

Визуализация как альтернатива испытаниям проектируемого освещения в реальных условиях

Р. КРУПИНЬСКИ¹

Кафедра светотехники электротехнического факультета Варшавского технического университета, Варшава, Польша

Аннотация

Сообщается о разработке метода моделирования освещения, занявшей более десяти лет с момента первого применения этого подхода. Хотя на это было затрачено так много времени, фотореалистичная компьютерная визуализация освещения всё ещё не нашла широкого применения. Последнее может объясняться сравнительно небольшим количеством публикаций на эту тему и ограниченным числом специалистов, обучающихся применению этого подхода к проектированию осветительных установок. Проектные организации, особенно связанные с архитектурным освещением, всё ещё предпочитают традиционные методы, основанные на проведении испытаний в реальных условиях с использованием реального осветительного оборудования. Сравняются оба эти метода и на примере сложного проекта освещения демонстрируются их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: освещение, освещение заливающим светом, светотехника, компьютерная графика.

Введение

Визуализация освещения представляет собой компьютерное графическое представление изображения проекта освещения с воспроизведением на экране компьютера или другом объекте как цветов, так и яркости. Современные мониторы компьютеров могут воспроизводить яркости, достигающие нескольких сотен кд/м², тогда как создаваемые заливающим светом средние значения яркости составляют 10–20 кд/м². Это, конечно, не относится к некоторым исключениям, таким как внутреннее и уличное освещение, где можно столкнуться с изобра-

жениями светильников, яркости которых далеко выходят за границы этого диапазона.

В таких случаях оценка яркости может производиться так же, как в случае внутреннего [1, 2] или уличного [3] освещения. Но в общем случае можно утверждать, что светотехника – та область, в которой компьютерное моделирование может обеспечивать реальное воспроизведение освещения [4] и тем самым считаться фотореалистичным.

Моделирование освещения при помощи компьютерной графики известно и применяется более 10 лет. Оно всё ещё совершенствуется по мере появления новых методов и возможностей, позволяющих создавать геометрические модели. Кроме того, появились более совершенные и быстрые алгоритмы светотехнических расчётов. Всё это возможно благода-

ря очень быстрому развитию вычислительной техники. На заре существования 3-мерной визуализации проведение моделирующих расчётов одного варианта освещения занимало 10–20 ч машинного времени. Теперь же, в зависимости от уровня сложности виртуальной сцены, количества используемого осветительного оборудования и, конечно, быстродействия компьютера, расчёты могут занимать всего несколько минут. Кроме того, при воспроизведении на экране результатов динамического моделирования могут меняться со временем и параметры освещения, и местоположения как светильников, так и видеокамер. Короче говоря, создаются анимации освещения.

2. Проектирование освещения заливающим светом посредством 3-мерной компьютерной графики

Разработанный автором проект освещения заливающим светом главного здания Варшавского технического университета (ВТУ) был первым в Польше, а, возможно, и в мире, проектом архитектурного освещения, выполненным методами компьютерной графики с использованием реалистичных моделей осветительного оборудования (рис. 1).

