

О возможности применения изображений с расширенным динамическим диапазоном для анализа проектов освещения¹

Х. ЦАЙ, М.И. САЙФАН

Университет шт. Канзас, г. Лоренс, США
E-mail: hycail@ku.edu

Аннотация

В рамках этой работы был проведён опрос респондентов, позволяющий оценить полезность применения на стадии проектирования освещения метода компьютерного анализа создаваемых фотокамерой изображений. В этом методе визуализации фотографии с расширенным динамическим диапазоном (*HDR*) используются для регистрации миллионов значений яркости в пределах внутреннего или наружного пространства с последующим построением в *MATLAB HDR*-карт распределений яркости и градиента яркости для последующей оценки световой среды. Был проведён онлайн опрос 40 проектировщиков освещения, не имеющих опыта использования *HDR*-фотографии. Их анонимные ответы были собраны в режиме онлайн и проанализированы. Было установлено, что опытные проектировщики освещения, много лет работающие в этой области, не склонны полагаться на информацию, содержащуюся в *HDR*-изображениях. Однако метод *HDR*-визуализации может оказаться полезным для прошедших обучение новичков, помогая им оценить световую среду при проектировании осветительных установок.

Ключевые слова: проектирование освещения, визуализация, фотокамера, *MATLAB*, яркость, вопросник.

1. Введение

Проектирование освещения — это одновременно и искусство, и наука. Проектировщики оценивают освещаемое пространство в свете своих собственных креативных представлений, а затем ищут такие светильники, которые обеспечивают достаточный уровень освещения, обладают высокой энергоэффективностью и при-

влекательно выглядят. Проектировщики обычно соблюдают требования нормативных документов и практических рекомендаций по проектированию Международной комиссии по освещению (МКО), Общества инженеров-светотехников (*SSL*) Аккредитованного института инженеров по обслуживанию зданий (*CIBSE*), Международной ассоциации светодизайнеров (*IALD*) и местных органов власти. Эти руководства помогают проектировщикам использовать светотехнические эффекты и понять, как сделать проект благоприятным для людей. С другой стороны, проект освещения всегда является субъективным и из-за различий в точках зрения проектировщиков освещения часто может оказаться противоречивым и в то же время креативным. Проектировщики, специалисты-светотехники и инженеры часто создают необычную световую среду, которая, по их мнению, великолепно выглядит. Проект может удовлетворять нормативным требованиям и в то же время не соответствовать основам светодизайна и не иметь технических возможностей реализации заложенных в нём идей. Например, некоторые элементы проектов освещения включают в себя иерархию выделяемых деталей, блёскости и отражений, контрастности/градиента освещения, использования естественного освещения и полярности освещения (*lighting polarity*) [1]. Эти принципы и концепции используются при проектировании освещения наряду со зрительным восприятием световой среды людьми и, таким образом, тесно связаны с пространственным распределением яркости освещаемого пространства.

Для оценки проекта освещения с точки зрения зрительного восприятия следует произвести измерение пространственного и временного распределений связанных с яркостью параметров (например, яркости объек-

та, яркости фона, яркости адаптации, яркости окружающей среды, яркостного контраста, градиента яркости). В то же время, в основе типичных проектов освещения лежит, главным образом, требуемое количество света. В нормативных документах доминируют связанные с освещённостью параметры (например, горизонтальная освещённость, вертикальная освещённость, освещённость рабочей зоны, коэффициент естественной освещённости, автономность естественного освещения). Так как глаз человека воспринимает не освещённость, а яркость, то основанная на освещённости метрика не может использоваться для интерпретации проектов освещения с точки зрения зрительного восприятия. Опытные специалисты-светотехники за годы работы накопили достаточное для решения этой проблемы количество эмпирических знаний. Начинающие проектировщики и студенты не имеют таких эмпирических знаний и опыта. Поэтому в своей деятельности они часто используют разные методы проектирования (например, физическое и компьютерное моделирование), которые помогают им в их повседневной практике.

HDR-фотография может стать ещё одним сочетающимся со зрительным восприятием пространства людьми инструментом проектирования, способным помочь проектировщику измерить значения яркости внутреннего или наружного пространства в пределах широкого поля зрения [1–3]. Для получения *HDR*-фотографий используют недорогие цифровые фотокамеры, которые часто снабжают широкоугольными объективами для получения имеющих узкий динамический диапазон (*LDR*) фотографий, снятых с несколькими значениями выдержки, что позволяет охватить расширенный динамический диапазон освещения. Затем при помощи программ объединения данных, таких как *Photosphere and Radiance*, эти *LDR*-фотографии преобразуют в «сырое» *HDR*-изображение, включающее в себя пространственное распределение яркости сцены. Эти сырые *HDR*-изображения нуждаются в калибровке чувствительности, фотометрической калибровке и фотограмметрической калибровке. *HDR*-фотография позволяет на уровне пикселей измерять яркости точек всей освещаемой сцены.

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

После калибровки *HDR*-фотография позволяет за одно измерение зарегистрировать на уровне пикселей миллионы значений яркости в пределах поля зрения объектива фотокамеры. Было показано, что *HDR*-фотография позволяет охватить большой динамический диапазон освещения, включающий и самые тёмные, и самые светлые участки сцены [2, 4]. Установлено, что в случае *HDR*-фотографии погрешность измерения серых поверхностей не превышает 5 %, а погрешность измерения цветных поверхностей составляет примерно 10 %. *HDR*-фотография может дополнить данные, получаемые при помощи измерительных приборов, и предоставить больше информации об окружающей среде, которую может видеть глаз человека (например, об её цвете, геометрии, текстуре и т.д.).

С другой стороны, современная светотехническая практика уже перешла от оценки падающего на плоскость света (то есть освещённости) к оценке света, достигающего глаз людей (то есть яркости) [5]. В этом случае рекомендованные уровни освещения будут лучше соответствовать требованиям, обусловленным зрением людей и обеспечением необходимой видимости. [1, 5–7]. Для оценки зрительного процесса в реальном пространстве применительно к разным проектам освещения с учётом их индивидуальных особенностей должны использоваться соответствующие методы [7]. *HDR*-фотография может стать ещё одним сочетающимся со зрительным восприятием пространства людьми инструментом проектирования. Реальные значения яркости могут быть получены на уровне пикселей и проанализированы на основе *HDR*-изображений яркости внутреннего или наружного пространства, полученных применительно к точке расположения наблюдающего это пространство человека. Однако ещё не доказано, что основанная на *HDR*-изображениях компьютерная оценка освещения может оказаться полезной для проектировщиков.

Поэтому авторы провели обзор литературы для выявления сообщений о случаях, когда *HDR*-изображения оказались полезными для практикующих проектировщиков освещения при анализе проектов освещения. Многие работающие в области освещения исследователи и практики ис-

пользовали *HDR*-фотографию для измерения яркости в разных условиях, включая освещаемые дневным светом сцены [3, 8–15]. Однако до 2014 г. редко встречались публикации, содержащие рекомендации по практическому использованию проектировщиками освещения *HDR*-фотографии и дифференциальных (*derivative*) методов компьютерной визуализации. В настоящий момент большинство проектировщиков освещения незнакомы ни с *HDR*-фотографией, ни с дифференциальными методами анализа освещения, которые требуют знаний как в области фотографии, так и в области компьютерных формирования изображений и расчётов.

Чтобы помочь проектировщикам освещения, в 2014 г. авторы предложили компьютерный графоаналитический метод, который был реализован в *MATLAB* (язык программирования для визуализации и анализа данных) и позволял извлекать и обрабатывать данные, содержащиеся в *HDR*-изображениях, для улучшения анализа освещения [1]. Имеются сообщения о нескольких исследованиях в области внутреннего освещения, в которых использовали этот метод, позволяющий проводить анализ освещения при помощи компьютера и фотокамеры [1]. Хотя это ещё не подтверждено проектировщиками освещения, но похоже, что *HDR*-изображение проектируемого освещения может помочь обеспечить зримое отображение параметров освещения, имеющих важное значение для зрительного восприятия, а это может облегчить как понимание того, какой тип освещения требуется в рассматриваемом случае, так и оценку качества освещения, например, оценку блёскости [1, 16].

