

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Е. В. СОБОЛЕВ, Е. Н. ПОДДЕНЕЖНЫЙ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Центральное место в проектировании осветительных установок (ОУ) занимает светотехнический расчет, позволяющий определить необходимые характеристики установки (уровни освещенности или яркости, другие качественные показатели) [1]. До последнего времени методология светотехнического расчета ОУ базировалась на технологии ручного труда, которая предусматривает использование расчетных таблиц, графиков и номограмм, а также на типизации и аналитической аппроксимации кривых силы света (КСС) световых приборов (СП). В настоящее время наблюдается переход от ручной технологии расчета к компьютерной. Особую актуальность компьютерное моделирование принимает при расчете светодиодных осветительных установок (СОУ). Существуют рекомендации [2], предлагающие простой метод разработки СОУ. Однако в светотехнической части данных рекомендаций не учитывается ряд особенностей светодиодов (СД): зависимость светового потока СД от температуры, цветность излучения (психофизическое воздействие света на человека), возможность получения разнообразных вариантов КСС светодиодных световых приборов (ССП) и др. Поэтому актуальной является задача разработки алгоритма светотехнической части СОУ с учетом вышеперечисленных особенностей СД.

Известны работы, основу которых составляет моделирование освещенностей от плоских СДМ матричной [3] и круглосимметричной [4] формы. Необходимо отметить, что при проектировании ССП существует огромное многообразие возможных конструктивных решений СДМ (сферические, полусферические, квадратные, круглые, гибкая лента), что существенно расширяет задачи поиска новых оптимальных конструкций ССП и обуславливает целесообразность моделирования освещенностей от СДМ произвольной формы. Для расчета общего освещения общественных и промышленных осветительных установок, а также внешнего освещения практический интерес имеет моделирование КСС СДМ. Наличие модели КСС СДМ, представленной в виде файла фотометрических данных (ФФД), позволит произвести расчет осветительных установок в специализированных светотехнических программах, что повысит точность и наглядность получаемого результата.

Целью данной работы является разработка общего алгоритма расчета светотехнической части СОУ с учетом особенностей СД, а также автоматизация расчета светотехнических характеристик (КСС и освещенностей) СДМ произвольной формы и представление их в электронном варианте для последующего использования в пакетах компьютерного моделирования ОУ.

Общий алгоритм расчета светотехнической части СОУ

Условно все светотехнические проекты можно разделить на несколько основных видов: архитектурное освещение, освещение промышленных и общественных помещений, внешнее освещение (дорожное, парковое освещение), спортивное освещение [1]. К

каждому виду светотехнического проекта требуется свой подход и программное обеспечение. Учитывая тот факт, что в качестве источника света предполагается использовать только СД, то для всех вышеперечисленных видов светотехнических проектов можно выделить общие этапы расчета и объединить их в единый алгоритм. Общий алгоритм расчета светотехнической части СОУ представлен на рис. 1.