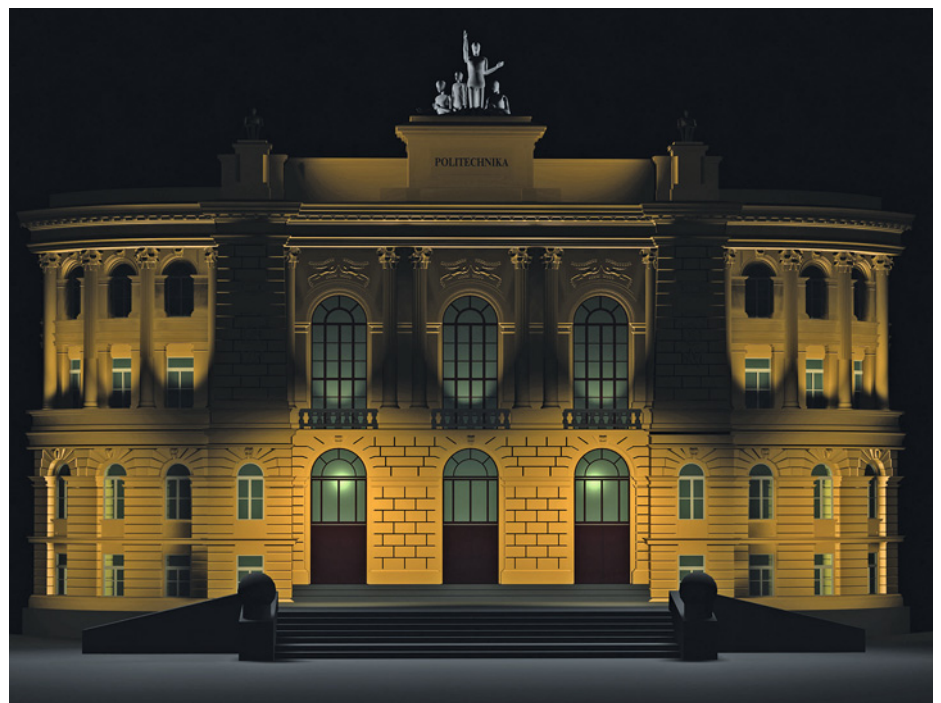


Рис. 1. Компьютерная модель освещения заливающим светом главного здания Варшавского технического университета – первая в Польше 3-мерная компьютерная модель освещения, сделанная в 1996 г.

¹ E-mail: rafal.krupinski@ien.pw.edu.pl.
Перевод с англ. Е.И. Розовского.

Рис. 2.
Фотореалистичная
модель внутреннего
освещения офиса



В 1996 г. 3-мерные компьютерные программы и светотехнические компании ещё не были готовы к реализации подобных проектов. Можно сказать, что так как использовалось всего 19 светильников, то не было никакого смысла проектировать архитектурное освещение заливающим светом посредством компьютерной графики. Проверку концепции освещения можно было успешно произвести в реальных условиях, но – и об этом не стоит забывать – только для данного варианта. В то время это было попыткой пополнить архитектурное проектирование новым методом проектирования освещения, позволяющим анализировать большое количество концепций освещения заливающим светом в виртуальной реальности. Основная проблема компьютерных приложений состояла в том, что при моделировании они не учитывали отражённый свет. При освещении архитектурных объектов игнорирование этого света не приводит к большим ошибкам, так как в большинстве проектов освещения отражённый свет не оказывает существенного влияния на точность моделирования. В настоя-

щее время при проектировании освещения архитектурных объектов этим методом часто бывает отказ от проведения расчётов на ранних стадиях проектирования. На практике, при выборе, размещении и нацеливании осветительных приборов (ОП), моделирование одной лишь прямой составляющей освещения также обеспечивает проектировщиков достаточно хорошим представлением картины освещения в режиме «онлайн». Графическое программное обеспечение не позволяло правильно задавать коэффициенты отражения и пропускания материалов реальных зданий. Однако основным недостатком этого метода была ограниченная возможность считывания основных характеристик освещения – освещённости и яркости, реализуемых в рамках рассматриваемой концепции. И светотехнические компании не учитывали возможность подобного способа проектирования. Они не предоставляли фотометрические файлы для своих осветительных приборов. При моделировании освещения заливающим светом или точечного освещения проектировщик был вынужден использовать тот набор источников

света, который имелся в программном обеспечении. Приложения позволяли только задавать углы расхождения лучей этих конкретных виртуальных «осветительных приборов». Визуализация была также основана на традиционных единицах измерения, а такие понятия, как сила света и световой поток, не использовались. Так что компьютерные модели представляли собой простые изображения, на основе которых можно было производить только общую оценку концепции. Провести полный светотехнический анализ было невозможно.

Современные компьютерные приложения содержат все перечисленные параметры [5]. Моделирование освещения отражённым светом и правильное описание материалов, обеспечивающее предоставление информации как о коэффициентах отражения и пропускания, так и о характере отражения, уже не являются проблемой [6, 7]. Как показано на рис. 2, визуализация может успешно применяться при проектировании внутреннего освещения и анализа осветительных установок на основе распределений яркости или силы света [8, 9], подобных изображённым на рис. 3.