HDR-визуализация всё ещё не принята проектировщиками освещения

и не используется в их повседневной практике. Может ли метод *HDR*-визуализации стать средством проектирования, которое проектировщики освещения будут применять для облегчения своей работы? Сочтут ли практикующие проектировщики освещения с многолетним опытом работы *HDR*-отображения яркости ценным подспорьем в своей работе? Для ответа на эти вопросы необходимо оценить эффективность применения разработанного на текущий момент метода *HDR*-визуализации при проектировании высококачественной световой среды. Поэтому авторы провели анкетное обследование для выяснения того, может ли оценка *HDR*-изображений проектируемых сцен улучшить качество анализа проектов освещения и помочь проектировщикам в их работе.

2. Анкетное обследование

Анкета состояла из четырёх допускающих только один ответ вопросов и сопутствующих им *HDR*-изображений освещённой электрическим светом не имеющей окон светотехнической лаборатории (рис. 1, а) и освещённого дневным светом холла со стеклянной стеной (рис. 1, б). В лаборатории установлено много потолочных светильников, которые используются при проведении занятий по светотехнике. Измерения проводили 5 апреля в 16:20. Освещённый дневным светом холл треугольной формы располагается на втором этаже исследовательского корпуса. Он имеет большую (от пола до потолка) стеклянную стену, выходящую на восток-юго-восток и не закрытую никакими затемняющими устройствами. Измерения в холле проводили в солнечный день 9 июля в 8:00.

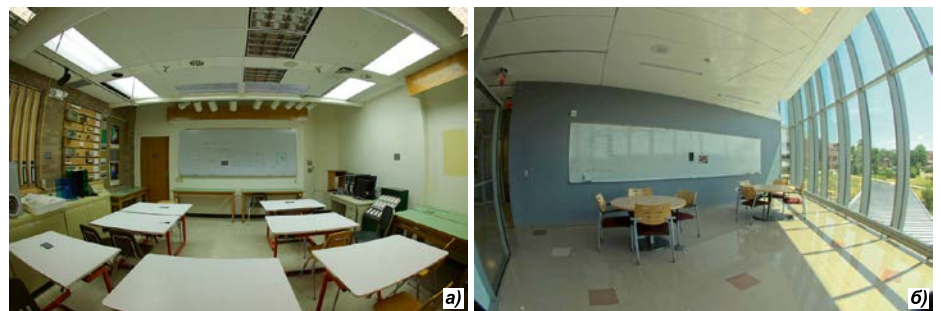


Рис. 1. Два варианта условий проведения измерений: а – светотехническая лаборатория; б – холл исследовательского корпуса со стеклянной стеной, выходящей на восток-юго-восток ([3, Fig. 2])

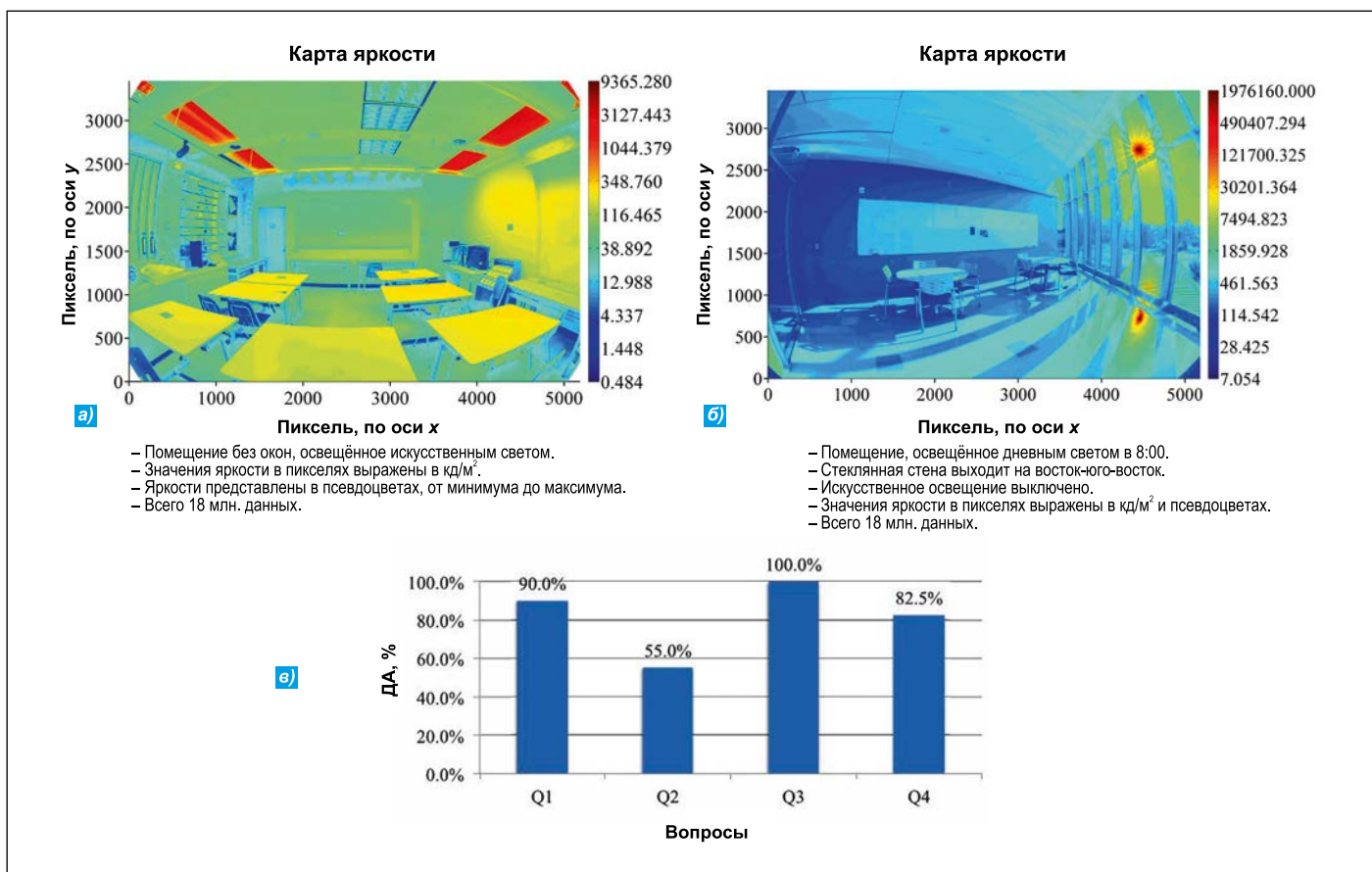


Рис. 2. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и 6 студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам яркости с большим динамическим диапазоном: а – представленная в псевдоцветах карта яркости в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – представленная в псевдоцветах карта яркости в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о картах яркости

Прилагавшиеся к анкете *HDR*-изображения приведены на рис. 2–7 и включают в себя 2-мерные карты яркости, 2-мерные карты величины градиента яркости, 2-мерные карты направления градиента яркости и 3-мерные карты яркости. Алгоритм и технические подробности того, как эти *HDR*-изображения были сформированы в *Radiance* и построены при помощи кода *MatLab*, содержатся в [3]. Предметами анкетного обследования были зрительное восприятие и оценка этих *HDR*-изображений без раскрытия технических подробностей того, как они были получены и построены с использованием метода, позволяющего проводить анализ освещения при помощи компьютера и фотокамеры. При этом авторы стремились к тому, чтобы как можно больше проектировщиков освещения, которые часто мало знакомы с программированием и компьютерным формированием изображений и расчётами, приняли участие в анкетировании, на которое было отведено довольно небольшое время. Факти-

чески, зрительная оценка *HDR*-изображений является последним этапом реализованного в *MATLAB* компьютерного графоаналитического метода [1]. Для лучшего понимания как самих представленных на рис. 2–7 изображений, так и того, как они были сформированы и построены, читателям рекомендуется ознакомиться с предыдущей публикацией авторов, посвящённой компьютерному графоаналитическому методу [1].

