

УДК628.941

Моделирование светотехнических характеристик в системах управления наружным освещением

Е.И. Крахмалев

В статье предложена математическая модель расчета освещенности для осветительных установок с учетом различных кривых силы света. Также представлены результаты моделирования круглосимметричного осветителя.

Ключевые слова: освещение, автоматизированные системы управления уличным освещением.

Применение новых технологий контроля и управления в системах уличного освещения позволяет достичь значительного снижения потребления энергии и эксплуатационных затрат. Так, проведенные исследования имеющегося отечественного и зарубежного опыта показывают, что потенциал экономии денежных средств при комплексном внедрении современных энергосберегающих технологий в системах уличного освещения составляет более 50%.

Учитывая приоритетность политики энергосбережения, проводимой в настоящее время в Российской Федерации на базе современного контроллерного и коммуникационного оборудования возможно создание энергоэффективных систем управления наружным освещением, обеспечивающих максимальную экономию электроэнергии, снижение эксплуатационных расходов и обеспечение высокого качества освещения для комфортности проживания граждан и безопасности дорожного движения[1].

Постепенная эволюция осветительных приборов в системах наружного освещения привела к наличию разнородных осветителей, применяемых в системах наружного освещения, а различие их характеристик к существенным отличиям действительным значениям освещенности по сравнению с проектными значениями. Развитие в данном направлении затруднено отсутствием методов расчета светотехнических характеристик светодиодных осветительных установок и систематизированной информации по световой эффективности светодиодов. Известная применяемая проектными организациями методология [2] устарела, что вызвано недостаточным прогрессом в российской стандартизации и наличием дефицита в специальном измерительном оборудовании. В этой связи актуальной является задача моделирования светотехнических характеристик различных осветителей на стадии проектирования. Актуальность данного направления также подтверждается высокой интенсивностью исследований в области создания осветительных установок на основе светодиодных источников света с перспективой полной замены светодиодными световыми приборами применяемых на сегодняшний день ламп накаливания, дуговых ртутных и ламп высокого давления.

Для расчета освещения осветительных установок в системах наружного

освещения на практике имеет интерес моделирование кривых света различных осветителей с учетом совокупного влияния их на освещаемую поверхность.

Математический аппарат, применяемый в трехмерной компьютерной графике можно использовать для анализа освещенности в системах наружного освещения с некоторыми допущениями. Модели обычно задаются набором плоских выпуклых граней, хотя большинство реальных трёхмерных предметов имеют гладкие криволинейные поверхности. Таким образом, криволинейная поверхность рисуется как ребристая полигональная сетка. Для того, чтобы эта сетка выглядела гладкой, используется тот или иной метод интерполяции освещённости вершин полигональной сетки.

Для расчета освещенности в многосвязной структуре применим модель затенения Фонга [3]. Пусть заданы: точечный источник света, расположенный в некоторой точке, поверхность, которая будет освещаться и наблюдатель. Будем считать, что наблюдатель точечный. Каждая точка поверхности имеет свои координаты и в ней определена нормаль к поверхности. Её освещенность складывается из трех компонент: фоновое освещение, рассеянный свет и бликовая составляющая. Свойства источника определяют мощность излучения для каждой из этих компонент, а свойства материала поверхности определяют её способность воспринимать каждый вид освещения.

В общем виде модель Фонга выглядит как:

$$I = K_a + K_d(\vec{n}, \vec{l}) + K_s(\vec{n}, \vec{h})^p \quad (1),$$

где \vec{n} – вектор нормали; \vec{l} – направление проецирования; K_a – коэффициент фонового освещения; K_s – коэффициент зеркального освещения; K_d – коэффициент диффузного освещения.

Однако такая модель не учитывает особенности кривой силы света (КСС) осветительной установки. В общем виде КСС может быть представлена как:

$$I(\alpha) = I_0 \cdot \cos^n(\alpha) \quad (2),$$

или

$$I(\alpha) = I_{B0} \cdot (\cos^n(\alpha - \alpha_0) + \cos^n(\alpha + \alpha_0)) \quad (3),$$

для светодиодных источников света.