Практически все светотехнические компании формируют полную базу фотометрических файлов для всех выпускаемых ими светильников. Файлы представлены, главным образом, в форматах *IES* или *LDT* (европейский формат файла, эквивалентный описанному в *IESNA LM-63*). Всё это делает возможной не только визуальную, но и количественную оценку проекта, осуществляемую на основе представленных в псевдоцветах распределений силы света или яркости. Каждое из значений яркости отображается своим цветом, оговорённым в пояснительной надписи к изображению. Результаты также могут представляться в серых тонах или в графическом виде с применением изокандел. Получаемые на основе этих данных средние уровни яркости могут считываться для выбранных плоскостей или точек. Это даёт возможность вести полный анализ проекта, проверять его точность как в части удовлетворения требований к уровню средней яркости [10], так и в части соблюдения принципов освещения архитектурных объектов заливающим светом в целом [11] и с выделением деталей [12, 13], и даже формировать генеральный

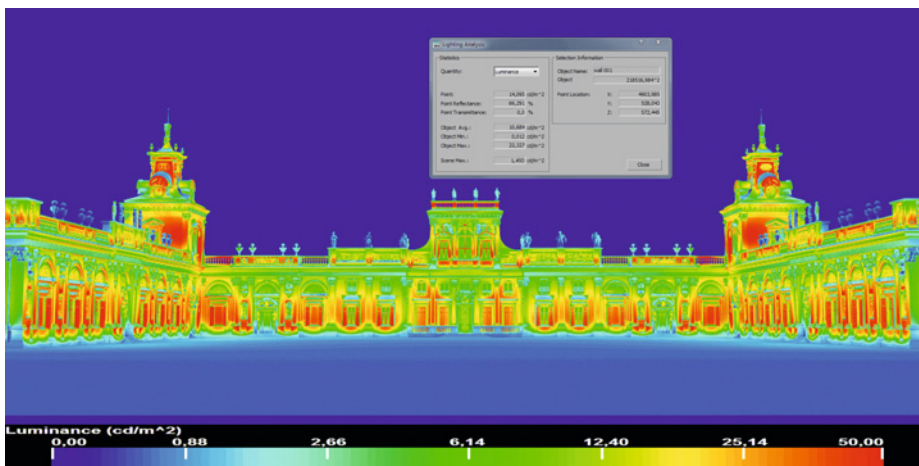


Рис. 3. Визуализация распределения яркости (проект освещения заливающим светом дворца-музея Виланов)



Рис. 4. Компьютерная модель освещения заливающим светом дворца-музея Виланов, вариант I

план освещения [14]. Распределение яркости в случае виртуального проекта освещения показано на рис. 3.

Посредством фотореалистичной визуализации был разработан один из последних проектов автора – проект освещения дворца-музея Виланов [15], который часто называют «Польским Версалем». Многогранный проект освещения этого дворца-музея заливающим светом был разработан на базе подготовленной ранее 3-мерной геометрической модели с использованием измеренных ранее коэффициентов отражения и пропускания материалов, которые применялись при возведении дворца. Ниже представлены только окончательная концепция и три её основных варианта. Путь, ведущий к созданию окончательного проекта освещения, был основан на выборе осветительного оборудования из предлагаемых разными компаниями вариантов, на расположении и нацеливании

этого оборудования. Это вряд ли можно было осуществить посредством полевых испытаний, проводимых в реальных условиях. Количество использовавшихся ОП составляло, в зависимости от варианта, от 249 до 311 шт. Трудно представить, что кто-то из производителей осветительного оборудования имеет под рукой такое большое количество ОП, которые можно было бы использовать при проведении испытаний в реальных условиях.