HDR-карты всех типов сопровождалась одними и теми же четырьмя допускающими только один ответ («Да» или «Нет») вопросами, которые приведены ниже. В этом обследовании использовались исключительно допускающие только один ответ вопросы, так как на них легко отвечать (по сравнению с допускающими разные ответы вопросами), и ответы на них не занимают много времени, что способствует увеличению доли ответивших на вопросы респондентов, в первую очередь, работающих в области освещения специалистов-светотехников.

Вопрос 1. Полезны ли эти *HDR*-изображения при проведении оценок после заселения помещения (*post-occupancy evaluation*) или при его модернизации?

Вопрос 2. Эти *HDR*-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, или нет?

Вопрос 3. Если представленные изображения представляют собой сформированные компьютером отображения проектируемых сцен, то будут ли они полезными на стадии проектирования освещения?

Вопрос 4. Хотели бы Вы использовать подобные *HDR*-изображения в своей практике?

Анкета была сформирована в *Google Docs*, и всем участникам была направлена ссылка на содержащий её сайт. Участие в этом интернет-опросе было анонимным. Анкета была направлена специалистам-светотехникам, которые участвовали в проводившейся в Монреале, Канада, конференции Международной ассоциации светодизайнеров (*IALD*) «*Enlighten Americas 2013*», а также другим американским

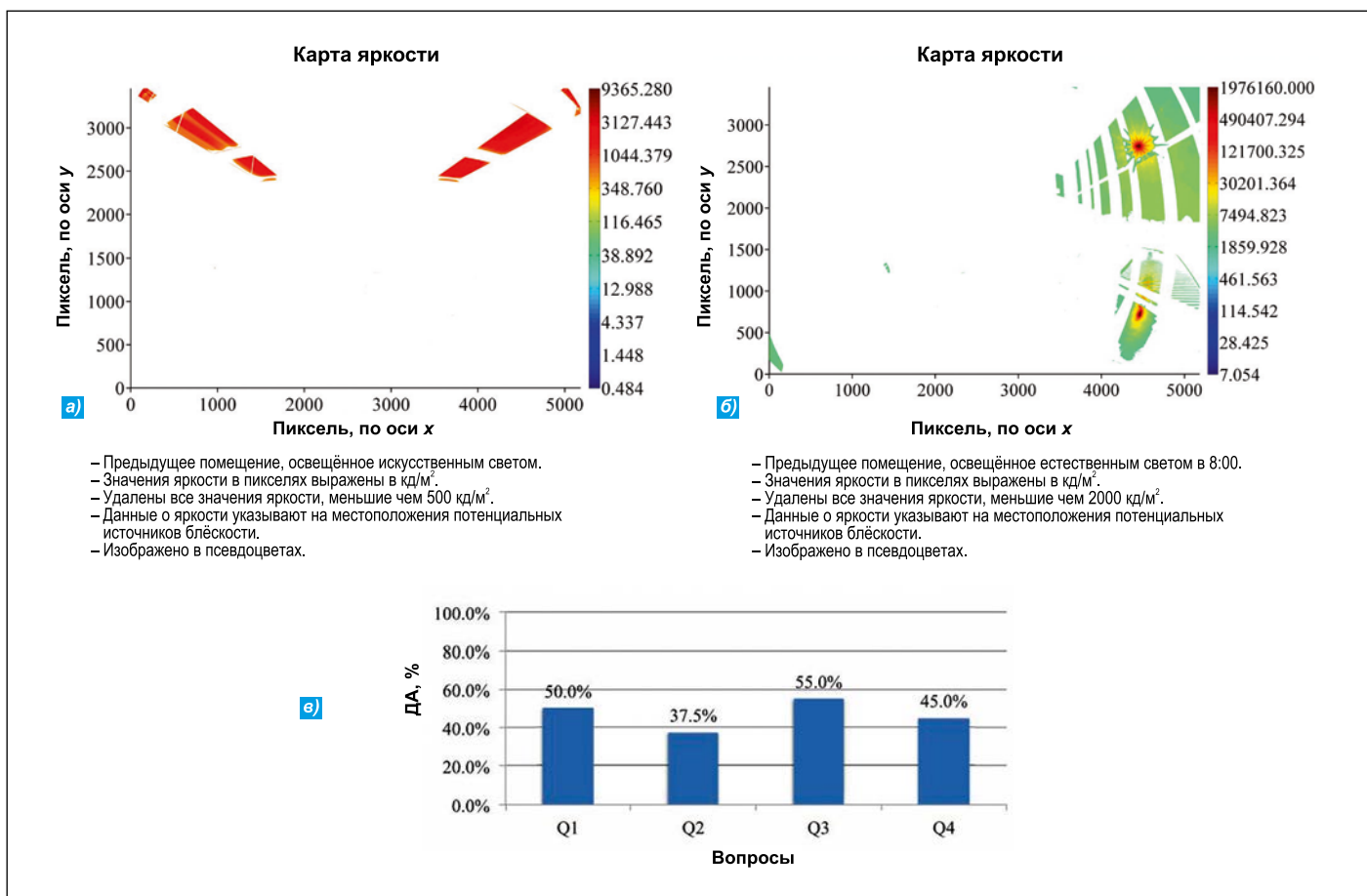


Рис. 3. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и б студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам яркости с отсечкой по минимальному значению яркости: а – карта яркости с нижним порогом $500 \text{ кд}/\text{м}^2$ в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – карта яркости с нижним порогом $2000 \text{ кд}/\text{м}^2$ в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о картах яркости с отсечкой по минимальному значению яркости

проектировщикам освещения и дизайнерам по интерьерам. Эти практикующие специалисты-светотехники обладают разным, от начального до очень большого, опытом работы в области проектирования освещения, но практически не имеют опыта применения методов HDR-визуализации. На вопросы ответили 40 специалистов-светотехников². Эти ответы были собраны онлайн и проанализированы для определения соотношения положительных («Да») и отрицательных («Нет») ответов на поставленные вопросы. Результаты обследования представлены на рис. 2–7, а ниже приведены некоторые подробности.

На рис. 2 приведены представленные в псевдоцветах карты яркости двух пространств и сводка результатов опроса 40 проектировщиков ос-

вещения. Каждая карта содержит на уровне пикселей 18 млн значений яркости. Из этих двух HDR-изображений следует, что в освещённом дневным светом холле со стеклянной стеной динамический диапазон яркости ($7,054\text{--}1976160,000 \text{ кд}/\text{м}^2$) был гораздо шире, чем в освещённой электрическим светом не имеющей окон лаборатории ($0,484\text{--}9365,280 \text{ кд}/\text{м}^2$). Карты яркости показывают, что оба эти пространства освещены достаточно хорошо, однако в них могут иметь место проблемы с блёскотью, создаваемой прямым солнечным светом, освещённым окном или электрическими источниками света. Результаты опроса говорят о том, что после того, как 40 проектировщиков освещения посмотрели на карты яркости, 90 % из них решили, что HDR-карты яркости были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, 55 % считают, что эти изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 100 % согла-

сились с тем, что такие изображения будут полезными на стадии проектирования освещения, и 82,5 % хотели бы использовать подобные HDR-изображения в своей практике.

Рис. 3 выявил представляющие потенциальную опасность участки световой среды, идентифицируемые по местоположению соответствующих им пикселей, яркости которых превышают $500 \text{ кд}/\text{м}^2$ в случае освещённой электрическим светом не имеющей окон лаборатории и $2000 \text{ кд}/\text{м}^2$ в случае освещённого дневным светом холла. Эти пороговые значения яркости были выбраны на основе результатов исследований дисконфортной блёскости и адаптации глаза к световой среде [13, 17, 18]. В освещённом дневным светом холле источниками блёскости оказались поверхности, яркости которых в четыре раза превышали среднюю яркость освещаемой зоны, то есть примерно $2000 \text{ кд}/\text{м}^2$. Кроме того, на рис. 3 показано, какая часть из 40 проектировщиков освещения положительно ответили на

² Помимо 40 проектировщиков освещения, авторы опросили ещё и 6 студентов, о чём упоминают при обсуждении полученных результатов (раздел 4). – Прим. пер.

