

УДК 628.95:681.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ

И. И. Байнева, В. В. Байнев

В статье рассмотрены особенности световых приборов, светоперераспределяющих устройств; проанализированы задачи и возможные решения их расчета и проектирования; описаны математические модели, используемые в светотехническом проектировании и расчетах светильников с зеркальными отражателями, а также принципы работы с программным обеспечением для автоматизированной системы разработки световых приборов.

Ключевые слова: автоматизированная система, моделирование, проектирование, программа, световой прибор, отражатель, энергоэффективность.

AUTOMATED SYSTEM FOR DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT LIGHT DEVICES

I. I. Bayneva, V. V. Baynev

The article describes the features of the light devices, light-distributing devices, analyzes the problem and possible solutions for their calculation and design, considers the mathematical models used in the light and luminaire design with the mirror reflectors, the principles of work with the created software for the automated modeling and design of the light devices.

Keywords: automatic system, modeling, design, program, light devices, reflector, energy efficiency.

Световой прибор (СП) является сложным изделием, состоящим из взаимосвязанных элементов: источников света (ИС), пускорегулирующей аппаратуры, электроустановочных устройств, конструктивных узлов, оптической системы, теплоотводящих элементов. Их параметры существенно зависят от особенностей конструкции СП и заметно влияют на его характеристики в целом.

Уровень конструирования СП имеет важное значение в связи со следующими аспектами:

- массовый характер производства и применения СП;
- значительные материальные и трудовые затраты, требуемые для их изготовления, монтажа и эксплуатации;
- большое влияние СП на технико-экономические и эстетические характеристики строящихся и реконструируемых объектов;
- процесс конструирования и проектирования оказывает решающее влияние на потребительские свойства СП, а также экономичность производства и эксплуатации [1].

© Байнева И. И., Байнев В. В., 2014

При этом необходимо отметить основные направления деятельности разработчиков СП:

- создание светильников с максимальной световой отдачей;
- создание светильников с заданной кривой светораспределения;
- увеличение модельного ряда светильников с учетом запросов потребителя.

Задачей светотехнического расчета СП, в том числе светильников, является определение геометрической формы элементов их оптической системы, обеспечивающей (при совместном действии с выбранным ИС) требуемое светораспределение [1]. При расчете должны быть учтены особенности как светотехнических материалов, используемых для изготовления элементов оптической системы, так и технологических процессов их производства, а также условия работы этих элементов с точки

зрения воздействия на них теплового режима СП и окружающей среды [2; 3].

Светильники с зеркальными отражателями по своим светотехническим возможностям превосходят другие приборы этого класса, являются более универсальными. Они обладают наибольшим КПД и достаточно технологичны. С помощью отражателя зеркальный светильник должен обеспечивать заданную форму КСС исходя из определенной формы КСС ИС.

Для расчета формы зеркального отражателя необходимо иметь уравнение, определяющее зависимость величины радиус-вектора r некоторой точки M от углов φ и ψ (в продольной и поперечной плоскостях), определяющих падающий луч, и углов α и β (также в продольной и поперечной плоскостях), определяющих отраженный луч (рис. 1). Дифференциальное уравнение зеркального отражателя связывает воедино все требуемые параметры [1].