Учитывая имеющиеся в здании точки и направления наблюдения, было решено использовать в этой концепции смешанный подход к освещению заливающим светом [11]. Профили, ведущие к верхнему карнизу, освещались заглублёнными в землю светильниками с МГЛ мощностью 70 Вт с максимальной силой света 3400 кд, углом излучения 40° и коррелированной цветовой температурой (КЦТ) 3000 К. Вариант I этой концепции

предполагал выделение светом ритма чередования колонн верхней части фасада. Освещение этих архитектурных элементов также осуществлялось с помощью заглублённых в землю светильников с МГЛ, имеющих ту же КЦТ. Светильники, установленные вдоль верхнего карниза, характеризовались углом излучения 10°, а для подчёркивания рельефа и архитектурных балясин использовалась система светящихся лент с СД. Цвет света соответствовал КЦТ МГЛ (3000 К). Главный выступ фасада освещался посредством общего освещения и имел большую по сравнению с остальными частями фасада яркость. Статуи и лужайки наверху здания освещались точно небольшими светильниками с СД. Две боковые башни освещались так, чтобы иметь повышенную яркость, подчёркивающую их глубину и высоту. Каждую из башен освещали по четыре прожектора с узким свето-



Рис. 5. Компьютерная модель освещения заливающим светом дворца-музея Виланов, вариант II, отказ от подчёркивания ритма колонн и тялястров



Рис. 6. Визуализация окончательной концепции освещения заливающим светом дворца-музея Виланов

вым пучком, в которых использовались МГЛ, причём два прожектора освещали фасад башни, а два других – её покрытое патиной навершие. Для подчёркивания голубовато-зелёного цвета покрытой патиной меди использовались МГЛ с большей КЦТ (до 4200 К). Компьютерное представление этой концепции приведено на рис. 4.

При реализации последней была замечена раздражающая неравномерность яркости карниза из-за наличия ОП, подчёркивающих чередование колонн и пилястров. Следующим шагом была попытка осветить только пилястры, воспользовавшись для этого ОП другого типа, и одновременно выделить промежутки между колоннами, в которых находятся бюсты и статуи. К сожалению, как показано на рис. 5, при этом не был полностью исключён эффект снижения яркости карнизов. Обсуждения возникшей проблемы с хранителем-реставратором привели к постепенному изменению концепции освещения. Оказалось, что освещение статуй и лужаек наверху дворца не могло быть реализовано при помощи предлагаемой осветительной установки по причинам, связанным с сохранностью здания. Кроме того, подчёркивание ритма пилястров и промежутков между колоннами получило отрицательную оценку, вследствие чего было принято решение отказаться от высвечивания этих архитектурных элементов прожекторами.

На рис. 6 продемонстрирован окончательный проект освещения. Результирующее освещение заливающим светом стало более мягким и согласованным, как это следует из рис. 3, отражающего соответствующее этому варианту распределение яркости.

Самым важным является то, что измеренная средняя яркость виртуального объекта составляет около 10 кд/м² и соответствует рекомендациям, которые содержатся в отчёте МКО [10].

Обсуждаемый проект служит демонстрацией того, насколько мощным инструментом в руках проектировщика освещения служит визуализация. Конечно, у неё есть и свои недостатки. На её реализацию уходит относительно много времени, и она требует наличия сложных и дорогостоящих компьютерных приложений, которые трудно освоить и использовать в полной мере. Время, требуемое для создания геометрической модели рассматриваемого объекта составляет примерно 100 ч. По завершении этого часто весьма трудоёмкого моделирования уточнение проекта освещения представляется гораздо менее трудоёмким, чем размещение осветительного оборудования на месте. Работа проектировщика преобразуется в использование файлов с фотометрическими данными, предоставляемых производителями светильников, и в надлежащее размещение и нацеливание светильников. Ограниченная возможность оценки блёскости всё ещё является недостатком компьютерного моделирования освещения. Это обусловлено двумя его базовыми особенностями. Первая из них связана с ограниченностью максимальных значений яркости, воспроизводимых проекторами и на экранах компьютеров, а вторая – с отсутствием информации о яркостях светильников. Файлы *IES* и эквивалентные им файлы *LDT* эти данные не содержат. Оценка яркости применительно к дискомфортной блёскости, световому загрязне-

