

УДК 628.941

**Е. В. Соболев**, асп.,  
**Е. Н. Подденежный**, докт. хим. наук  
 Учреждение образования «Гомельский  
 государственный технический  
 университет им. П.О. Сухого»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОТТЕХНІЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВОТТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ**

В последнее время стремительно нарастает заинтересованность ведущих мировых производителей источников света и потребителей в замене традиционных ламп накаливания, а также люминесцентных ламп дневного света на светодиодные световые приборы (ССП), основу которых составляют полупроводниковые светодиоды (СД), объединенные в светодиодные модули (СДМ) [1, 2]. Развитие в данном направлении затруднено в связи с отсутствием методов расчета светотехнических характеристик СДМ и систематизированной информации по световой эффективности СД, что также вызвано недостаточным прогрессом в международной стандартизации и наличием дефицита в специальном измерительном оборудовании. Поэтому актуальной является задача моделирования светотехнических характеристик СД и СДМ на стадии проектирования СПП. Актуальность данного направления также подтверждается высокой интенсивностью исследований в области создания осветительных установок на основе светодиодных источников света в ведущих мировых научных и технологических центрах и перспективой полной замены светодиодными световыми приборами традиционных ламп накаливания и ламп дневного света.

Известна работа [3], основу которой составляет моделирование освещенностей от плоских СДМ матричной формы и расчет коэффициентов отклонения от закона квадрата расстояния (ЗКР). Необходимо отметить, что при проектировании СПП существует огромное многообразие возможных конструктивных решений СДМ (сферические, полусферические, квадратные, круглые, гибкая лента), что существенно расширяет задачи поиска новых оптимальных конструкций СПП и обуславливает целесообразность моделирования освещенностей от СДМ произвольной формы. Особую актуальность данная задача приобретает при расчете СДМ для художественно-декоративных решений (СДМ в виде звезды, овала, криволинейной поверхности и пр.). Для расчета общего освещения общественных и промышленных осветительных установок, а также внешнего освещения практический интерес имеет моделирование кривых силы света (КСС) СДМ. Наличие модели КСС СДМ позволит произвести расчет осветительных установок в специализированных светотехнических программах, что повысит точность и наглядность получаемого результата.

Целью данной работы является разработка алгоритма и математического аппарата для моделирования фотометрического тела и расчета освещенностей от СДМ произвольной формы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать алгоритм моделирования светотехнических характеристик СДМ произвольной формы;
- разработать математический аппарат для реализации предлагаемого алгоритма;

- смоделировать светотехнические характеристики СДМ.

В основе алгоритма моделирования светотехнических характеристик СДМ произвольной формы лежит идея замещения распределения излучения от группы СД эквивалентным фотометрическим телом в оптическом центре (ОЦ) СДМ. Будем считать, как в [3], что для каждого СД выполняется ЗКР, хотя СД не являются равномерными излучателями и содержат свои оптические системы с отражающими поверхностями и преломляющими полимерными линзами. Это предположение основано на том, что размеры оптической системы СД на 2 – 3 порядка меньше расстояний до объектов, освещаемых СДМ. Иными словами, считаем, что объекты, расположенные, например, на расстоянии более 2 м, находятся в ближней зоне относительно СДМ и в дальней зоне относительно каждого СД, входящего в СДМ. Алгоритм моделирования светотехнических характеристик СДМ произвольной формы представлен на рис. 1.

