

Экспериментальное исследование нового критерия качества освещения на основе анализа распределения яркости на станциях Московского метрополитена

¹В.П. БУДАК, ²В.С. ЖЕЛТОВ, ²Т.В. МЕШКОВА., В.Д. ЧЕМБАЕВ

НИУ «МЭИ», Москва

E-mail: ¹budakvp@gmail.com, ²tvmesh@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен эксперимент по исследованию нового критерия качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости, предложенного на кафедре «Светотехника» НИУ «МЭИ». В эксперименте исследована корреляция экспертных оценок качества освещения вестибюлей 21 станции Московского метрополитена с анализом на основе критерия качества яркостных фотографий станций, полученных съёмкой фотоаппаратом в RAW-формате и нормированных на яркость, измеренную яркомером. Полученные изображения были обработаны с помощью предложенного критерия. Рассмотрены построение моделей станций и расчёты, выполненные в программе «DIALux» и в созданной (в рамках работы) программе на основе локальных оценок. Показано, что предложенный критерий позволяет учитывать протяжённые блики и может рассматриваться как расширение объединённого показателя дискомфорта UGR.

Ключевые слова: критерий качества освещения, распределение яркости, локальные оценки, метрополитен, блёскость.

Введение

Свет в метро – одно из главных художественных средств создания архитектуры метростанций. Он создаёт иллюзию воздушного, лёгкого и светлого пространства под землёй. Но в тоже время, освещение является важнейшим фактором безопасности пассажиров.

Московское метро всегда рассматривалось архитекторами как система подземных дворцов для народа, выполнявшего заказ по созданию самого демократичного вида транспорта. Причём в мире нет других метро-

политенов, где бы в таком количестве использовались ценные породы камня, а в интерьерах станций использовались бы элементы скульптуры, живописные и мозаичные панно, рельефы.

В любом метрополитене мира особенно важен фактор света, но в Московском, помимо обеспечения безопасности пассажиров, важно подчеркнуть и уникальность каждой станции освещением. Именно здесь архитектурная и функциональная составляющие освещения неразделимы и качество освещения играет особую роль.

В настоящей работе на основе эксперимента сформулирован новый критерий качества освещения (ККО), одна из ключевых задач которого – учёт факторов, плохо учитываемых в методе UGR, а именно протяжённых бликов. И новые станции Московского метрополитена как раз подходили для подобного эксперимента. Преобладание бликующих материалов в отделке (мрамор, гранит, металл, стекло) и наличие большого числа разных источников света (ИС) приводят к образованию на станциях множества протяжённых бликов, что как нельзя лучше подходит для оценки нового ККО.

Критерий качества освещения

Новый ККО на основе анализа пространственно-углового распределения яркости был предложен в работе [1]. При последующих оценках на экспериментальной установке на кафедре «Светотехника» НИУ «МЭИ» и в рамках настоящей работы в него вносились коррективы. Итак, согласно этому ККО, качество освещения может оцениваться из заданной точки в пространстве сцены в заданном направлении одним числом:

$$Q = \frac{1}{K_{\text{пор}}} \int K(x, y) h(x, y) dx dy, \quad (1)$$

где $K_{\text{пор}}$ – пороговое значение контраста, h – весовая функция, позволяющая учитывать светотехническую задачу, $K(x, y)$ – обобщённый контраст в точке сцены, определяемый как

$$K(x, y) = \frac{|\text{grad}(L(x, y)p(x, y))|}{\bar{L}}, \quad (2)$$

а средняя яркость определяется как

$$\bar{L} = \frac{1}{A} \int_{(A)} L(x, y) p(x, y) dx dy,$$
$$A = \int_{(A)} dx dy.$$

Переменные x и y определяются в плоскости анализа кадра изображения, видимого из исследуемой точки в заданном направлении, $p(x, y)$ – функция, связанная с неравномерностью плотности распределения колбочек и палочек по сетчатке глаза. Аналогично может учитываться любая иная функция, влияющая на результат.

В сформулированном ККО любое изменение яркости будет давать вклад в результат. При этом очевидно, что перепады яркости ниже некоторой пороговой яркости не вносят дискомфорта в восприятие. Ограничим их влияние порогом $L_{\text{пор}}$:

$$K(x, y) = \begin{cases} L(x, y) \leq L_{\text{пор}} \rightarrow 0 \\ L(x, y) > L_{\text{пор}} \rightarrow K(x, y) \end{cases}. \quad (3)$$

Эксперимент в Московском метрополитене

В качестве исследуемых была выбрана 21 станция: «Расказовка», «Боровское шоссе», «Солнцево», «Говорово», «Ломоносовский проспект», «Минская», «Пятницкое шоссе», «Волоколамская», «Мякинино», «Славянский бульвар», «Шелепиха», «Хорошевская», «ЦСКА», «Петровский парк», «Сретенский бульвар», «Трубная», «Достоевская», «Марьяна роща», «Бутырская», «Фонвизинская», «Окружная». Основным критерием выбора было наличие на них большого количества бликующих материалов в отделке, и выбираемые станции до проведения эксперимента (заведомо) разделялись на «хорошие» и «плохие».