нию и его проникновению внутрь зданий обычно возможна только на основе результатов измерений, подобных тем, которые осуществляются в смежных областях [3]. В принципе, методы, разработанные для оценки блёскости в случае уличного освещения, можно непосредственно распространять и на освещение архитектурных объектов, так что можно предположить, что упомянутые проблемы вскоре будут решены. Как бы то ни было, все недостатки теряются на фоне предоставляемых компьютерным моделированием преимуществ. Компьютерное моделирование предоставляет проектировщику возможность анализа практически бесконечного количества вариантов освещения с точки зрения удовлетворения существующих требований и рекомендаций, причём без забот о количестве используемого осветительного оборудования. Например, применительно к конкретному варианту освещения можно воспользоваться оборудованием, находящимся на стадии разработки. Если возникает необходимость проведения консультаций с хранителями-реставраторами и если здание находится под охраной государства, то этот метод обладает большими достоинствами, так как позволяет без ограничений во времени производить анализ большого числа вариантов. Он предоставляет как проектировщику, так и инвестору возможность выбора наилучшего проекта.

3. Испытания в реальных условиях

На 2-м Королевском фестивале света в Виланове, Варшава, [16] организаторы решили реализовать разра-



Рис. 7. Фотография реализации освещения заливающим светом дворца-музея Виланов во время 2-го Королевского фестиваля света, Варшава [16]

ботанный при помощи 3-мерной визуализации окончательный проект освещения.

На рис. 7 представлена сделанная в вечернее время фотография дворца, освещаемого заливающим светом. При сравнении компьютерной визуализации с реальностью следует учитывать, что картинка не прошла последующую обработку [17]. В данном случае не была проведена графическая обработка. Реализацию освещения дворца заливающим светом можно сравнить с результатом использования обычного метода проектирования освещения, основанного на проведении испытаний в реальных условиях. В течение двух дней до начала фестиваля света компания, ответственная за этот проект, собирала и временно размещала осветительную установку, содержащую почти 200 светильников, полученных от разных партнёров со всей Европы. Однако не было точного подобия между реальными и проектными распределениями силы света. Кроме того, КЦТ источников света отличались от проектных. От светотехнических компаний трудно ожидать способности «собрать» для занимающего всего несколько дней фестивального представления требуемые количество и ассортимент оборудования (которое в ряде случаев было нестандартным). Для неподвижного представления даже установка ОП не могла быть произведена именно в предусмотренных проектом местах. Эти обстоятельства демонстрируют слабые места этого метода, однако результаты сравнения достигнутого и планируемого эффектов могут считаться удовлетворительными. Вы-

сокие значения яркости соответствуют участкам над верхним карнизом, но это связано с использованием неподходящего осветительного оборудования. Вдоль карниза располагалась световая дорожка, состоящая из двух типов светильников с СД, ни один из которых не соответствовал проекту.

К сожалению, башни дворца были освещены не по проекту – реализация проектного освещения была невозможна при имеющемся осветительном оборудовании и трудности его установки. Следует отметить, что дворец находится в режиме консервации, и любое, даже временное, вмешательство в его конструктивную систему должно согласовываться.

Рассматривая ведущие к карнизу профили и сравнивая их с проектом, выполненным на основе фотореалистичной визуализации, следует отметить очень высокую схожесть результатов 3-мерного моделирования и испытаний в реальных условиях.

Компьютерное моделирование выполнялось с помощью программного обеспечения «Autodesk 3ds Max Design», являющегося одним из самых популярных при создании виртуальных сцен. Предоставляемые им возможности были оценены как кинопродюсерами, так и всеми пользователями, создающими неподвижные изображения, а также проектировщиками освещения.

Проводившиеся в рамках фестиваля испытания освещения дворца заливающим светом продемонстрировали надёжность метода моделирования. Конечно, всё зависит от качества визуализации, используемых алгоритмов вычислений и степени детализации

3-мерной модели. Что касается описываемого проекта, то все проектные параметры находились на высоком уровне. Это относится как к 3-мерной модели основной части объекта, так и к архитектурным элементам и скульптурам. Кроме того, было обеспечено точное моделирование коэффициентов отражения и пропускания материалов, значения которых были ранее измерены на реальном объекте.