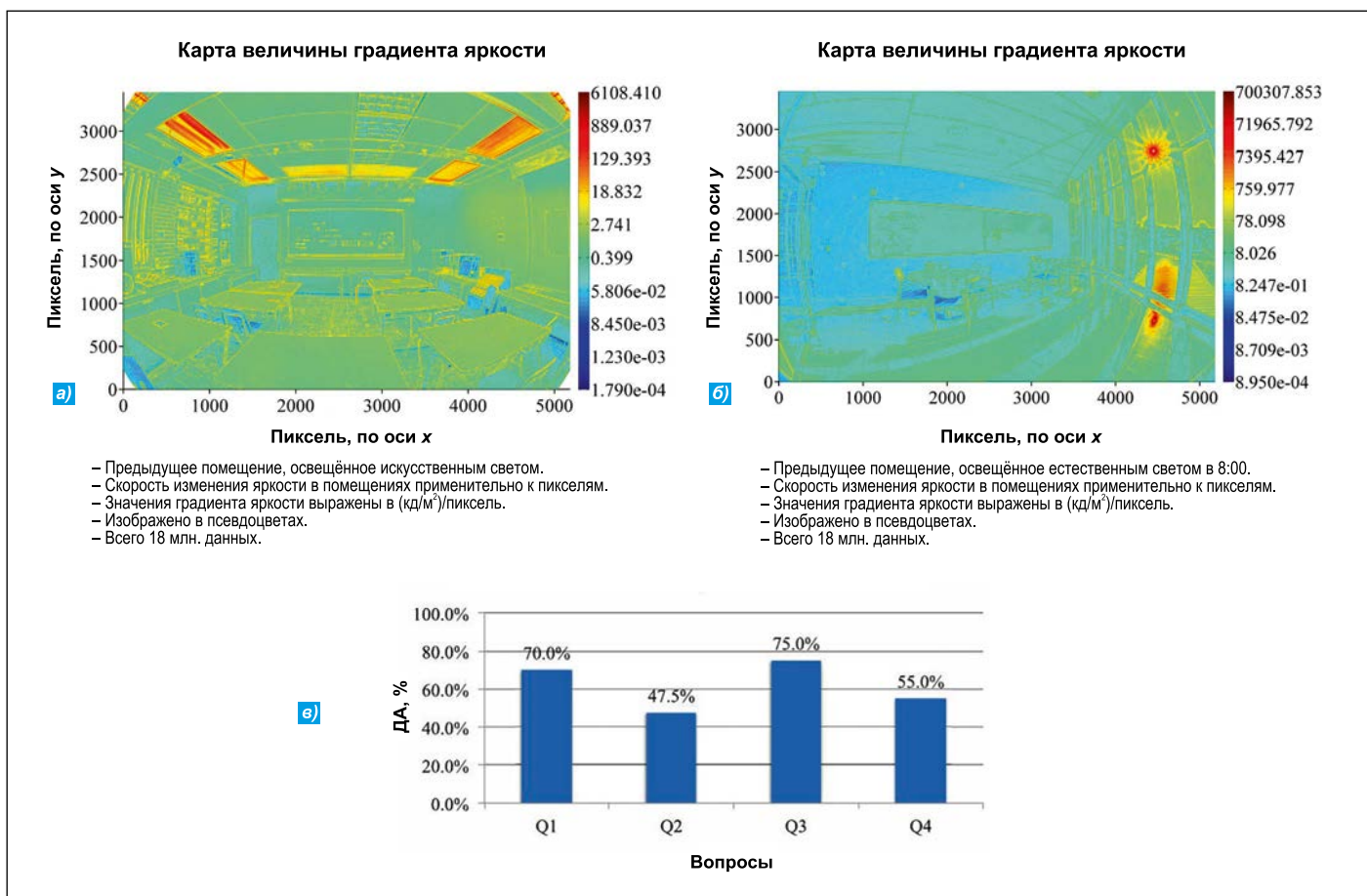


Рис. 4. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и 6 студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам величины градиента яркости: а – карта величины градиента яркости в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – карта величины градиента яркости в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о картах величины градиента яркости

заданные вопросы. Из рис. 3, в следует, что, посмотрев на эти карты яркости с отсечкой по минимальному значению яркости, 50 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, только 37,5 % считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 55 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными на стадии проектирования освещения, и 45 % хотели бы использовать подобные HDR-карты с отсечкой по минимальному значению яркости в своей практике.

На рис. 4 приведены 2-мерные карты величины градиента яркости. Градиентом яркости G называют наибольшую скорость (величину) и полярность пространственного изменения яркости в пределах большой поверхности или всего поля зрения [3]. Другими словами, градиент яркости говорит о том, насколько быст-

ро и в каком направлении изменяется яркость. На рис. 4 величина яркости представлена в широком диапазоне, от почти 0 до 6108 ($\text{кд}/\text{м}^2$)/пиксель в случае не имеющей окон лаборатории и до 700307 ($\text{кд}/\text{м}^2$)/пиксель в случае холла, освещаемого дневным светом рано утром. Согласно рис. 4, яркость медленно, с меньшей, чем 500 ($\text{кд}/\text{м}^2$)/пиксель, скоростью изменяется вдоль стен, пола, потолка и мебели. Самое быстрое изменение имеет место на краях встроенных световых полос (трофферов), где градиент яркости достигает максимума в 6108 ($\text{кд}/\text{м}^2$)/пиксель. В освещённом дневным светом холле очень быстро изменяются яркости окна и освещаемого солнцем пола. Наибольший градиент яркости наблюдался ранним утром, когда солнце попадало в объектив фотокамеры. В удалённых от окна зонах освещение становится равномерным. Расположенные в глубине помещения поверхности освещены очень равномерно. Согласно рис. 4, в, после ознакомления с картами распределения

величины градиента яркости, 70 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, только 47,5 % считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 75 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными на стадии проектирования освещения, и 55 % хотели бы использовать подобные карты величины градиента яркости в своей практике.

Быстрое изменение яркости приводит к чрезмерному контрасту, который, в свою очередь, может привести к появлению дискомфортной блёскости. На рис. 5 приведены наибольшие скорости изменения яркости, выявленные с использованием отсечки по минимальному значению величины градиента яркости (500 ($\text{кд}/\text{м}^2$)/пиксель в случае лаборатории и 2000 ($\text{кд}/\text{м}^2$)/пиксель в случае освещённого дневным светом холла), что согласуется с отсечкой по минимальному