Одна из реальных зрительных задач, решаемых в метрополитене, – чтение вывесок с указателями. Имен-

но она и легла в основу эксперимента. При этом в светотехнической практике часто проводится экспертное сравнение друг с другом разных ОУ, обычно дающих одинаковое функциональное освещение. Например, освещение одной станции может сравниваться с освещением другой на основе оценок по шкале «лучше-хуже» или иной. Соответственно, наш эксперимент проводился по следующей схеме:

- Наблюдатель высаживается на станции, в течение 1 мин происходит зрительная адаптация на новый уровень яркости на ней, по сравнению с уровнем яркости в вагоне. В течение 1 мин наблюдателю даётся возможность осмотреть всю станцию целиком, идентифицировать вывеску с указателями выхода и оценить качество освещения станции при наблюдении вывески по шкале от 0 до 10, где 0 – соответствует «качественному» освещению, а 10 – «некачественному». Ощущение качественного освещения интерпретируется как зрительный комфорт при чтении вывески и пребывании на станции. При этом норма находится «посередине шкалы», а оценка наблюдателя должна выставляться с одного ракурса в сцене, а именно, по нормативным документам, у торцевой стены на центральной оси помещения на уровне глаз при направлении наблюдения под углом 0° к горизонту – для дальнейшего сравнения с нормируемым значением показателя UGR для смоделированной ОУ в программе «*DIALux*».

- Делается широкодиапазонная фотография цифровым фотоаппаратом *Nikon D3100* в *RAW*-формате с нескольких ракурсов и одновременно с тех же ракурсов измеряется яркость яркомером *Konika Minolta LS-100* для возможности нормировки фотографии (рис. 1). На станциях, освещение которых выполнено с помощью открытых ИС, измеряется яркость в точке максимальной яркости в сцене, яркость самого ИС, а на станциях с закарнизным освещением измеряется яркость самого яркого блика в сцене.

- Средняя яркость на станции определяется в ходе обработки фотографий при нормировке с помощью программного комплекса «*Matlab*».

В эксперименте приняли участие три человека, и в результате получены усреднённые данные по станциям, представленные в табл. 1.

Рис. 1. Процесс проведения эксперимента

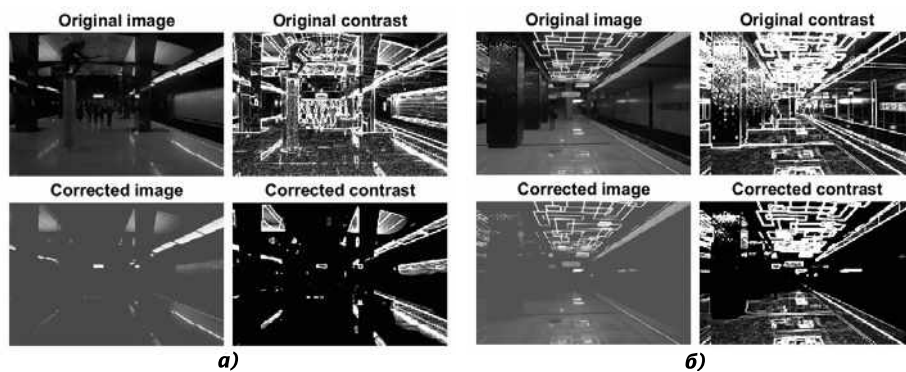


Рис. 2. Обработка фотографий станций «ЦСКА» (а) и «Говорово» (б). (*Original image* – оригинальное изображение. *Original contrast* – оригинальный контраст. *Corrected image* – скорректированное изображение. *Corrected contrast* – скорректированный контраст)

При обработке результатов по предложенному ККО в качестве пороговой яркости на первом этапе бралась средняя яркость на станции. Отметим, что, аналогично низким значениям яркости отсекались и в работе [2], где тоже сделана попытка анализа качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости. На рис. 2 представлены оригинальные фотографии двух станций метро и полученный на их основе контраст, а также «фотографии» и контрасты после коррекции по формуле (3).