Этот метод имеет множество достоинств, которые, конечно, внесли вклад в зрелищность представления. Согласно оценкам организаторов, трёхдневный фестиваль света в Виланове посетили 200000 человек, и освещение дворца произвело на них очень сильное впечатление.

Однако этот метод обладает и множеством недостатков. Его применимость ограничена. Если испытания освещения небольших объектов в реальных условиях ещё себе можно представить, то этот метод становится бесполезным в случае больших зданий, для освещения которых требуется много ОП. Хотя дворец Виланов и сравнительно невысок, его следует рассматривать как крупный объект с большим количеством архитектурных элементов. Что касается высоких зданий, то в их случае трудно представить себе проведение испытаний в реальных условиях при проектировании освещения архитектурных элементов. И особенно, если для их освещения используются прожекторы или если ОП устанавливаются на фасаде. Следующей проблемой является время, требуемое для подготовки к проведению испытаний. Если говорить о рассматриваемом проекте, когда доступ к ме-

стам установки светильников был не очень затруднён, а высота установки светильников была незначительной, то испытаниям в реальных условиях предшествовала двухдневная установка оборудования. Кроме того, нельзя и представить внесения в проект каких-либо изменений во время представления. С другой стороны, на основе фотографий, сделанных во время представления, некоторые изменения вносить можно [17].

Этот метод применяется к одному варианту освещения заливающим светом, и он ограничен как в количестве и типах светильников, которые могут использоваться во время представления, так и в возможности использования оборудования, которое светотехнические компании начали выпускать совсем недавно. Очередная проблема связана со временем года и погодными условиями, при которых могут проводиться испытания.

Заключение

Проект освещения дворца Виланов заливающим светом недвусмысленно показал, что проектирование архитектурного освещения при помощи визуализации 3-мерной модели в настоящее время наиболее удобно и надёжно. Если говорить об испытаниях в реальных условиях, то любые изменения подхода к освещению и расположения осветительного оборудования вызывают затруднения, особенно при использовании разрядных ламп, требующих время на остывание и повторное зажигание. Кроме того, переход при проведении испытаний к другой осветительной установке требует наличия сравнительно большого запаса осветительного оборудования. При сравнении визуализации описанного проекта с его испытаниями в реальных условиях разница результатов, конечно, заметна. Однако исходя из своего многолетнего опыта визуализации освещения, автор гарантирует, что при использовании именно включённых в проект светильников, их правильном расположении и нацеливании визуализация точно повторится в реальности. Трудно представить себе анализ нескольких вариантов освещения, использующих оборудование разных производителей, в рамках испытаний в реальных условиях, даже если эти испытания будут не столь сложными, как в рассмотренном случае. Кро-

ме того, трудно ожидать от инвестора и хранителя-реставратора, что во время непродолжительной демонстрации они смогут принять решение относительно выбора наиболее подходящей концепции освещения. А виртуальные изображения могут демонстрироваться, распечатываться и анализироваться без ограничений во времени.