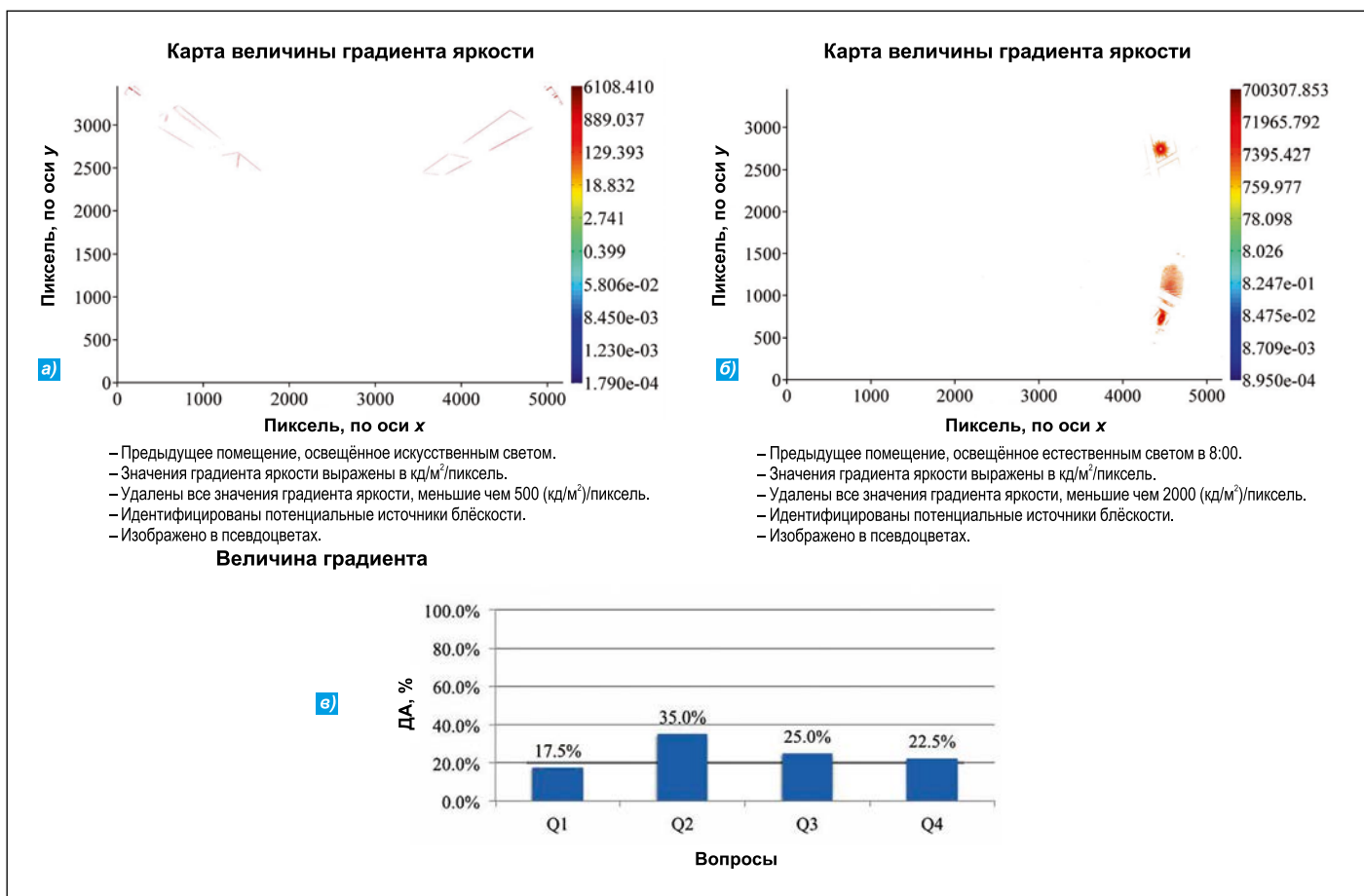


Рис. 5. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и б студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости: а – карта величины градиента яркости с нижним порогом $500 (\text{кд/м}^2)/\text{пиксель}$ в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – карта величины градиента яркости с нижним порогом $2000 (\text{кд/м}^2)/\text{пиксель}$ в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о картах величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости

значению яркости. Другие, более высокие пороговые значения можно использовать для идентификации опасного освещения в более суровых областях применения. Согласно рис. 5, в, после ознакомления с картами величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости, только 17,5 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, 35 % считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 25 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными при компьютерной разработке новых проектов освещения, и только 22,5 % хотели бы использовать подобные HDR-изображения в своей практике. Так что карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости оказались не столь полезными для опро-

шенных проектировщиков, как карты яркости, карты яркости с отсечкой по минимальному значению яркости или карты величины градиента яркости без отсечки.

На рис. 6 приведена направленность градиента яркости, характеризуемая углом θ , в направлении которого яркость изменяется от пикселя к пикселю. Угол θ лежит в пределах от -180 до 180° и отсчитывается против часовой стрелки от оси x , так что угол 0° указывает вправо (по направлению оси x), 90° – вверх, $180/-180^\circ$ – влево и -90° – вниз. Данные на рис. 6 представлены с использованием цветовой шкалы. Тёплые цвета говорят о том, что градиент направлен вверх, а холодные цвета – что вниз. Согласно рис. 6, в, после ознакомления с картами направленности градиента яркости, 45 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации,

65 % считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 40 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными при компьютерной разработке новых проектов освещения, но только 35 % хотели бы использовать подобные HDR-изображения в своей практике. Эти результаты отражают сложность как восприятия градиента яркости в качестве нового параметра, который было предложено использовать при проектировании освещения [3], так и его измерения проектировщиками освещения, не обладающими знаниями в области формирования HDR-изображений и навыками работы с языками программирования.

Обсуждавшиеся выше карты величины и направления градиента яркости являются 2-мерными. В то же время, их можно объединить в 3-мерное изображение (рис. 7). К сожалению, на таких 3-мерных графиках расположенные на переднем плане точ-

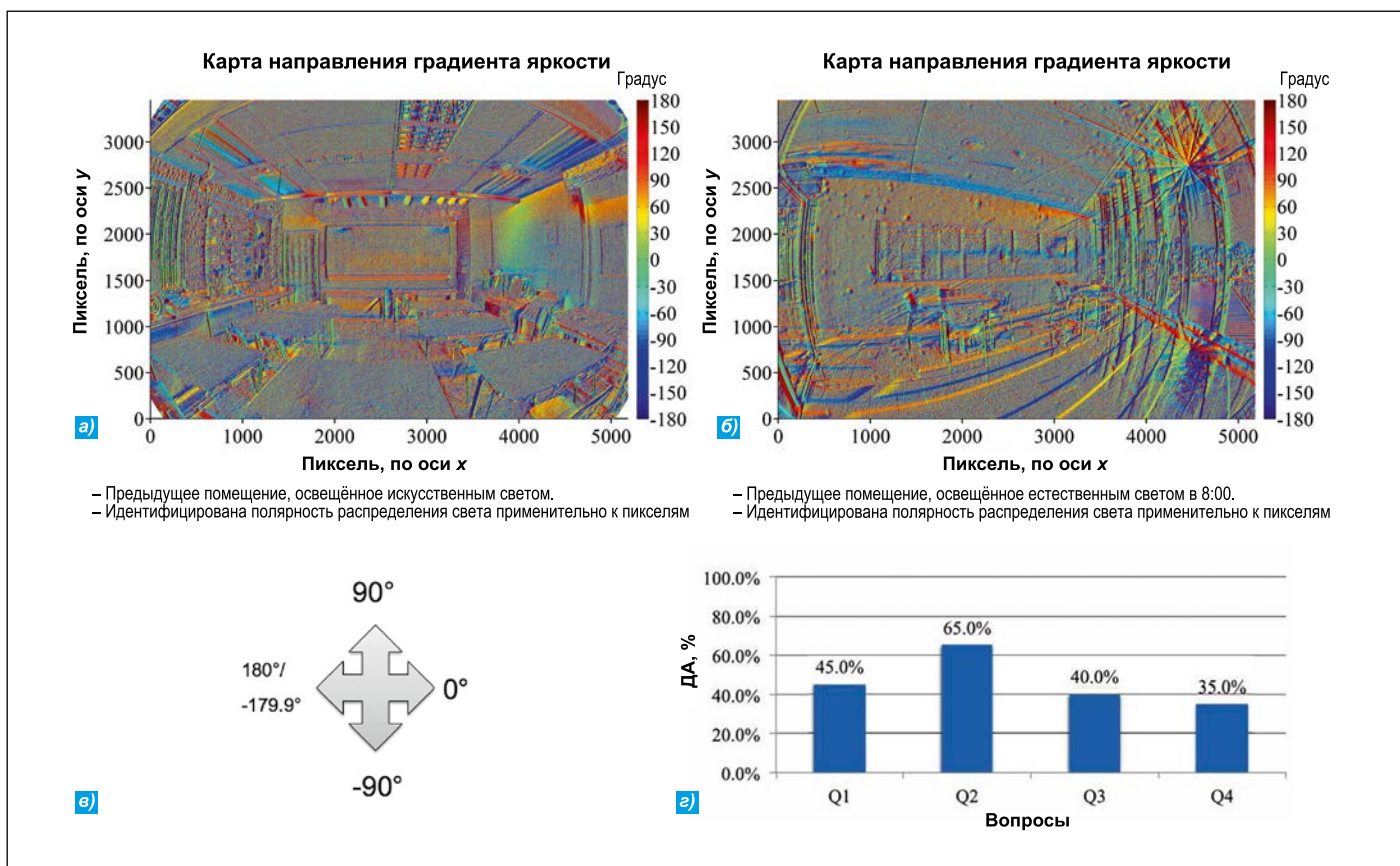


Рис. 6. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и 6 студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам направления градиента яркости (0° – вправо (направление оси x), 90° – вверх, 180° и -180° – влево, -90° – вниз): а – карта направления градиента яркости в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – карта направления градиента яркости в случае холла, освещённого дневным светом; в – угол θ , отсчитываемый в направлении против часовой стрелки от оси x ; г – сводка положительных ответов на вопросы о картах направления градиента яркости