При обработке данных удобно использовать карты рассеяния двух переменных, позволяющие зрительно оценивать наличие корреляции. На рис. 3 представлена карта рассеяния ККО и ответов наблюдателей. Не трудно видеть, что в целом точки расположены вдоль диагонали с достаточно

большим разбросом. Проверка наличия связи между двумя рассматриваемыми переменными осуществляется с помощью линейного коэффициента корреляции (КК), определяемого как

$$c(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (y_i - \bar{y})^2}},$$

где

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i.$$

КК для полученных результатов составил 0,57.

Средняя яркость и средняя оценка наблюдателей по станциям

Станция	Яркость, кд/м ²	Оценка	Станция	Яркость, кд/м ²	Оценка
«ЦСКА»	38	4	«Ломоносовский проспект»	108	5
«Трубная»	45	2,66	«Окружная»	111	7
«Хорошевская»	49	5	«Мякинино»	128	3,33
«Рассказовка»	53	3,66	«Сретенский бульвар»	146	3
«Шелепиха»	57	4	«Минская»	149	6
«Славянский бульвар»	61	1,66	«Бутырская»	180	7
«Волоколамская»	62	3,33	«Достоевская»	188	5
«Пятницкое шоссе»	73	3	«Солнцево»	223	6
«Марьино роща»	75	1,66	«Фонвизинская»	225	7
«Петровский парк»	76	5	«Говорово»	239	9
«Боровское шоссе»	90	7,66			

Таблица 2 38 кд/м² на станции «ЦСКА» до 239 кд/м² на станции «Говорово».

Шкала Чеддока

$c(x, y)$	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–1,0
Корреляция	очень слабая	слабая	средняя	высокая	очень высокая

Предположим, что пороговая яркость должна формироваться частично от средней яркости на станции и средней яркости в вагонах метро:

$$L_{\text{пор}} = cL_{\text{ср.вагон}} + (1 - c)L_{\text{ср.станции}}$$

где в нашем эксперименте, как уже говорилось, $L_{\text{ср.вагон}} = 183 \text{ кд/м}^2$.

На рис. 4 представлена карта рассеяния при $c = 0,5$, КК при этом составил 0,76, что является высокой корреляцией по шкале Чеддока.

Был проведён также расчёт зависимости КК от коэффициента c в диапазоне от 0 до 1 (рис. 5). Больше 80 % тела графика лежит в области высокой корреляции по шкале Чеддока, позволяя сделать осторожное предположение о том, что при обработке результатов необходимо учитывать яркость в вагонах метро.

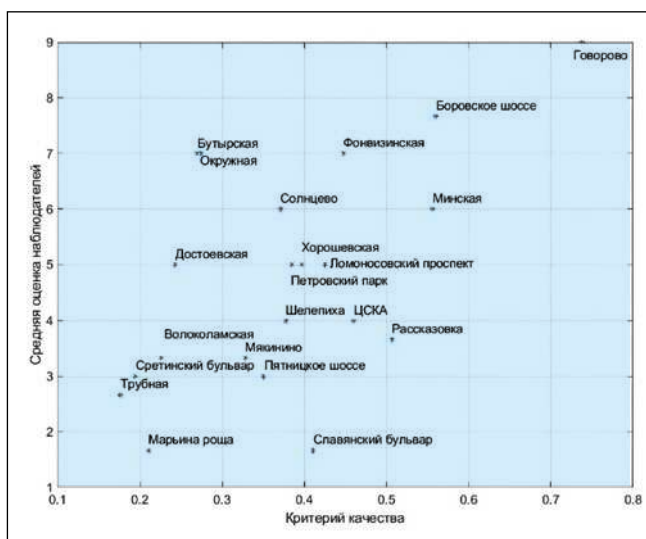
Исследование критерия качества на основе экспериментальных данных

Широко известная формула объединённого показателя дискомфорта UGR

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0,25}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right],$$

была получена эмпирически (в результате обобщения экспериментальных данных), но в ней обнаруживают и фи-

Рис. 3. Рассеяние оценки наблюдателей и критерия качества освещения при пороговой яркости, равной средней яркости на станции



При этом КК принято оценивать по шкале Чеддока (табл. 2).

Отметим, что КК может быть и отрицательным, что соответствует распределению данных вдоль второй диагонали. В этом случае говорят об отрицательной корреляции.