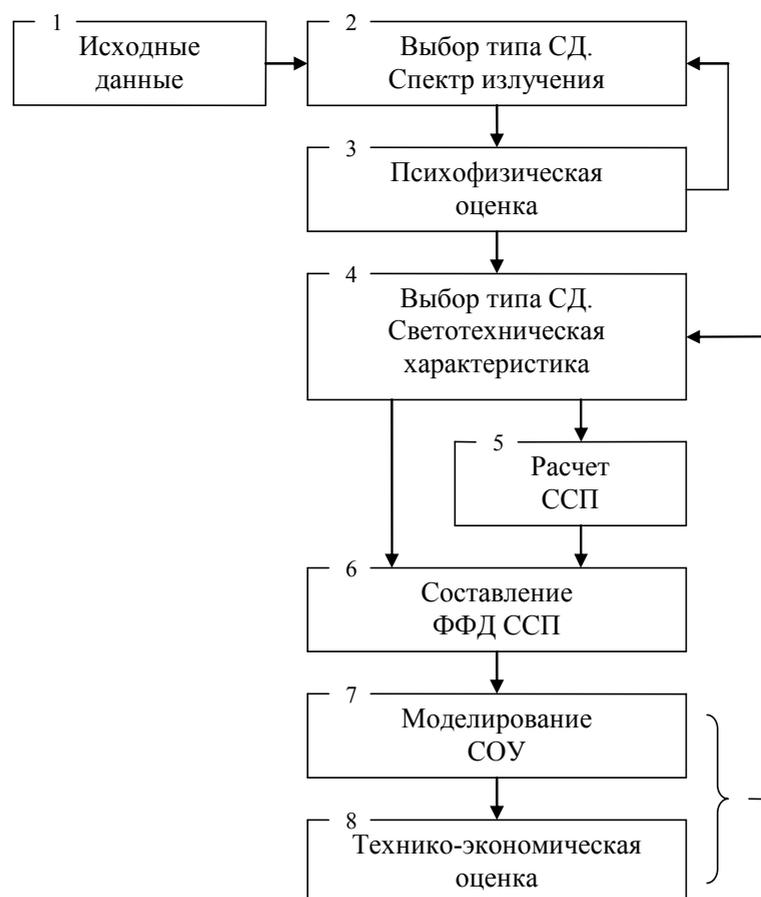


Рис. 1. Общий алгоритм расчета светотехнической части СОУ

В алгоритме под исходными данными будем понимать наличие геометрии рассчитываемого объекта, а также значений требуемых количественных и качественных параметров проектируемого объекта.

Для обеспечения психофизического комфорта в ОУ (этапы 2 и 3) выбор СД осуществляется по их цветовым характеристикам ($T_{ц}$ и R_a). В основу положены известная номограмма Крюитгофа [1] и последующие исследования зрительного и психофизического восприятия ОУ с различными СД [5]. Согласно стандарту международной комиссии по освещению (МКО), все источники света по цветности излучения делятся на 3 группы: теплые ($T_{ц} \leq 3300$ К), средние ($T_{ц} = 3300-5300$ К) и холодные ($T_{ц} \geq 5300$ К). Выбор источников света по $T_{ц}$ проводится с учетом уровня освещенности и цветовой отделки помещения.

Цветопередающие свойства источников света, регламентируемые R_a , дифференцированы в виде шкалы: 20, 40, 60, 80, 90. Почти во всех помещениях общественных зданий, где люди работают или находятся длительное время, источники света должны иметь $R_a \geq 80$, во вспомогательных помещениях $R_a = 60$ (склады) и $R_a = 40$ (коридоры, лестницы).

По данному вопросу отечественные документы носят рекомендательный характер, но проработаны достаточно подробно и позволяют выбрать источники света в зависимости от характера зрительной работы и требований к цветовозрастанию [6].

Выбор типа СД по светотехническим характеристикам (этап 4) сводится к выбору светового потока (осевой силы света), световой отдачи и типа КСС СД. Наибольшее распространение получили СД со следующими типами КСС: по Ламберту и «летучая мышь» [1]. Каждая из КСС изменяет свою глубину в зависимости от угла излучения. При этом первая КСС используется для проектирования систем освещения внутри помещений, вторая – для уличного освещения.

Этапы 5 и 6 представляют собой моделирование светотехнической части ССП. При этом возможны два варианта:

– использование СД в качестве отдельных ССП (декоративное освещение, подсветка витрин и т. д.);

– группировка СД в светодиодный модуль (СДМ) с последующим светотехническим расчетом ССП (этап 5).

Для осуществления моделирования ОУ с помощью программ Dialux, Relux и др. (этап 7) необходим файл фотометрических данных (ФФД) ССП в формате *.ies, содержащий набор параметров ССП (этап 6). Отсутствие ФФД для светильника делает невозможным создание визуализации и ограничивает применение светильника в проекте. Источник света описывается пространственным распределением силы света, которым и руководствуются при создании ФФД в формате *.ies или *.ldt (существуют и другие форматы, но они распространены гораздо меньше). ФФД содержат информацию, которая позволяет программам Dialux и Relux рассчитывать и создавать максимально приближенные к реальному воплощению проекты по освещению любых объектов.