ки с высокими значениями отображаемой величины закрывают расположенные за ними точки. Поэтому 2-мерные карты величины и направления градиента яркости представляются более понятными и, тем самым, более полезными для считывания с HDR-изображений значений и яркости, и градиента яркости, чем 3-мерные графики. Рис. 7 был введён в анкету для выяснения того, могут ли 3-мерные графики оказаться полезными при проектировании освещения, или же в дальнейшем их можно не принимать во внимание. Согласно рис. 7, в, после ознакомления с 3-мерной картой градиента яркости, только 27,5 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, 67,5 % всё же считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, и при этом только 30 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными при компьютерной

разработке новых проектов освещения и всего лишь 27,5 % хотели бы использовать подобные HDR-изображения в своей практике. Отсюда следует, что 3-мерное отображение градиента яркости не столь уж полезно для проектировщиков освещения, и, следовательно, в дальнейшем его можно не принимать во внимание.

3. Анализ результатов обследования

На рис. 2–7 приведены исходные данные – выраженная в процентах часть проектировщиков освещения, положительно ответивших на заданные вопросы. Эти данные были статистически обработаны на предмет определения выборочных средних, среднеквадратичных погрешностей и доверительных интервалов для всей генеральной совокупности (всех практикующих проектировщиков освещения) при равном 95 % уровне достоверности. Результаты проведённого статистического анализа приведены в табл. 1.

Из приведённых в табл. 1 результатов следует, что при равном 95 % уровне достоверности большинство (> 50 %) практикующих проектировщиков освещения, не знакомых с основными на HDR-изображениях методами проектирования, согласятся с тем, что 2-мерные карты яркости и 2-мерные карты величины градиента яркости окажутся полезными при проведении оценок как после заселения помещения или при его модернизации, так и при компьютерной разработке новых проектов освещения, и хотели бы использовать их в своей практике. Большинство практикующих проектировщиков освещения решат, что 2-мерные карты яркости предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз (доверительный интервал 39,3–70,7 % при равном 55 % выборочном среднем), а 2-мерные карты величины градиента яркости – нет (доверительный интервал 31,7–63,3 % при равном 47,5 % выборочном среднем). Похоже, что 2-мерные карты яркости окажутся более привлекательными для практику-

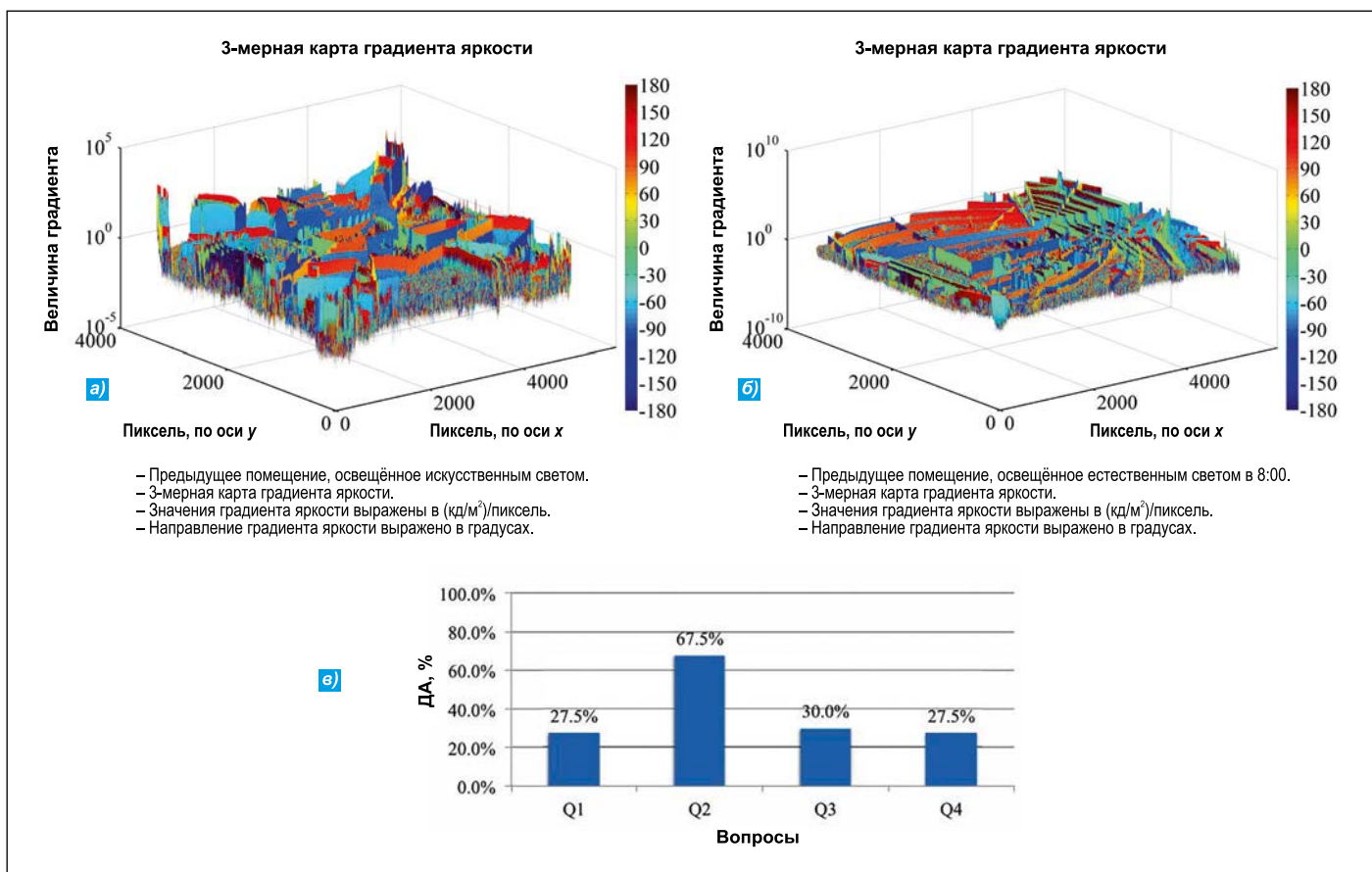


Рис. 7. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и 6 студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 3-мерным картам градиента яркости: а – 3-мерная карта градиента яркости в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – 3-мерная карта направления градиента яркости в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о 3-мерных картах градиента яркости

ющих проектировщиков освещения, чем 2-мерные карты величины градиента яркости.

Большинство практикующих проектировщиков освещения решат, что 2-мерные карты яркости и 2-мерные карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению соответствующего параметра не будут полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации и не предоставят больше информации, чем невооружённый глаз, и проектировщики не захотят использовать эти HDR-изображения с отсечкой в своей практике. В то же время, проектировщики освещения решат, что 2-мерные карты яркости с отсечкой по минимальному значению яркости будут полезными при компьютерной разработке новых проектов освещения (доверительный интервал 39,3–70,7 % при равном 55,0 % выборочном среднем), а 2-мерные карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению величины градиента яркости – нет (доверительный интервал

11,3–38,7 % при равном 25,0 % выборочном среднем).

Что касается 2-мерных карт направления градиента яркости, то большинство практикующих проектировщиков освещения решат, что они могут предоставить больше информации, чем невооружённый глаз (доверительный интервал 49,9–80,1 % при равном 65,0 % выборочном среднем), но не будут полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации и не помогут при компьютерной разработке новых проектов освещения, и проектировщики не захотят использовать эти карты в своей практике. Что касается 3-мерных карт градиента яркости, то большинство практикующих проектировщиков освещения решат, что они могут предоставить больше информации, чем невооружённый глаз, но не будут полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации и не помогут при компьютерной разработке новых проектов освещения, и проек-

тировщики не захотят использовать эти карты в своей практике.