Вопрос пороговой яркости для каждой из станций неоднозначен. Необходимо учитывать, что проведение эксперимента в метро было сопряжено с организационными сложностями

и временными ограничениями, в результате чего наблюдатели находились на станции от 5 до 15 мин. При этом они перемещались между станциями в вагонах метро, в которых яркость менялась очень сильно. Согласно проведённым замерам яркости в вагонах, её среднее значение составило 183 кд/м². Однако в целом средняя яркость на станциях и средняя яркость в вагонах метрополитена находятся в пределах двух порядков величин – от

зические закономерности. Так, известно мнение [3], что сложение квадратов яркостей и деление на яркость адаптации L_a в формулировке дискомфорта хорошо соотносится с известным отношением «сигнал/шум»:

$$SNR = \left(\frac{A_s}{A_n} \right)^2, \quad (4)$$

где A_s – амплитуда сигнала, A_n – амплитуда шума.

Изменим формулу ККО (1), с учётом выражения (4), заменой формулы (2) на формулу

$$K(x, y) = \frac{|\text{grad}(L^2(x, y)p(x, y))|}{\bar{L}^2}.$$

На рис. 6 представлена зависимость КК от коэффициента c . Нетрудно видеть, что, в целом, она аналогична приведённой на рис. 5.

Явление дискомфорта исследуется в области действия закона Вебера-Фехнера [4], согласно которому сила ощущения p пропорциональна логарифму уровня интенсивности раздражителя S :

$$p = k \log \frac{S}{S_0},$$

где S_0 – нижний граничный уровень интенсивности раздражителя, k – некоторая константа.

Введём в формулу ККО (1) логарифм, по аналогии с показателем UGR , тогда она примет вид

$$Q = \lg \left[c_{lg} \frac{1}{K_{пор}} \int K(x, y) dx dy \right],$$

где c_{lg} – некоторая константа.

Соответствующая зависимость КК от коэффициента c показана на рис. 7.

Моделирование станций метрополитена в «DIALux»

Смоделируем ОУ и проведём светотехнический расчёт в программе «DIALux 4.13» для станций с наибольшими значениями ККО на Солнцевской линии метро.

UGR должен оцениваться у торцевой стены на центральной оси помещения на высоте 1,2 м от пола; он не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки ИС (светильников)

Рис. 4. Рассеяние оценки наблюдателей при пороговой яркости, равной 1/2 средней на станции и 1/2 средней в вагоне

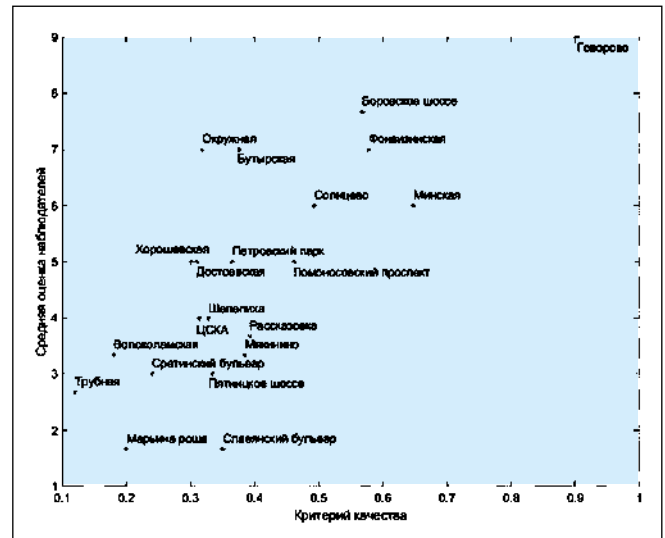


Рис. 5. Зависимость коэффициента корреляции от с

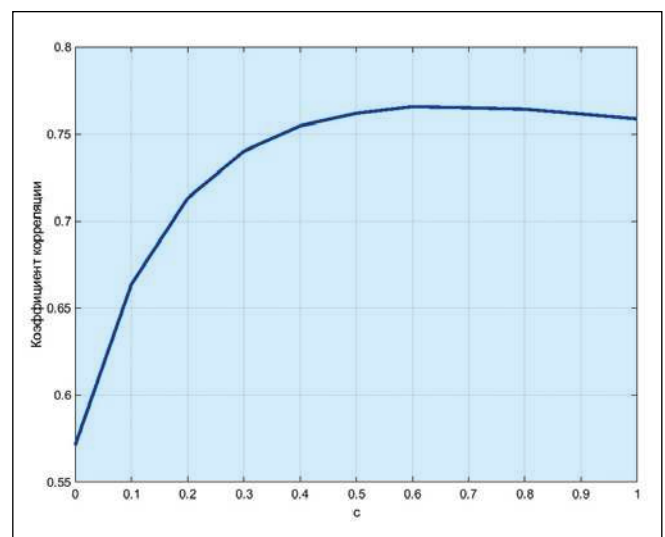
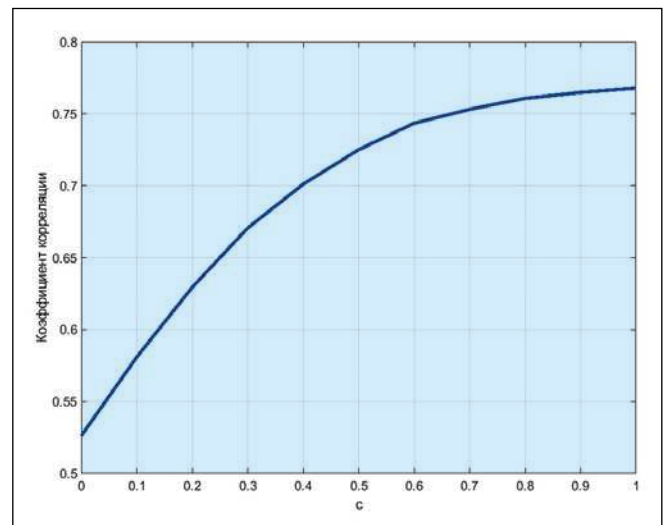


