., Kranicz, B., Gyutai, V. Measuring light pollution // Przegląd elektrotechniczny. – 2008. – Vol. 8. – P. 80–83.

8. Duriscoe, D.M., Luginbuhl, C.B., Elvidge, C.D. The relation of outdoor lighting characteristics to sky glow from distant cities // Lighting Research & Technology. – 2014. – Vol. 46. – P. 35–49.

9. Clanton, N. Opinion: Light pollution... is it important? // Lighting Research & Technology. – 2014. – Vol. 46. – P. 4.

10. Habel, J., Zak, P. The present and future of lighting engineering // Light & Engineering. – 2012. – Vol. 20, No. 2. – P. 5–11.

10а. Жак П., Хабел Й. Настоящее и будущее светотехники // Светотехника. – 2012. – № 2. – С. 74–77.

11. Polish Standard: PN-EN12464–2. Light and Lighting – Lighting of work places – Part 2: Outdoor work places [Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz]. PKN, 2008. Warsaw.

12. European Standard EN12464–2. Light and Lighting – Lighting of work places – Part 2: Outdoor work places. CEN, 2007. Brussels.

13. Żagan, W. Opinion: Obtrusive light and floodlighting // Lighting Research & Technology. – 2015. – Vol. 47. – P. 640.

14. Bierman, A. Will switching to LED outdoor lighting increase sky glow? // Lighting Research & Technology. – 2012. – Vol. 44. – P. 449–458.

15. Skarżyński, K. Floodlighting of architectural objects and environmental light pollution [Iluminacja obiektów architektonicznych a zanieczyszczenie środowiska światłem] // Kosmos. – 2015. – Vol. 64, No. 4 (309). – P. 553–562.

16. www.meyer-lighting.com.

17. Żagan, W. The floodlighting of objects [Iluminacja Obiektów]. ISBN83–7207–360–0 Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003. Warsaw

18. CIE094. Guide for Floodlighting. CIE, 1993. Vienna.



Войцех Жагань (Wojciech Żagan), Dr. Sc., профессор. Окончил Варшавский технический университет по специальности электротехника (1976 г.). Имеет 40-летний опыт работы в области светотехники, руководил 15-ю аспирантами (Ph.D.). Декан факультета светотехники Варшавского технического университета (с 1997 г.). Спроектировал более 100 установок освещения заливающим светом в Польше, Украине, Германии и Нидерландах



Кшиштоф Скаржиньский (Krzysztof Skarżyński), M. Sc. Окончил Варшавский технический университет по специальности электротехника (2014 г.). Аспирант факультета светотехники Варшавского технического университета (Ph.D.). Работает проектировщиком освещения в своей собственной компании DKS Światło