Для векторов и углов, использованных при задании локальных моделей освещения, будут применяться обозначения, представленные на рисунке и в следующей таблице.

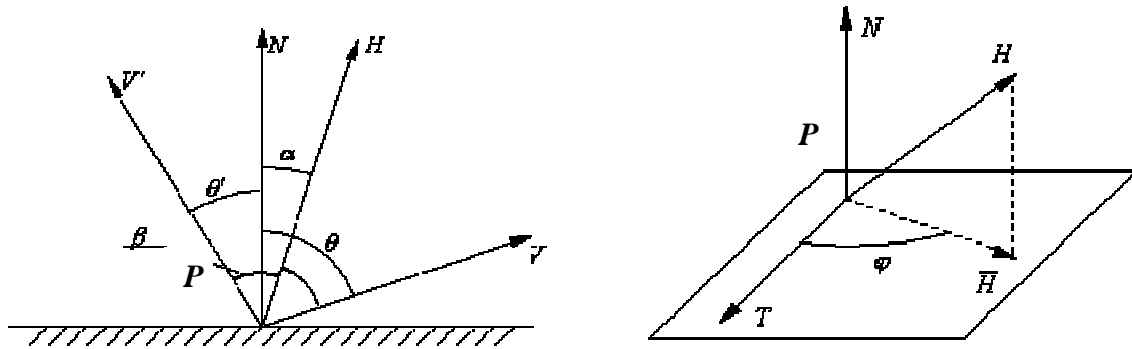


Рис. 1 – Углы и вектора для моделей локального освещения
 V – исходящее направление света;
 V' – входящее направление света;
 N – нормаль к поверхности;
 T – касательный вектор к поверхности.

Таблица углов между векторами

$t = (H \cdot N)$	$\alpha = \arccos t$
$u = (H \cdot V)$	$\beta = \arccos u$
$v = (V \cdot N)$	$\theta = \arccos v$
$v' = (V' \cdot N)$	$\theta' = \arccos v'$
$w = (T \cdot \bar{H})$	$\varphi = \arccos w$

Взаимодействие света и поверхности обычно описывается отношением входящего и исходящего светового потока в заданной точке P поверхности. Для теоретических моделей освещенности такой процесс описывается функцией $R_\lambda(P, V, V')$ – двунаправленной функцией отражательной способности (ДФОС). Для эмпирических моделей по аналогии можно ввести функцию $S_\lambda(P, V, V')$ – двунаправленную функцию заправки (ДФЗ).

Для моделей отражения отношение между входящим и исходящим потоком света описывается выражением

$$L_\lambda(P, V) = \int_{2\pi} R_\lambda(P, V, V') L_\lambda(P, -V') (NV') dV', \quad (4)$$

где $L_\lambda(P, V)$ – световой поток, отраженный от поверхности в точке P в направлении V ; $L_\lambda(P, -V')$ – световой поток, падающий на точку поверхности P с направления $-V'$; $R_\lambda(P, V, V')$ – значение ДФОС в точке поверхности P , для направлений V и V' ; dV' – элементарный телесный угол вдоль направления V' .

Поскольку V, V', N единичные вектора, (NV') – косинус угла между векторами N и V' .

Значение количества отраженного света, таким образом, принимается за интеграл по всем возможным направлениям (то есть по полусфере над поверхностью материала) значений количества света падающего на поверхность, умноженный на значение ДФОС и проекцию вектора V' на нормаль.