4. Обсуждение

Почему большинство опытных проектировщиков освещения, постоянно работающих в этой области, не проявили большой заинтересованности в основанном на использовании компьютера и фотокамеры методе проектирования, хотя этот метод визуализации позволяет производить оценку качества освещения, например, блёскости [3]? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть ряд неочевидных обстоятельств. То, в какой мере основанный на использовании фотокамеры метод визуализации будет полезен для потенциальных пользователей, зависит от: (а) того, насколько накопленные за годы работы эмпирические знания в области проектирования освещения, в частности, связанные с пространственным распределением яркости, могут быть расширены при использовании HDR-изображений; и (б) того, будут

Результаты статистической обработки ответов на вопросы, позволяющие оценить, является ли основанный на использовании фотокамеры метод формирования изображений действительно полезным для проектировщиков освещения

Изображения с большим динамическим диапазоном	№ вопроса	Выборочное среднее, %	Размер выборки	Среднеквадратичная погрешность, %	Доверительный интервал при уровне достоверности 95 %, %
2-мерные карты яркости	1	90,0	40	4,7	80,5–99,5
	2	55,0	40	7,9	39,3–70,7
	3	100,0	40	0,0	100
	4	82,5	40	6,0	70,5–94,5
2-мерные карты яркости с отсечкой по минимальному значению яркости	1	50,0	40	7,9	34,2–65,8
	2	37,5	40	7,7	22,2–52,8
	3	55,0	40	7,9	39,3–70,7
	4	45,0	40	7,9	29,3–60,7
2-мерные карты величины градиента яркости	1	70,0	40	7,2	55,5–84,5
	2	47,5	40	7,9	31,7–63,3
	3	75,0	40	6,8	61,3–88,7
	4	55,0	40	7,9	39,3–70,7
2-мерные карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости	1	17,5	40	6,0	5,5–29,5
	2	35,0	40	7,5	19,9–50,1
	3	25,0	40	6,8	11,3–38,7
	4	22,5	40	6,6	9,3–35,7
2-мерные карты направления градиента яркости	1	45,0	40	7,9	29,3–60,7
	2	65,0	40	7,5	49,9–80,1
	3	40,0	40	7,7	24,5–55,5
	4	35,0	40	7,5	19,9–50,1
3-мерные карты градиента яркости	1	27,5	40	7,1	13,4–41,6
	2	67,5	40	7,4	52,7–82,3
	3	30,0	40	7,2	15,5–44,5
	4	27,5	40	7,1	13,4–41,6

ли *HDR*-изображения и результаты их обработки настолько понятны и полезны для пользователей, не имеющих эмпирических знаний, что они захотят учиться.

Большинству практикующих проектировщиков освещения свойственны хорошее зрительное воображение и креативность. Они обладают накопленными за годы работы эмпирическими знаниями о пространственных распределениях яркости. Более того, принявшие участие в опросе 40

профессионалов не были знакомы с методами, в которых используются *HDR*-изображения. До анкетирования они не имели возможности изучить и опробовать неподъёмный (для не имеющих навыков работы с компьютером проектировщиков) и занимающий много времени метод компьютерной обработки *HDR*-изображений, что могло повлиять на понимание ими этих впервые увиденных *HDR*-изображений. В результате проектировщик может не захотеть преодолеть

все описанные в [3] этапы технического анализа существующего пространства, одного взгляда на которое ему будет достаточно для проведения эмпирической оценки.

Мнение этих 40 профессионалов может не отражать точку зрения неопытных проектировщиков освещения и студентов, которые могут обладать знаниями в области компьютерных расчётов и *HDR*-визуализации, но не имеют практического опыта. Для выяснения того, сможет ли обучение не-

опытных проектировщиков освещения HDR-фотографии и применению основанного на использовании компьютера и фотокамеры метода проектирования способствовать тому, что они будут использовать HDR-изображения для анализа проектов освещения, было проведено дополнительное анкетирование студентов, которые уже изучили основанные на использовании фотокамер методы проектирования и применяли их на практике. Ссылка на сайт, на котором была размещена анкета, была направлена этим студентам по электронной почте после окончания семестра, что позволило избежать конфликта интересов. 6 студентов анонимно ответили на вопросы в режиме онлайн.

Было установлено, что обучение может помочь студентам как понять этот основанный на использовании фотокамеры метод визуализации, так и принять и освоить использование при проектировании карт яркости, карт яркости с отсечкой по минимальному значению яркости, карт величины градиента яркости и карт направления градиента яркости, но вряд ли поможет им принять и использовать на практике карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости и 3-мерные карты градиента яркости.

5. Выводы

Это исследование посвящено применению основанного на использовании фотокамеры метода визуализации, который был предложен в [1], для оценки качества освещения в существующих осветительных установках. В этом методе принимается во внимание зрительное восприятие человека, которое должно учитываться проектировщиками освещения для формирования приятного для людей высококачественного освещения. Было установлено, что большинство практикующих проектировщиков освещения сочтут карты яркости и карты величины градиента яркости полезными, а карты яркости и карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению соответствующего параметра — бесполезными. Большинство практикующих проектировщиков освещения сочтут бесполезными как карты направления градиента яркости, так и 3-мер-

ные карты градиента яркости, которые, к тому же, слишком трудно использовать. Так что этот основанный на использовании фотокамеры метод визуализации может оказаться не очень полезным для опытных проектировщиков освещения. Скорее всего, накопленный ими многолетний опыт способен обеспечить их эмпирическое понимание проектов, которое не опирается на техническую информацию, содержащуюся в HDR-изображениях. Тем не менее, объективная количественная информация, содержащаяся в HDR-изображениях, может оказаться полезной для проектировщиков при разговорах с заказчиками или другими заинтересованными лицами, которые имеют меньший опыт в области освещения.

С другой стороны, этот метод визуализации может оказаться полезным для студентов или недавно окончивших обучение специалистов, которых научили использовать эти новые методы в процессе проектирования, что позволяет им, не имеющим многолетнего практического опыта, за пару часов успешно проанализировать световую среду для облегчения процесса проектирования. Кроме того, этот метод может представлять огромный интерес для обучающихся проектированию освещения преподавателей, которые постоянно ищут средства, позволяющие лучше объяснить студентам связь между качественными и количественными характеристиками освещения. Похоже, что HDR-фотография способна стать тем инструментом, который позволит зрительно проиллюстрировать те правила проектирования освещения, которые обычно трудно объяснить студентам. В своём сегодняшнем виде основанный на использовании фотокамеры метод визуализации, который был предложен в [1], трудно применять в повседневной практике проектирования освещения, и для преодоления препятствующих его применению технических барьеров потребуются дополнительные работы.

Авторы выражают благодарность Международной ассоциации светодизайнеров за содействие участию второго автора (М.И. Сайфан) в конференции «*Enlighten Americas 2013*» (Монреаль, Канада, октябрь 2013 г.), где заинтересованные проектировщики освещения получили возможность принять участие в этом исследовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cai, H., Saifan, M.I., Killeen, J.A. Case Studies of a Camera Aided Imaging Method for Evaluation of Interior Luminous Environments, Indoor and Built Environment. (OnlineFirst). DOI:10.1177/1420326X14534457. — 2014.
2. Cai, H., Chung, T.M. Improving the quality of high dynamic range images // *Lighting Research and Technology* — 2011. — Vol. 43, No. 1. — P. 87–102.
3. Cai, H. Luminance gradient for evaluating lighting // *Lighting Research and Technology*. — 2016. — Vol. 48, No. 2. — P. 155–175.
4. Inanici, M.N. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system // *Lighting Research and Technology*. — 2016. — Vol. 48, No. 2. — P. 123–136.
5. Cuttle, C. Towards the third stage of the lighting profession // *Lighting Research and Technology*. — 2010. — Vol. 42, No. 1. — P. 73–93.
6. Jay, P.A. Review: subjective criteria for lighting design // *Lighting Research and Technology*. — 2002. — Vol. 34, No. 2. — P. 87–96.
7. Yonemura, G.T. Criteria for recommending lighting levels // *Lighting Research and Technology*. — 1981. — Vol. 13, No. 3. — P. 113–129.
8. Nazzari, A. A new daylight glare evaluation method: introduction of the monitoring protocol and calculation method // *Lighting Research and Technology*. — 2001. — Vol. 33, No. 3. — P. 257–265.
9. Howlett, O.A. Reflectance characteristics of display screen equipment: application to workplace lighting design // *Lighting Research and Technology*. — 2003. — Vol. 35, No. 4. — P. 285–296.
10. Sarkar, A., Mistrick, R. A Novel Lighting Control System Integrating High Dynamic Range Imaging and DALI // *Leukos*. — 2006. — Vol. 2, No. 4. — P. 307–322.
11. Wienold, J., Christoffersen, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras // *Energy and Buildings*. — 2006. — Vol. 38, No. 7. — P. 743–757.
12. Howlett, O., Hescong, L., Mchugh, J. Scoping study for daylight metrics from luminance maps // *Leukos*. — 2007. — Vol. 3, No. 3. — P. 201–215.
13. Tuaycharoen, N., Tregenza, P.R. View and discomfort glare from windows // *Lighting Research and Technology*. — 2007. — Vol. 39, No. 2. — P. 185–200.
14. Cantin, F. Daylighting Metrics Based on Illuminance Distribution, Glare, and Di-