Автор продолжает усовершенствовать метод визуализации путём реализации нескольких десятков проектов освещения заливающим светом [18–20], равно как и в процессе своей более чем десятилетней работы, тем самым совершенствуя этот метод и делая его всё более популярным. В настоящее время создание проекта посредством 3-мерной модели занимает довольно много, от десяти до нескольких сот, часов, в зависимости от сложности здания, однако следует ожидать постепенного сокращения этого времени. Сейчас автор занимается созданием нового метода моделирования, который позволит сократить продолжительность проектирования освещения заливающим светом до минимума и не потребует много времени для создания 3-мерной модели. Он также включает в себя исчерпывающую информацию о графических приложениях, предназначенную для проектировщиков освещения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tashiro, T., Kawanobe, S., Kimura-Minoda, T., Kohoko, S., Ishikawa, T., Ayama, M. Discomfort glare for white LED light sources with different spatial arrangements // Lighting Research and Technology. – 2014 – P. 1–22.
2. Sweater-Hickcox, K., Narendran, N., Bullough, J.D., Frayssinier, J.P. Effect of different coloured luminous surrounds on LED discomfort glare perception // Lighting Research and Technology. – 2013. – Vol. 45. – P. 464–475.
3. Słomiński, S. Laboratoryjne pomiary luminancji LED-owych i sodowych wysokoprężnych opraw oświetlenia ulicznego pod kątem określenia oślnienia przykrego // Przegląd Elektrotechniczny. – 2013. – No. 10. – P. 281–284.
4. Нарбони Р. Генеральный план освещения исторического центра Иерусалима // Светотехника. – 2012. – № 1. – С. 19–23; Narboni, R. The old city of Jerusalem lighting master plan // Light & Engineering. – 2012. – Vol. 20, No. 1 – P. 50–57.
5. Krupiński, R. Modelowanie 3D dla potrzeb iluminacji obiektów // Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011 (ISBN978 83 7207 961 9).
6. Krupiński, R. Istotne etapy wykonywania wizualizacji komputerowych oświetlenia i ich wpływ na dokładność // Przegląd Elektrotechniczny. – 2009. – No. 11. – P. 297–299 (ISSN0033-2097).

7. Krupiński, R. Projektowanie iluminacji na podstawie trójwymiarowego obiektu geometrycznego // Przegląd Elektrotechniczny. – 2012. – No. 04a. – P. 212–214 (ISSN15066223).

8. Żagan, W., Krupiński, R. Oświetlenie pośrednie-wnękowe // Przegląd Elektrotechniczny – 2012. – No. 04a. – P. 204–208 (ISSN15066223).

9. Дехофф П. Качество освещения и энергоэффективность не противоречат друг другу // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 64–68; Dehoff, P. Lighting quality and energy efficiency is not a contradiction // Light & Engineering – 2012. – Vol. 20, No. 3. – P. 34–39.

10. Guide for Floodlighting, CIE94–1993 (ISBN978 3 900734 31 2).

11. Żagan, W. Iluminacja obiektów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003 (ISBN83 7207 360 0).

12. Krupiński, R. Iluminacja zespołów obiektów architektonicznych, rozprawa doktorska Politechniki Warszawskiej, 2003.

13. Kolodziej, M. Iluminacja neogotyckich obiektów architektury sakralnej, rozprawa doktorska Politechniki Warszawskiej, 2008.

14. Быстрянцева Н.В. Современное состояние проектирования световой среды городов // Светотехника. – 2011. – № 1. – С. 43–47; Bystryantseva, Natalia V. Current state of urban luminous medium design // Light & Engineering. – 2011. – Vol. 19, No. 3. – P. 53–59.

15. Wilanów Palace Museum webpage. URL: <http://www.wilanow-palac.pl>.

16. Royal Festival of Light in Wilanów. URL: <http://www.festivallights.wilanow.pl>.

17. Słomiński, S. The correct image of illuminated object registration – problems arising from software capabilities and equipment limitation // Przegląd Elektrotechniczny. – 2013. – Vol. R. 89, No. 8. – P. 259–261 (ISSN0033 2097).

18. Krupiński, R. Nowe projekty iluminacji zrealizowane w Zakładzie Techniki Świetlnej // Przegląd Elektrotechniczny. – 2011. – No. 04. – P. 63–65 (ISSN0033 2097).

19. Krupiński, R. Iluminacja obiektów użyteczności publicznej na przykładzie ratusza w Jaworze // Przegląd Elektrotechniczny. – 2014. – No. 01. – P. 273–276 (ISSN0033 2097).

20. URL: <http://www.rfalkrupinski.com>.



Рафал Крупиński (Rafał Krupiński),
Ph. D. Окончил в 2003 г. Варшавский технический университет. Доцент кафедры светотехники электротехнического факультета

Варшавского технического университета. Специалист в области проектирования освещения заливающим светом методами компьютерного графического моделирования, над популяризацией и усовершенствованием которых он непрерывно работает