Рис. 6. Зависимость коэффициента корреляции от с для изменённой формулы критерия качества освещения по аналогии «сигнал-шум»



над полом, и, согласно СП 32–105–2004, в ОУ пассажирских помещений его среднее значение должно быть не выше 20 с допустимым превышением до 20 %. На рис. 8 представлены визуализации моделей в «DIALux» для четырёх станций: «Говорово», «Боров-

ское шоссе», «Солнцево», «Ломоносовский проспект».

Для этих станций был проведён расчёт в «DIALux» показателя UGR , результаты которого вместе с результатами эксперимента сведены в табл. 3, из которой видно, что уро-

Таблица 3

Результаты моделирования станций в «DIALux»

Название станции	Оценки наблюдателей	UGR	ККО (Критерий НИУ «МЭИ»)
«Говорово»	9	17	0,94
«Боровское шоссе»	8	16	0,58
«Солнцево»	6	19	0,50
«Ломоносовский проспект»	5	12	0,48

могут, что и искажает реальность ощущений от ОУ. А между тем расчётный уровень UGR на этих четырёх станциях является допустимым, т.к. не превышает 20.

Тем не менее в описанном выше расчёте никак не учтены отражённые блики на полу станций, полученные для фотореалистичного изображения с помощью трассировки лучей, так как, согласно алгоритму расчёта показателя UGR в программе «DIALux», учитываются только источники (светильники) прямого света. Поэтому для детального анализа далее смоделируем отражённые блики на полу в виде ИС с КСС используемых светильников на потолке, принимая отражение на полу за зеркальное. Результаты расчёта показателя UGR в сравнении с оценками наблюдателей для сцены с учётом отражённых бликов представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что нормативные значения UGR не выполняются, показывая этим, что заложенный алгоритм расчёта UGR для подобных сцен не позволяет корректно оценивать дискомфорт. При этом предложенный ККО тоже показывает (в соответствии с оценками наблюдателей), что освещение на станции «Боровское шоссе» хуже, чем на станции «Ломоносовский проспект». То есть в данном случае нет противоречия между UGR и предложенным ККО.

Моделирование станций метрополитена локальными оценками метода Монте-Карло

В рамках нашей предыдущей работы был реализован алгоритм локальных оценок для решения уравнения глобального освещения [1]. Отметим, что, в отличие от «DIALux», локальные оценки позволяют моделировать непосредственно яркость в заданной точке, а не освещённость. В созданной нами реализации локальной оценки для визуализации трёхмерных сцен на C++ были построены и рассчитаны модели трёх метростанций. Визуализации и фотографии представлены на рис. 9. Для полученных визуализаций были также рассчитаны ККО. Результаты расчётов представлены в табл. 5, из которой видно, что для станций «Говорово» и «Окружная» они оказались очень близки к полученным в эксперименте, а расхождение для станции «Ломоносовский проспект»,

Рис. 7. Зависимость коэффициента корреляции от c для измененной формулы предложенного критерия качества освещения (с учётом логарифма)