Необходимо отметить, что расчет СОУ целесообразно производить совместно с технико-экономической оценкой (этап 8). Оценку эффективности предлагаемой СОУ 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 др. Сравнение нескольких вариантов, как правило, производят по ЧДД. Наиболее экономически целесообразной является та СОУ, у которой больше ЧДД [7].

Предлагаемый алгоритм представляет собой трудоемкую задачу светотехнического расчета СОУ, поэтому целесообразным является его максимальная автоматизация с использованием современных средств компьютерного моделирования. Рассмотрим некоторые из этапов алгоритма более подробно.

Расчет ССП с заданным светораспределением

Как было отмечено во введении, существует огромное многообразие возможных конструктивных решений СДМ и ССП на их основе. Вследствие этого актуальной задачей является создание новых методов, позволяющих спроектировать СДМ с улучшенными светотехническими характеристиками. В НИЛ ТКН ГГТУ им. П. О. Сухого разработана программа, позволяющая автоматизировать процесс моделирования КСС и расчета распределения освещенностей и от плоских СДМ произвольной формы.

Задачу расчета распределения освещенностей в общем виде можно сформулировать следующим образом: необходимо рассчитать распределение освещенностей от плоского СДМ произвольной формы на расстоянии H от освещаемой площадки с размерами $A \times B$.

Исходными данными для расчета являются: размеры освещаемой площадки ($A \times B$), расстояние от СДМ до освещаемой площадки (H), расположение СД в СДМ, задаваемое координатами СД в системе координат СДМ, количество СД в СДМ и КСС СД.

Расчет освещенности в точке от светодиода (СД) осуществляется по формуле [1]:

$$E = \frac{I(\alpha) \cdot \cos(\alpha)}{H^2 + a^2}, \quad (1)$$

где $I(\alpha)$ – сила света по направлению к точке, кд; α – угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка, и лучом; H – расстояние от СДМ до освещаемой площадки; a – расстояние от проекции СД на освещаемую площадку до точки, м.

Освещенность в точке от СДМ определяется как суперпозиция от освещенностей всех СД в СДМ.

Важной задачей при расчете является аналитическое задание КСС СД. При этом для большинства практических задач МКО рекомендует использовать линейную или квадратичную интерполяцию [1]. При необходимости более высокой точности может быть применена бикубическая сплайн-интерполяция.

Для моделирования КСС СДМ произвольной формы отдельно был разработан алгоритм и математический аппарат [8]. В основе алгоритма моделирования КСС СДМ произвольной формы лежит идея замещения распределения излучения от группы СД эквивалентным фотометрическим телом в оптическом центре (ОЦ) СДМ. Было принято, как в [3], что для каждого СД выполняется закон квадрата расстояния, 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.

Идея расчета фотометрического тела СДМ заключается в следующем (рис. 2): 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° (10°). Для каждой из зон рассчитывается сила света эквивалентного фотометрического тела ($I_{эк\gamma}$, кд), определяемая как модуль векторной суммы от всех СД, излучающих в точку P (пересечение H_p в данном направлении (γ) и элементарной поверхности d_p условного шара).