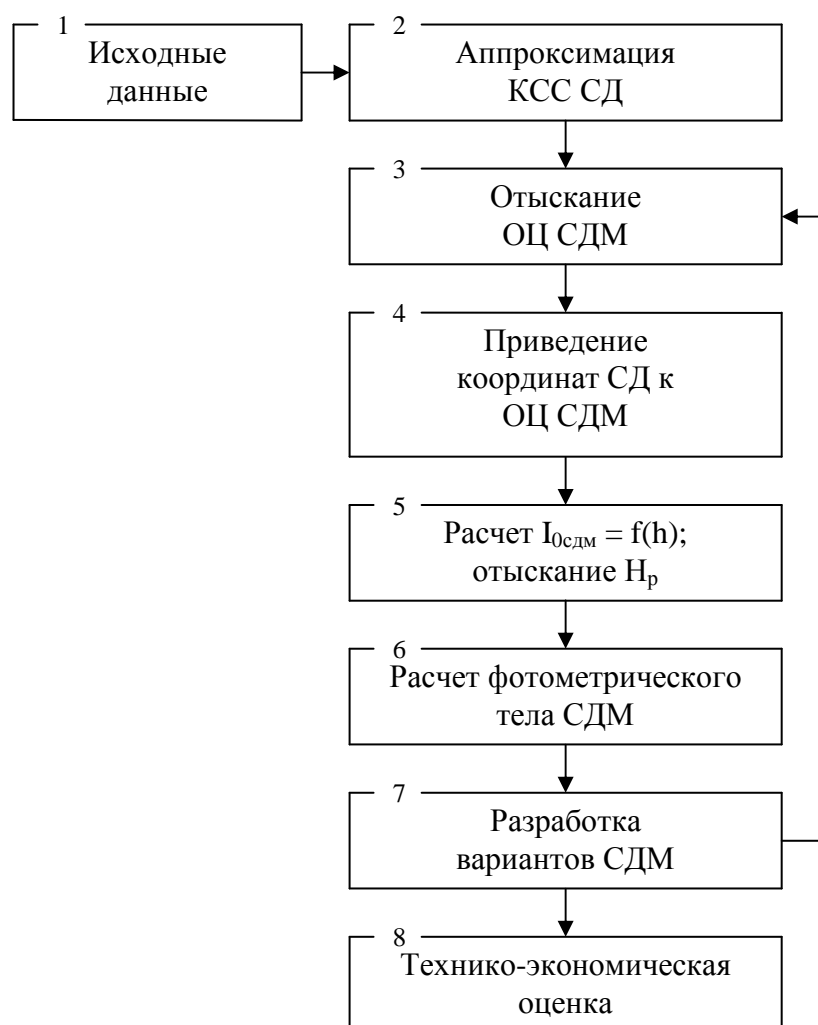


Рис. 1 – Алгоритм моделирования светотехнических характеристик СДМ

В алгоритме под исходными данными будем понимать наличие в произвольном базисе координат и углов ориентации в пространстве всех СД рассчитываемого СДМ, а также светотехнических характеристик СД (тип КСС, световой поток, осевая сила света, угол половинной яркости).

Важной задачей при расчете является аналитическое задание КСС СД (этап 2).

Обычно излучаемый СД свет имеет КСС ламбертовского типа. Для увеличения эффективности СД лучше всего обеспечить выход всех излучаемых кристаллом СД фотонов без каких либо препятствий, в результате чего КСС СД будет совпадать с КСС кристалла. В то время как реальные выходная мощность и КСС СД определяются рядом факторов, в некоторых мощных СД для улучшения эффективности выхода фотонов была применена технология перевернутого кристалла, в результате чего КСС СД принимает форму крыла летучей мыши.

В общем виде КСС ламбертовского типа может быть представлена как:

$$I(\alpha) = I_0 \cdot \cos^n(\alpha) \quad (1)$$

где  $I_0$  – сила света в направлении оптической оси, кд;

$n$  – ламбертовский показатель степени.

КСС в форме крыла летучей мыши можно представить в виде:

$$I(\alpha) = I_{B0} \cdot (\cos^n(\alpha - \alpha_0) + \cos^n(\alpha + \alpha_0)) \quad (2)$$

где  $I_{B0} = \frac{I_0}{2 \cdot \cos^n(\alpha_0)}$  – нормировочный множитель;

$I_0$  – сила света в направлении оптической оси, кд;

$\alpha_0$  – угол, под которым сила света имеет максимальное значение;

$n$  – показатель степени, определяющий форму крыла летучей мыши, устанавливающий соотношение между максимальной силой света и силой света в направлении оптической оси.