ДФОС имеет два важных свойства, которые напрямую вытекают из физики света. Первое свойство это симметричность R_λ относительно направлений V и V' , то есть:

$$R_\lambda(P, V, V') = R_\lambda(P, V', V), \text{ при } \forall V \text{ и } \forall V' \quad (5)$$

Второе свойство вытекает из закона сохранения энергии. Согласно этому свойству R_λ удовлетворяет следующему соотношению:

$$\int_{2\pi} R_\lambda(P, V, V') (NV') dV' \leq 1, \text{ при } \forall V \quad (6)$$

Для моделей закраски, отношение между входящим и исходящим количеством свет задается в следующем виде:

$$L_\lambda(P, V) = \sum_{i=1}^n S_\lambda(P, V, V_i) L_\lambda(P, -V_i) \quad (7)$$

где $L_\lambda(P, V)$ – световая энергия, отраженная от поверхности в точке P и в направлении; $L_\lambda(P, -V_i)$ – световая энергия, падающая на точку поверхности P из направления $-V_i$; $R_\lambda(P, V, V')$ – значение ДФОС в точке поверхности P , для направлений V и V_i .

Таким образом, количество отраженного света вычисляется как дискретная сумма значений количества света с n различных направлений, взвешенных двунаправленной функцией закраски. Такая формулировка хорошо работает для алгоритмов построения изображения, в которых принимаются во внимание лишь ограниченное количество точек пространства и применима для вычисления нормируемых параметров освещенности и яркости на моделируемой поверхности.

На основании предложенной математической модели была написана программа на языке C++. Результаты моделирования приведены на рис.2.

Таким образом, предложенная модель позволяет моделировать освещенность по известным КСС для различных источников освещения. Последующая модернизация алгоритма позволит учитывать естественную освещенность, а так же освещенность, создаваемую соседними источниками освещения. Применяя данную модель можно вычислить минимальную освещенность, создаваемую несколькими источниками, и впоследствии, оптимизировать их яркость и достичь минимума эксплуатационных расходов.

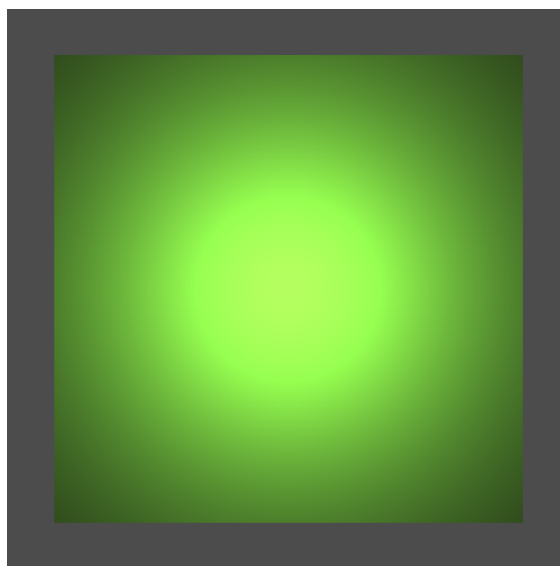


Рис. 2 – Результаты моделирования

Библиографический список

1. Автоматизированные системы управления энергоэффективным управлением, / под ред. Л.С. Казаринова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ; издатель Т. Лурье, 2011. – 200 с.
2. Справочник для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг // Л. :Энергия ,1976. – 384 с.
3. Illumination for computer generated pictures / В. Т. Phong // Communications of ACM 18 (1975), no. 6, 311–317 с.

В статье предложена математическая модель расчета освещенности для осветительных установок с учетом различных кривых силы света. Также представлены результаты моделирования круглосимметричного осветителя.

Ключевые слова: освещение, автоматизированные системы управления уличным освещением.

Modeling of lighting characteristics in control systems of external lighting

E.I. Krakhmalev

The mathematical model of calculation of illumination for lighting installations taking into account various curves of luminous intensity is offered. Results of modeling of the round symmetric lighter are also presented.

Keywords: lighting, automated control systems for street lighting, ACS BUT.

References

1. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya energoeffektivnym upravleniem* [Automated Control Systems for Power Effective Control]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2011, 200 p.
2. G. M Knorring. *Spravochnik dlya proektirovaniya elektricheskogo osveshcheniya* [The Reference Book for Design of Electric Lighting]. L, Energy Publ., 1976, 384 p.
3. B. T. Phong Illumination for Computer Generated Pictures. *Communications of ACM*, 18 (1975), no. 6, pp. 311–317.