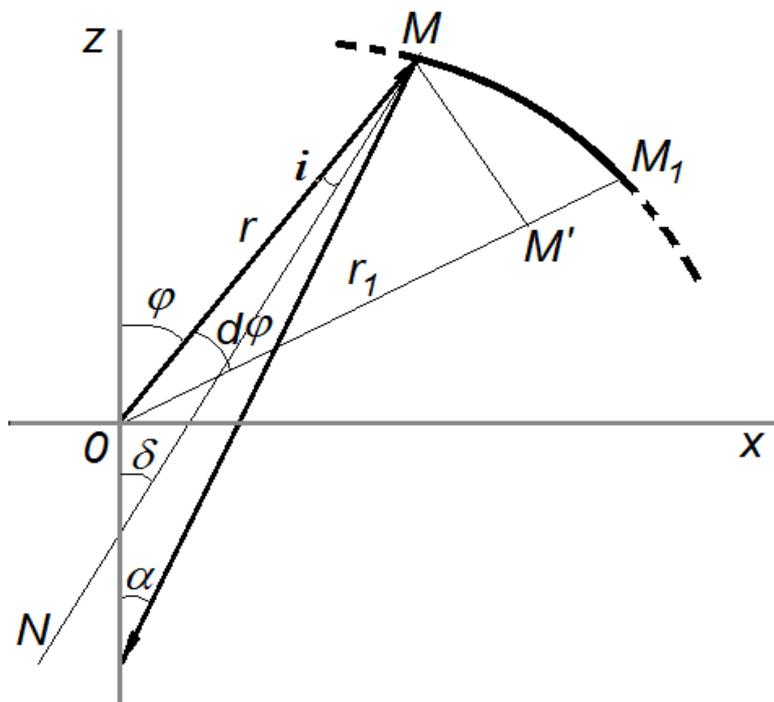


Рис. 1. Участок отражателя с падающим, отраженным и вспомогательными лучами

В случае зеркальной поверхности с тороидными зонами профильная кривая составляется из зон постоянной кривизны ($1/R$), имеющих общие нормали в граничных точках, т. е. отрезков сопряженных дуг с радиусом кривизны R и координатами центра кривизны (X_u, Z_u) как функции ($r_i, r_{i-1}, \phi_i, \phi_{i-1}, \delta_i, \delta_{i-1}$). Эти дуги определяются следующими уравнениями:

$$R = \frac{r_{i-1} \cos \phi_{i-1} - r_i \cos \phi_i}{\cos \delta_{i-1} - \cos \delta_i}, \quad (1)$$

$$X_u = X_{i-1} - R \sin \delta_{i-1}, \quad (2)$$

$$Z_u = Z_i - R \cos \delta_i. \quad (3)$$

В некоторых случаях целесообразно образовывать зеркальные поверхности вращением профильных кривых с плавно изменяющейся кривизной. При этом их параметры должны соответствовать необходимой функции $\alpha(\phi)$. В качестве профильных могут быть выбраны кривые 2-го порядка – конические сечения (эллипс, гипербола, парабола).

В случае составления поверхности зеркального круглосимметричного отражателя из параболоидных поясов такая кривая имеет точки излома, при переходе через которые угол α меняется скачкообразно. Для избежания этого требуется соединить точки границ зон зеркальной кривой, что приводит к введению дополнительных уравнений:

$$r_i = r_{i-1} \frac{1 + \cos(\phi_{i-1} - \alpha_i)}{1 + \cos(\phi_i - \alpha_i)}. \quad (4)$$

Расчет зеркальных светильников с ИС с большими светящими телами (люминесцентные лампы, дуговые ртутные лампы и др.) имеет свои сложности и особенности. Как правило, светораспределение зеркального цилиндрического светильника задается в виде КСС в профильной плоскости, а зеркальная поверхность для зеркального люминес-

центного светильника является гладкой и имеет параболический профиль.

Нередко профиль отражателя подбирается под требуемую КСС экспериментально. Поскольку он зависит от нескольких параметров, а изготовление отражателей разных форм и размеров является затруднительным, целесообразно математическое моделирование отражателя с помощью ЭВМ.

Необходимо использовать автоматизированные системы проектирования на всех стадиях разработки СП, чтобы избавить конструктора от выполнения трудоемких расчетов, многофакторного анализа и большого объема графических работ. Предлагаемое программное обеспечение для автоматизированной системы осуществляет моделирование, расчет, проектирование и комплексную разработку СП [4–6].

Принцип построения автоматизированной системы моделирования и проектирования СП (далее – система) имеет модульную структуру, где каждый из программных блоков (модулей) независимо от остальных решает свою детерминированную задачу. Математические аспекты системы включают в себя модели проектируемых СП, а также методы и алгоритмы расчетов, используемых при автоматизированном проектировании.

Для моделирования отражения луча от элементарной части отражателя используются стандартные алгебраические и геометрические приемы расчета, которые занимают незначительное количество процессорного времени. В случае моделирования отражателя, состоящего из большого количества элементарных частей, возникает необходимость быстрого нахождения конкретной части по заданным начальным координатам хода луча.