Также существует ряд светодиодов, имеющих специальные типы КСС [4]. В таком случае отдельно необходимо рассматривать вопрос интерполяции КСС СД. При этом для большинства практических задач МКО рекомендует использовать линейную или квадратичную интерполяцию [5]. При необходимости более высокой точности может быть применена бикубическая сплайн-интерполяция.

На этапе 3 производится расчет условного ОЦ СДМ. Метод расчета ОЦ СДМ использует некоторые положения теоретической механики, заключается в том, что ОЦ СДМ определяется как центр тяжести системы масс, в качестве которых выступают световые потоки отдельных СД. Координаты ОЦ СДМ определяются как средневзвешенные по световому потоку координаты отдельных СД:

$$X_0 = \frac{\sum \Phi_i \cdot x_i}{\sum \Phi_i}; Y_0 = \frac{\sum \Phi_i \cdot y_i}{\sum \Phi_i}; Z_0 = \frac{\sum \Phi_i \cdot z_i}{\sum \Phi_i} \quad (3)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -го СД, м;

$\Phi_i$  – световой поток  $i$ -го СД, лм.

ОЦ определяется как некоторая постоянная точка при заданной форме СДМ. В ОЦ СДМ принимается базис СДМ, после чего координаты всех СД выражаются в базисе СДМ (этап 4). Ориентация базиса СДМ определяется в зависимости от выбранной системы фотометрирования.

На этапе 5 для выбранной системы фотометрирования рассчитывается зависимость осевой силы света от расстояния до освещаемой площадки ( $I_{0\text{СДМ}} = f(h)$ ), после чего принимается расстояние ( $H_p$ ) начиная с которого выполняется ЗКР для СДМ. Зависимость  $I_{0\text{СДМ}} = f(h)$  для линейного СДМ ( $1 \times 3$  СД) при расстоянии между СД  $d_x = 0,2$  м представлена на рис. 2.

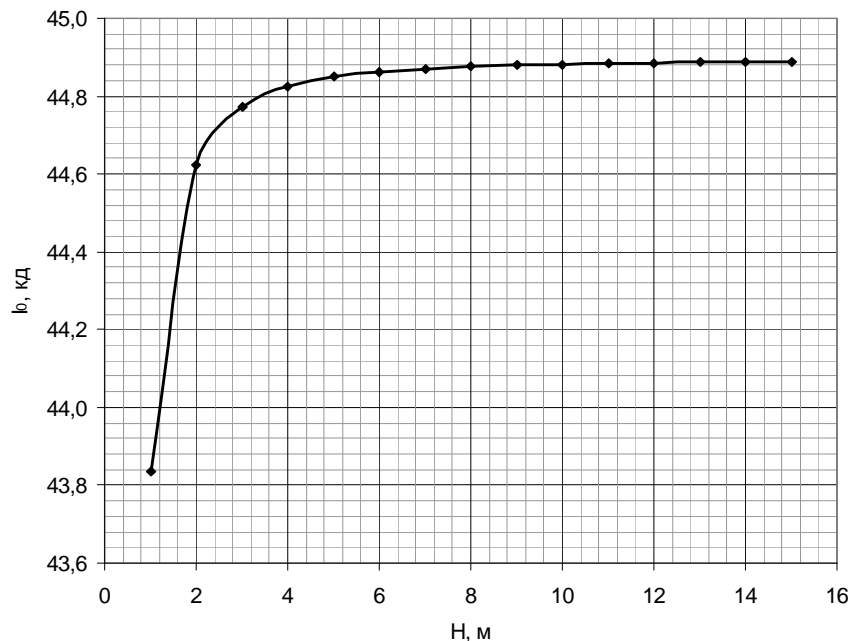


Рис. 2 – Зависимость  $I_{0\text{СДМ}} = f(h)$  для СДМ (1 × 3 СД) при  $d_x = 0,2$  м

Идея расчета фотометрического тела СДМ (этап б) заключается в следующем (рис 3): СДМ помещается в условный шар с радиусом  $H_p$ , центр шара совпадает с ОЦ СДМ. Для выбранной системы фотометрирования принимается количество секущих полуплоскостей, которое определяется требуемой точностью расчета фотометрического тела. Полуплоскости разбиваются на зоны  $5^\circ$  ( $10^\circ$ ). Для каждой из зон рассчитывается сила света эквивалентного фотометрического тела ( $I_{\text{экв}}$ , кд), определяемая как модуль векторной суммы от всех СД излучающих в точку Р (пересечение  $H_p$  в данном направлении ( $\gamma$ ) и элементарной поверхности  $d_p$  условного шар).