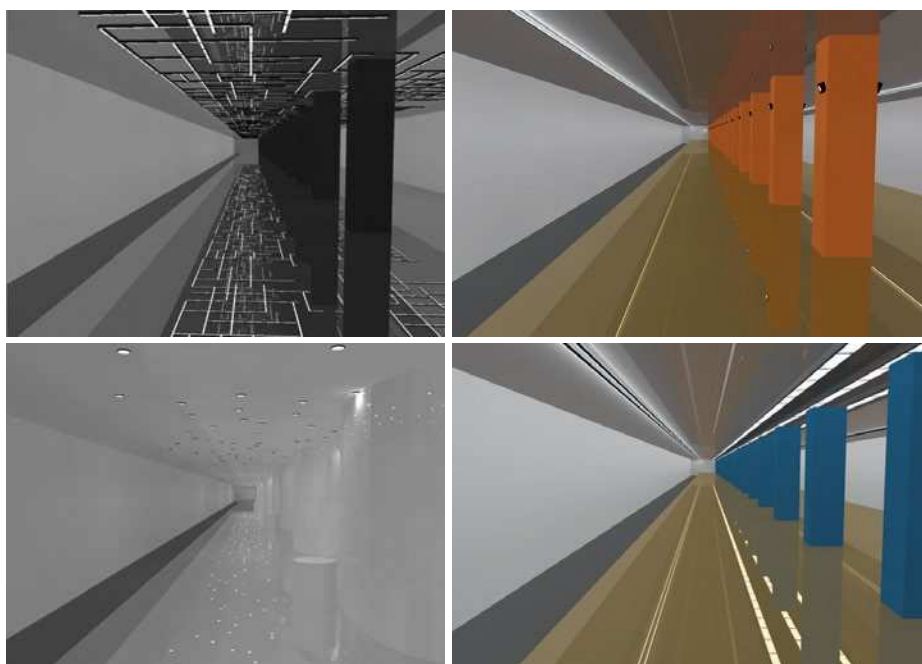
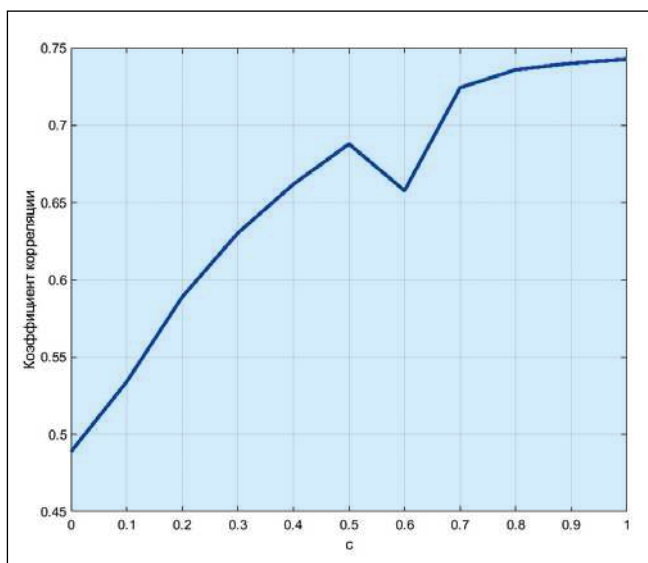


Рис. 8. Визуализация моделей станций Московского метрополитена «Говорово», «Боровское шоссе», «Солнцево» и «Ломоносовский проспект» в программе «DIALux»

вень дискомфорта выше всего на станции «Солнцево», тогда как по оценкам наблюдателей (по шкале от 0 до 10) выше всего он на станции «Говорово». Расхождение вызвано тем, что на

станции «Солнцево» в расчёте участвовало большее количество ИС малого углового размера, в то время как протяжённые ИС на станции «Говорово» показателем UGR «учитываться» не

Результаты моделирования станций в программе «*DIALux*» с дополнительными источниками света, моделирующими блики

Название станции	Оценки наблюдателей	UGR	ККО (Критерий НИУ «МЭИ»)
«Говорово»	9	20	0,94
«Боровское шоссе»	8	23	0,58
«Солнцево»	6	29	0,50
«Ломоносовский проспект»	5	22	0,48

вероятно, связано с неточностью построения модели.

Заключение

Эксперимент в Московском метрополитене показал хорошую корреляцию между предложенным ККО и экспертными оценками наблюдателей. Также показано, что моделирование метростанций в программе «*DIALux 4*» и расчёт в ней объединённого показателя дискомфорта *UGR* не даёт корректной информации о дискомфорте, так как не происходит учёт бликов, возникающих в результате многократных отражений; а проведённые расчёты с моделированием бликов вторичными ИС носят лишь исследовательский характер и не могут использоваться в повседневной инженерной практике.

Расчёты ККО на основе моделирования ряда станций в разработанной в рамках работы программе на основе локальных оценок метода Монте-Карло показывают высокую сходимость с экспериментальными данными. То есть (при физически адекватном моделировании уравнения глобального освещения) можно получать достоверные значения ККО ещё на этапе проектирования.