rectivity // Lighting Research and Technology. — 2010. — Vol. 43, No. 3. — P. 291–307.

15. *Bellia, L., Spadaa, G., Pedace, A.* Lit environments quality: a software for the analysis of luminance maps obtained with the HDR imaging technique // Energy and Buildings. — 2013. — Vol. 67. — P. 143–152.

16. Recommended Practice for Daylighting Buildings. IES RP-5–13. New York: Illuminating Engineering Society, 2013.

17. Discomfort Glare in the Interior Working Environment. CIE Publication 055. Paris: CIE, 1983.

18. *Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., Johnson, P.* 2010. The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylight office environment // Leukos. — 2010. — Vol. 7, No. 2. — P. 103–122.

На приведённые ниже публикации ссылки в статье отсутствуют.

Albrecht, D.C. n.d.. Measuring Color-Systems and Costs. Retrieved May 11, 2011, from <http://www.dcdadvancedtech.com/systems%26costs.pdf>.

Alzoubi, H., Al-Rqaibat, S., Bataineh, R.F. Pre-versus post-occupancy evaluation of daylight quality in hospitals // Building and Environment. — 2010. — Vol. 45, No. 12. — P. 2652–2665.

Boyce, P.R., Slater, A.I. 1981. The application of CRF to office lighting design // Lighting Research and Technology. — 1981. — Vol. 13, No. 2. — P. 65–79.

Cornolly, C., Leung, T.W.W. Industrial color inspection by video camera // Proc. of the 5th Int. Conf. on Image Processing and Its Applications. Conference publication No. 410. IEE1995. July 4–6, 1995, Edinburgh, UK.

de Lasarte, M., Vilaseca, M., Pujol-Ramo, J., Arjona, M., Martínez-Verdú, F.M., de Fez, D., Viqueira, V. Development of a perceptual colorimeter based on a conventional CCD camera with more than three color channels // Proc. of the 10th Congress of the International Colour Association (AIC'05). International Colour Association, 2005, 1247–1250.

Hong, G., Luo, M.R., Rhodes, P.A. 2001. A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling // Color Research and Applications. — 2001. — Vol. 26, No. 1. — P. 76–84.

Konis, K., Lee, E.S., Clear, R.D. Visual comfort analysis of innovative interior and exterior shading systems for commercial buildings using high resolution luminance images // Leukos. — 2011. — Vol. 17, No. 3. — P. 167–188.

Lupton, M.J., Leung, A.S.M., Carter, D.J. Advances in lighting design methods for non-empty interiors: a review // Lighting

Research and Technology. — 1996. — Vol. 28, No. 1. — P. 29–41.

Martínez-Verdú, F., Pujol-Ramo, J., Capilla-Perea, P. Characterization of a digital camera as an absolute tristimulus colorimeter // Journal of Imaging Science and Technology. — 2003. — Vol. 47, No. 4. — P. 279–295.

Seymour, J. The technical association of the graphic arts (TAGA). 61st Annual Technical Conference, New Orleans, Louisiana, March 15–18, 2009. Retrieved May 11, 2011, from <http://www.gaintest.net/tagaatc09/presentations/2009%20Session%201%20Paper%2005%20Seymour.pdf>.

Tobin, K.W., Goddard, J.S., Hunt, M.A., Hylton, K.W., Karnowski, T.P., Simpson, M.L., Richards, R.K., Treece, D.A. // Proceedings-SPIE The International Society For Optical Engineering. — 2000. — Vol. 3966, No. 29. — P. 194–205.

Ward, G. Radiance visual comfort calculation // 1992. — Retrieved January 10, 2011, from <http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/Notes/glare.html>.

Wienold, J. 2010. Daylight glare in offices // Fraunhofer IRB. — 2010. — Retrieved November 14, 2015, from <http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-1414579.pdf>.

Imaging Systems Tackle Color Measurement. Vision Systems Design. Ed.A. Wilson. — 2007. — Retrieved May 23, 2011, from <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-12/issue-8/features/product-focus/imaging-systems-tackle-color-measurement.html>.



Хонгу Цай (Hongyi Cai),

Ph.D. Доцент Университета шт. Канзас, США. Онователь светотехнической лаборатории этого университета, работы которой

получали престижные международные и национальные премии. Член ряда американских и международных научных организаций

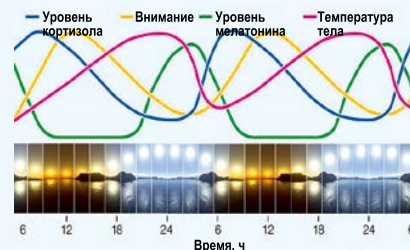


Маруам И. Сайфан (Mariam I. Saifan), M.Sc.

Область научных интересов: проектирование освещения

Регулируемое освещение белыми светодиодами полезно для пожилых

Нарушения сна обычны для жителей домов престарелых (ЖДП), что связано с их возрастом и заболеваниями. Может ли освещение что-то менять в этом отношении? На



этом вопрос (хотя бы предварительно) решили ответить дом престарелых азиатской общины и коммунальная служба г. Сакраменто (шт. Калифорния) под эгидой Минэнерго США, заменив в доме престарелых люминесцентные лампы в одном из коридоров, в двух жилых помещениях (включая ванную комнату), на сестринском посту, в общей гостиной и в административном помещении и обеспечив «регулируемый белый свет», т.е. белый свет, спектральный состав которого можно было менять благодаря многообразию используемых в качестве источников света светодиодов (СД). При этом исследователи особенно интересовало влияние регулирования спектра на уровень мелатонина у ЖДП. (Мелатонин — вырабатываемый телом гормон, который регулирует сон и бодрствование. Кроме того, он является антиоксидантом и, тем самым, участвует в восстановлении клеток и оказывает противовоспалительное действие. У человека уровень мелатонина в крови возрастает (ночью) и снижается (днем) в течение 24-часового (циркадного) цикла сна-бодрствования.

В соответствии с рекомендациями Светотехнического исследовательского центра Политехнического института Ренсселера (г. Трой, шт. Нью-Йорк), исследователи при помощи системы управления получали свет, интенсивность и спектр которого должны были обеспечить снижение секреции мелатонина с утра до полудня, но не в вечернее время.

Результаты исследований, приведённые в отчёте, впечатляют:

- У трёх участвовавших в исследовании ЖДП уменьшилась частота случаев возбуждённого поведения, такого как крики и плач.
- У одного из ЖДП значительно снизилась потребность в психотропных и снотворных препаратах.
- В коридоре сократилась частота случаев падения ЖДП.
- ЖДП, комнаты которых располагались в других местах, стали «тусоваться» в освещённом СД коридоре.

Отчёт Минэнерго США по этому проекту («*Tuning the Light in Senior Care: Evaluating a Trial LED Lighting System at the ACC Care Center in Sacramento, CA*») можно бесплатно получить в Национальном бюро по освещению (National Lighting Bureau).

www.led-professional.com
05.01.2017