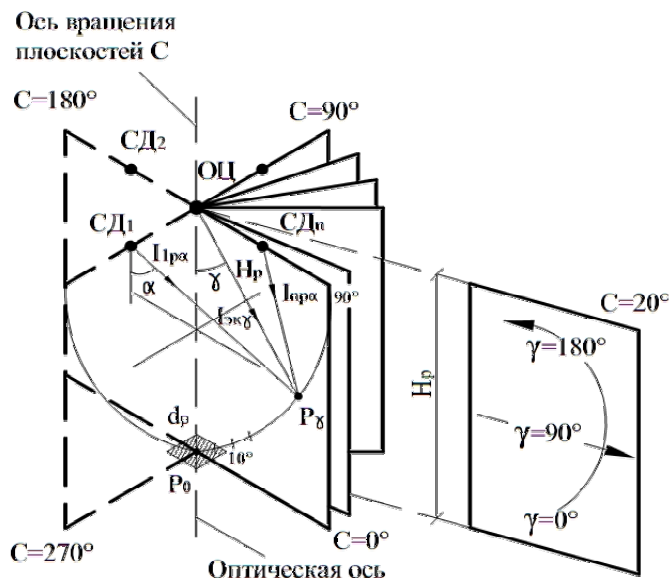


Рис. 3 – К расчету фотометрического тела СДМ (система фотометрирования ( $C, \gamma$ ))

В результате выполнения этапов 1 - 6 проектировщик получает полное описание геометрии проектируемого СДМ с координатами и углами ориентации в пространстве всех СД относительно ОЦ СДМ, и фотометрическое тело СДМ в именованных

единицах, представляющее полное описание светораспределения СДМ. На этапе 7 разрабатываются возможные варианты конструкции СДМ, вносятся изменения в расположение и ориентацию СД в пространстве с целью увеличения световой эффективности СДМ и уменьшения капитальных затрат. Окончательное решение о конструкции СДМ принимается на основе технико-экономической оценки (этап 8). Оценку эффективности предлагаемой конструкции СДМ в рыночных условиях функционирования, в соответствии с концепцией дисконтирования потоков реальных денег, производят с использованием различных показателей, к которым относятся: чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности, динамический срок окупаемости и другие. Сравнение нескольких вариантов, как правило, производят по ЧДД. Наиболее экономически целесообразной является тот СДМ, у которого больше ЧДД [6].

Расчет освещенности в точке дальней зоны от СДМ осуществляется по формуле [5]:

$$E = \frac{I(\alpha) \cdot \cos(\alpha)}{l^2} \quad (4)$$

где  $I(\alpha)$  – сила света по направлению к точке, кд;

$\alpha$  – угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка, и лучом;

$l$  – расстояние от источника до точки, м.

Для моделирования освещенности от СДМ в ближней зоне необходим предварительный расчет коэффициентов отклонения от ЗКР [3].

Результаты моделирования КСС ( $C=0^\circ$ ) и расчета освещенностей от СДМ в виде линейки СД ( $1 \times 3$ ) при  $d_x = 0,2$  м представлены на рис. 4 (а) и 4 (б) соответственно. Для моделирования приняты СД с КСС ламбертовского типа и световым потоком 50 лм.