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

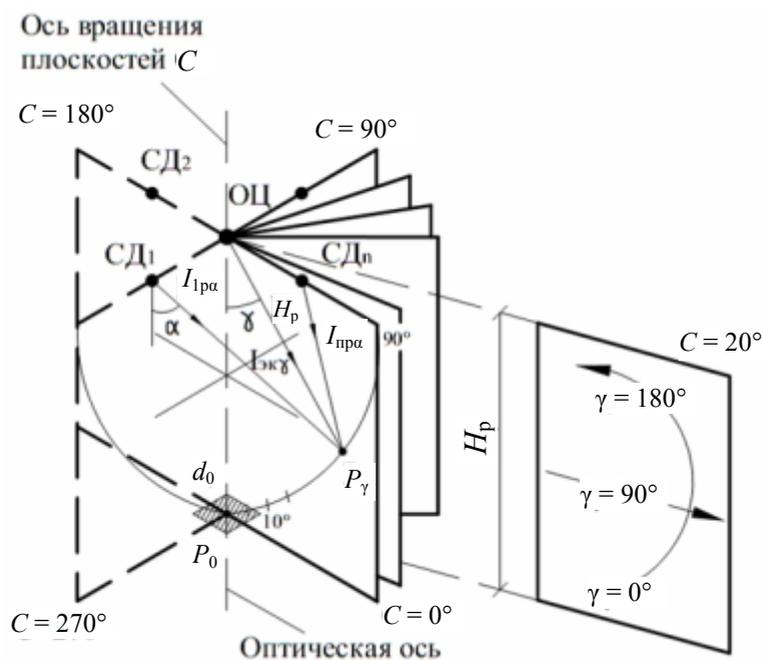


Рис. 2. К расчету фотометрического тела СДМ (система фотометрирования (C, γ))

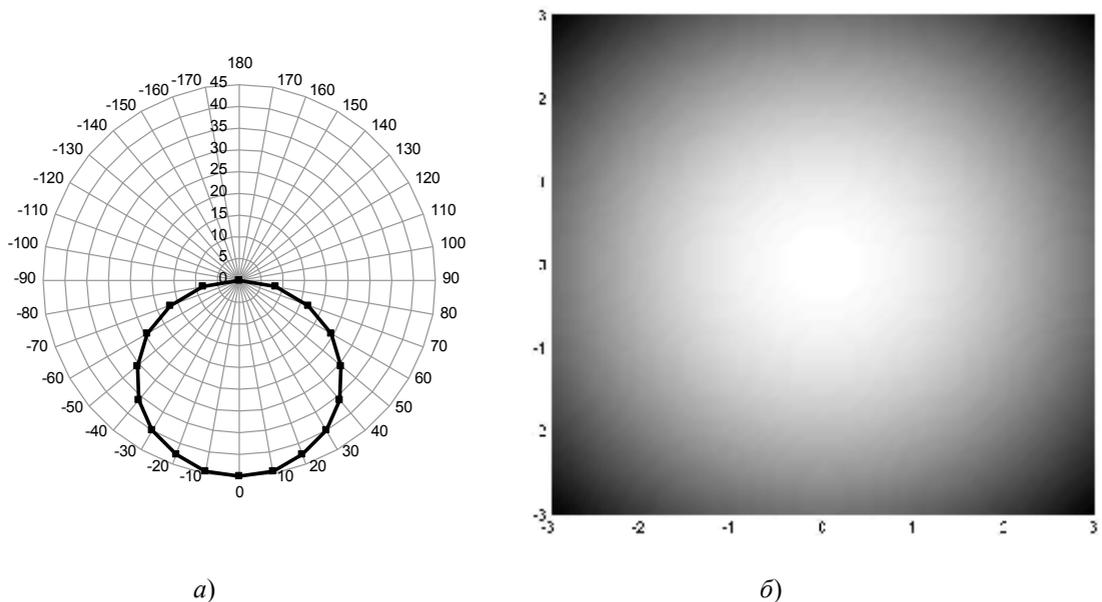


Рис. 3. КСС ($C = 0^\circ$) (а) и распределение освещенностей (б) от СДМ в виде линейки СД (1×3) при $d_x = 0,2$ м

Составление ФФД ССП

В настоящее время существует несколько форматов представления фотометрических данных СП. Среди них можно отметить такие как:

- международный формат CIE 102, разработанный МКО;
- британский формат CIBSE TM-14, разработанный британским институтом строительной физики CIBSE;
- европейский формат EULUMDAT, разработанный Акселем Стокмаром (Axel Stockmar), Германия;
- формат *.ies (полное название – BSR/IESNA LM-63), разработанный Североамериканским светотехническим обществом (IESNA) [9].

Наибольшее распространение получил формат *.ies. Этот формат является международным и используется для светотехнических расчетов профессиональными светотехниками и светодизайнерами.