Безусловно, предложенный ККО на основе анализа пространственно-углового распределения яркости требует дополнительных оценок, но уже сейчас можно утверждать, что он не противоречит показателю дискомфорта *UGR*, а уточняет его. (Как не противоречит он и принципу соответствия Н. Бора: «любая новая научная теория должна включать старую и её результаты как частный случай».)

Благодарности

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам Московского метро-

Таблица 5

Экспериментальное и смоделированное значения критерия качества освещения

Станция	Эксперимент	Визуализация
«Говорово»	0,9396	1,0157
«Окружная»	0,3200	0,3991
«Ломоносовский проспект»	0,4755	0,2558

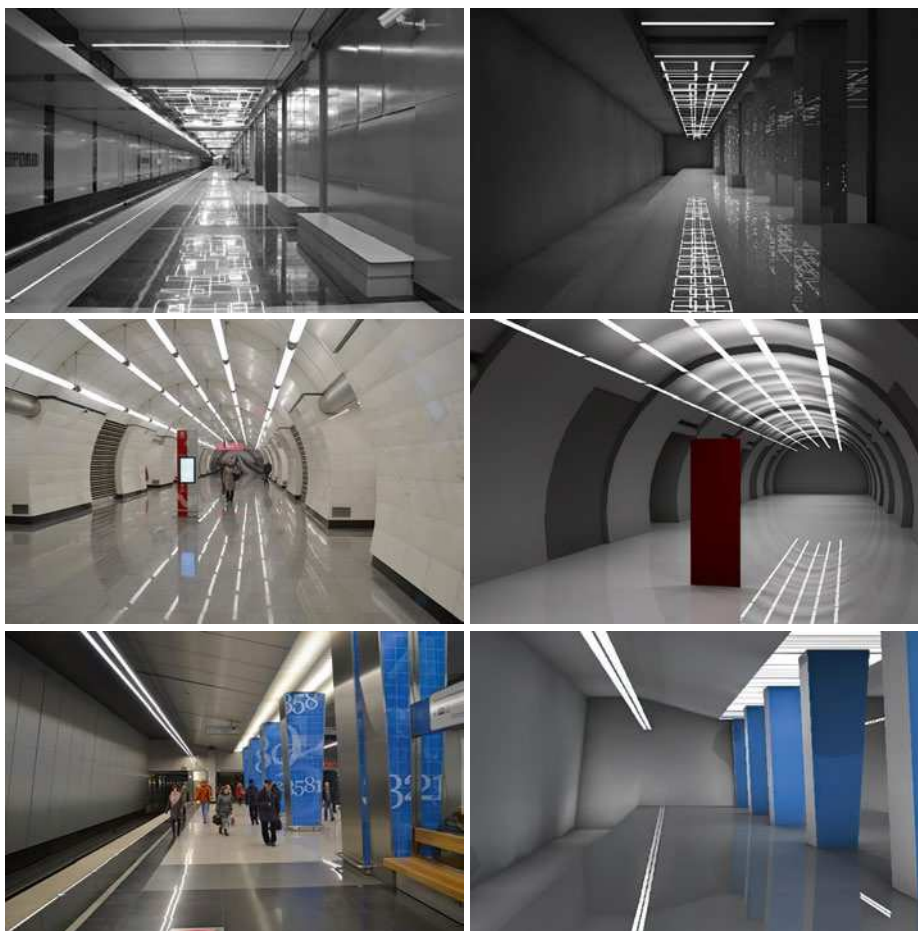


Рис. 9. Фотографии и визуализации станций Московского метрополитена «Говорово», «Окружная» и «Ломоносовский проспект»

политена, принявшим участие в эксперименте, а также лично и.о. главного инженера М.А. Шевченко и старшему механику службы электроснабжения

П.В. Малютину. Отдельно выражаем благодарность Р.И. Столяревской за помощь в оценке погрешностей измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Budak V., Zheltov V., Notfulin R., Chembaev V. Relation of instant radiosity method with local estimations of Monte Carlo method // Journal of WSCG. 2016.

2. Cai H. Luminance gradient for evaluating lighting // Lighting Res. Technol. 2013, DOI: 10.1177/1477153513512501, 0: 1–21.

3. Veitch, J.A., Newsham G.R., 1996. Determinants of lighting quality II: research and recommendations, American Psychological Association 104th Annual Convention, Toronto, Ontario, 1996–08–09, 1–55.