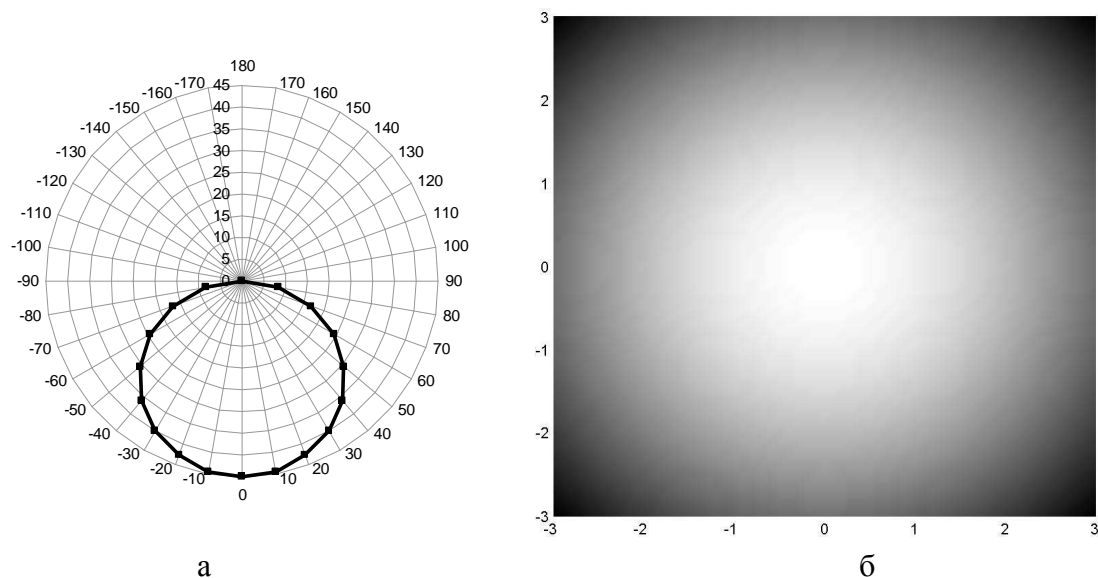


Рис. 4 – КСС (а) и распределение освещенностей (б) от СДМ в виде линейки СД ( $1 \times 3$ ) при  $d_x = 0,2$  м

В заключение необходимо отметить, что предлагаемый алгоритм представляет собой достаточно трудоемкую задачу моделирования светотехнических характеристик СДМ, поэтому целесообразным является его максимальная автоматизация с использованием современных средств компьютерного моделирования. Достоинством разработанного алгоритма и математического аппарата его реализации является

возможность расчета СДМ произвольной формы, что особенно актуально для художественно-декоративных решений. Конечным результатом моделирования является фотометрическое тело СДМ в именованных единицах, представляющее полное описание светораспределения СДМ, что позволяет произвести расчет светового потока и освещенностей от спроектированного СДМ. Результаты работы будут способствовать более эффективному проектированию световых приборов на основе СД и представляют практический интерес для предприятий, занимающихся выпуском энергосберегающего осветительного оборудования.

#### Литература:

1. Шурыгина В. Твердотельные осветительные устройства. Прощайте, старые, добрые светильники / В. Шурыгина // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2008. № 5. – С. 88-97.
2. Патыко Д. До светодиодной революции осталось... / Д. Патыко // Рэспубліка. – № 228 (4407) среда, 05 декабря 2007 г.
3. Гутцайт Э.М. Анализ возможностей освещения удалённых объектов светодиодными модулями / Гутцайт Э.М. // Труды российской светотехнической интернет-конференции «Свет без границ!» / Светотехническое общество. 2009. С. 166-172.
4. OSRAM Opto Semiconductors. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.osram-os.com>. – Дата доступа: 04.02.2011.
5. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и дополн. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
6. Соболев Е.В. Многофакторный метод расчета электрического освещения с применением светодиодных источников света / Е.В. Соболев, Е.Н. Подденежный // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2010. – № 2. – С. 75-82.

---



---

## МОДЕЛЮВАННЯ СВІТЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДНИХ МОДУЛІВ

Е. В. Соболев, Е. М. Подденежный

*Розроблено алгоритм і математичний апарат для моделювання фотометричного тіла і розрахунку освітленостей від світлодіодних модулів довільної форми.*

## MODELING LIGHT-ENGINEERING CHARACTERISTICS OF LED MODULES

E. V. Sobolev, E. N. Poddenezhny

*The algorithm and mathematical apparatus for modeling of photometric body and the calculation of illumination from the LED modules of arbitrary shape is developed.*