В настоящее время на рынке имеется достаточно ограниченный выбор программных продуктов, которые в той или иной степени могут использоваться в качестве программного обеспечения для составления и анализа ФФД. Наиболее известными являются: IESviewer и IES_gen.

В НИЛ ТКН ГГТУ им. П. О. Сухого разработана программа, позволяющая создавать и анализировать ФФД в формате *.ies. Программа разработана согласно [9] для операционной системы Windows XP. Для формирования выходных данных в виде отчета необходимо использовать пакет Microsoft Office 2003 и выше.

Основные возможности программы: создание ФФД, редактирование ФФД, контроль корректности вводимой информации, составление отчета.

Сравнительные характеристики разработанной программы и программ IESviewer и IES_gen представлены в таблице.

Сравнительные характеристики программ создания и анализа файлов фотометрических данных световых приборов

Характеристика	IESviewer	IES_gen	IES_Master
Создание файлов для осесимметричных СП	средствами WordPad	да	да

Создание файлов для неосесимметричных СП	средствами WordPad	нет	да
Редактирование ранее созданных файлов	средствами WordPad	да	да
Трудоемкость освоения	высокая	низкая	низкая
Создание отчета	нет	нет	да
Контроль корректности вводимой информации	нет	нет	да

Заключение

Разработан общий алгоритм расчета светотехнической части СОУ с учетом особенностей СД. Подробно рассмотрены его этапы. Особое внимание уделено оценке психофизического воздействия света на организм человека.

Разработана программа, позволяющая автоматизировать процесс моделирования КСС и расчета распределения освещенностей и от плоских СДМ произвольной формы. В основе программы лежит сформулированная в общем виде задача расчета распределения освещенностей от СДМ произвольной формы, а также алгоритм и математический аппарат его реализации для моделирования КСС СДМ. 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.

Для представления фотометрии СДМ в электронном виде разработана программа для создания и анализа ФФД СП. Программа позволяет создавать новые, а также редактировать ранее созданные файлы фотометрических данных как для осесимметричных, так и неосесимметричных световых приборов. Разработанная программа имеет интуитивно понятный интерфейс и снабжена функцией контроля корректности вводимой информации, что снижает до минимума риск ввода ошибочных данных. Также программа снабжена функцией создания отчета, что повышает наглядность получаемого результата.

Литература

1. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
2. Разработка систем освещения на базе светодиодов Luxeon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.contractelectronica.ru/>. – Дата доступа: 09.05.2011.
3. Гутцайт, Э. М. Анализ возможностей освещения удаленных объектов светодиодными модулями / Э. М. Гутцайт // Тр. рос. светотехн. интернет-конф. «Свет без границ!» / Светотехн. о-во. – 2009. – С. 166–172.
4. Дэн, С. С. Исследование кривых силы света светодиодов для общего освещения / С. С. Дэн, Ц. М. Чань // Светотехника. – 2009. – № 5. – С. 30–36.
5. Добродей, А. О. Проблемы трансформации излучения светодиодов, применяемых для систем освещения / А. О. Добродей, Е. В. Соболев, Е. Н. Подденежный // Материалы. Технологии. Инструменты. – Т. 15 (2010). – № 3. – С. 69–74.
6. ТКП 45-2.04-153–2009 (02250). Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва, 2010. – 108 с.
7. Соболев, Е. В. Многофакторный метод расчета электрического освещения с применением светодиодных источников света / Е. В. Соболев, Е. Н. Подденежный // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2010. – № 2. – С. 75–82.

8. Соболев, Е. В. Моделирование светотехнических характеристик светодиодных модулей / Е. В. Соболев, Е. Н. Подденежный // Современные проблемы светотехники и электроэнергетики : сб. материалов IV Междунар. науч.-техн. конф., ХНАГХ, Харьков, 13–14 апр. 2011 г. – С. 81–83.
9. IESNA Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data. IESNA LM-63-95. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 1995.

Получено 08.02.2011 г.