4. Mackay D.M. Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws // Science, 1963. 139: 1213–1216.



Будак Владимир Павлович, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Главный редактор журнала «Светотехника / Light & Engineering» и профессор кафедры

«Светотехника» НИУ «МЭИ». Член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ



Желтов Виктор Сергеевич, кандидат техн. наук. Окончил в 2005 г. кафедру «Светотехника» МЭИ (ТУ). Ассистент кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



Мешкова Татьяна Валерьевна, инженер. Окончила в 2010 г. кафедру «Светотехника» МЭИ (ТУ). Аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



Чембаев Виктор Дмитриевич, инженер. Окончил кафедру «Компьютерные системы и сети» (ИУ-6) МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»

В России нашли способ упростить и удешевить производство светооптических устройств

При кооперативной люминесценции поглощённая в двух или более активных центрах люминесцирующей молекулы энергия передаётся в одно место – «эмиттер». При этом длинноволновое (обычно, ИК) излучение преобразуется в более высокоэнергетическое коротковолновое (например, видимое). Это явление наблюдается при оптическом возбуждении особых «кооперативных» люминофоров – специально подобранных пар редкоземельных ионов – иттербия, тулия, гольмия, эрбия и др. В такой паре (Yb^{3+} и Er^{3+} ; Yb^{3+} и Ho^{3+} ; Yb^{3+} и Tm^{3+} или Yb^{3+} и Tb^{3+}) один из ионов служит сенсбилизатором, то есть усиливает восприимчивость к излучению, а другой – активатором, то есть образует в основном веществе центры свечения. Редкоземельные металлы внедряют в кристаллические матрицы, стекло или керамику и используют при производстве излучателей, лазеров, световодов, преобразователей энергии и биосенсоров. Оптические свойства этих объектов во многом обусловлены их размерами, формой и структурой поверхности, а процесс их создания довольно дорогостоящий и трудоёмкий.

Учёные из Балтийского федерального университета им. И. Канта совместно с коллегами из Калининградского государственного технического университета выяснили, что такой же механизм свечения реализуется при взаимодействии всего двух ионов иттербия Yb^{3+} . Исследователи обнаружили, что при воздействии ИК излучением на порошок его оксида Yb_2O_3

возникает красное свечение, то есть люминесценция не требует использования второго вещества. Они показали, что оптическую сторону этого эффекта можно контролировать, меняя мощность возбуждающего излучения и его поляризацию.

Учитывая дороговизну редкоземельных металлов, использование только Yb_2O_3 в производстве светооптических (в т.ч. лазерных) устройств даёт перспективы для его существенного упрощения и удешевления. Кроме того, устойчивость иттербия к экстремальным температурам позволит материалу выдерживать мощное излучение. Также полученные результаты могут быть полезны при создании преобразователей энергии в области ближнего ИК диапазона и использованы в оптосенсорике.

«Полученный эффект может применяться для улучшения приборов ночного видения. Оптика улавливает ИК излучение – тепло – и на его основе формирует изображение, а способность Yb_2O_3 усиливать сигнал поможет сформировать более сильный поток, что сделает изображение гораздо чётче, чем в приборах, линзы которых изготовлены с помощью традиционных технологий», – рассказала одна из исследователей, снс НОЦ «Фундаментальная и прикладная фотоника. Нанопотоника» БФУ Анна Цибульникова.

Статья исследователей опубликована в журнале «Optics Communications», Vol. 459.

indicator.ru
30.12.2019

ГУП «МОССВЕТ» установило новое наружное освещение на 6 объектах здравоохранения и социальной защиты населения Москвы

В ноябре ГУП «Моссвет» завершило работы по устройству нового наружного освещения на территориях Государственных бюджетных учреждений «Детский бронхолегочный санаторий № 68», «Городская клиническая больница им. В.В. Вересаева» и «Вороновская больница» Департамента здравоохранения Москвы.

Также весь комплекс работ по устройству наружного освещения был выполнен на территориях госбюджетных учреждений «Пансионат «Коньково» для ветеранов войны», «Центр реабилитации инвалидов «Красная Пахра» и «Научно-методический геронтологический центр «Переделкино» Департамента труда и социальной защиты населения Москвы.

Всего было установлено 840 опор с современными светильниками со светодиодами. Новое оборудование, соответствующее мировым стандартам и требованиям, обеспечивает качественное освещение всех территорий.



Для безопасного и комфортного пребывания в вечернее время по периметру территорий и на подъездных дорогах установлены высокие (8–9-метровые) опоры, а для зон отдыха и пешеходных дорожек выбраны невысокие (4,5-метровые) торшеры со светильниками локального дизайна. Всего установлено 689 торшеров, 33 девятиметровых и 118 восьмиметровых опор.

mossvet.ru
20.12.2019