Простейшим вариантом решения этой задачи является линейный перебор всех частей, который имеет сложность $O(N)$, что существенно снижает общую скорость вычислений. В связи с этим была разработана система параллельной индексации с помощью двух самобалансирующихся красно-

черных деревьев, у которых максимальная сложность поиска равна $O(\ln N)$. Одно дерево упорядочивает части отражателя в горизонтальном направлении, другое – в вертикальном. Таким образом, значительно увеличивается скорость поиска нужной части для начала расчета хода луча по двум заданным начальным координатам.

В программе во время вычислений используются такие разделяемые «ресурсы», как таблицы ИС, частей отражателя, значений силы света, база данных материалов и др.

Исходными данными для работы с программой LighTooLux 1.1 являются:

– требуемое светораспределение;

– тип ИС;
– количество и расположение ИС;
– оптические коэффициенты материалов светоперераспределяющей системы;

– полезный угол излучения прибора.

Работа с программой, главное окно которой представлено на рис. 2, выполняется пошагово.

На первом этапе необходимо смоделировать оптическую систему разрабатываемого СП и выбрать ИС. Поскольку ИС также участвуют в перераспределении световых лучей, то обязательно задаются их точные размеры.

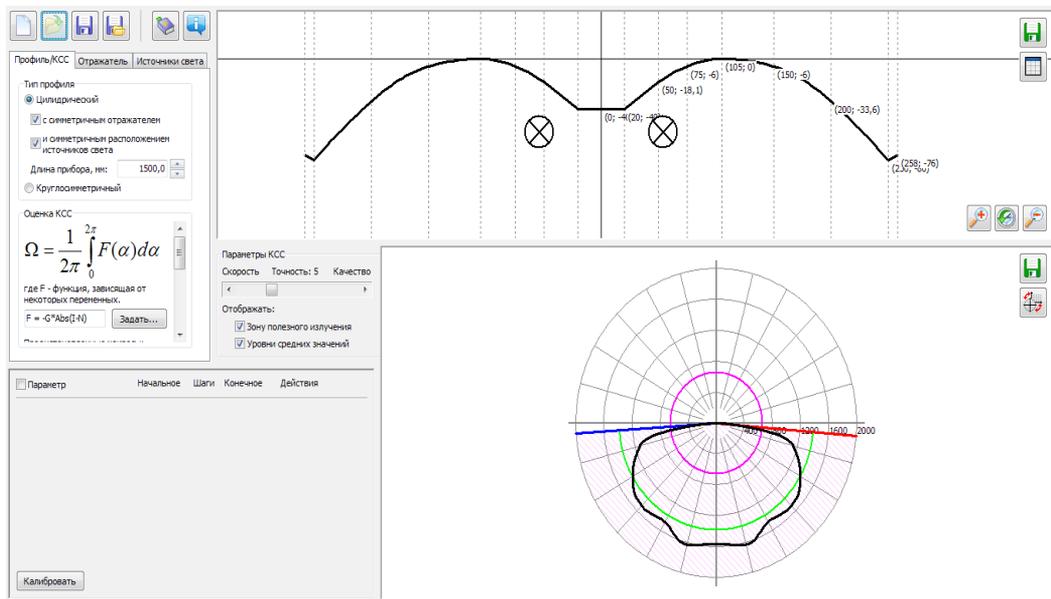


Рис. 2. Рабочее окно программы LighTooLux 1.1

Тип профиля может быть кругло-симметричным или цилиндрическим. При задании последнего выбираются такие условия его исполнения, как с симметричным отражателем, с симметричным расположением ИС.

В программе заложены следующие стандартные (предустановленные) способы оценки КСС:

– максимизация светового потока;
– максимизация светового потока внутри полезного угла излучения;

– выравнивание КСС внутри полезного угла излучения;

– максимизация разности средних значений силы света во всем телесном угле и силы света в пределах полезного угла излучения.

Отражатель формируется из неограниченного количества неразрывно связанных, но независимых друг от друга частей. Пример отражателя с прорисовкой падающих и отраженных световых лучей представлен на рис. 3.

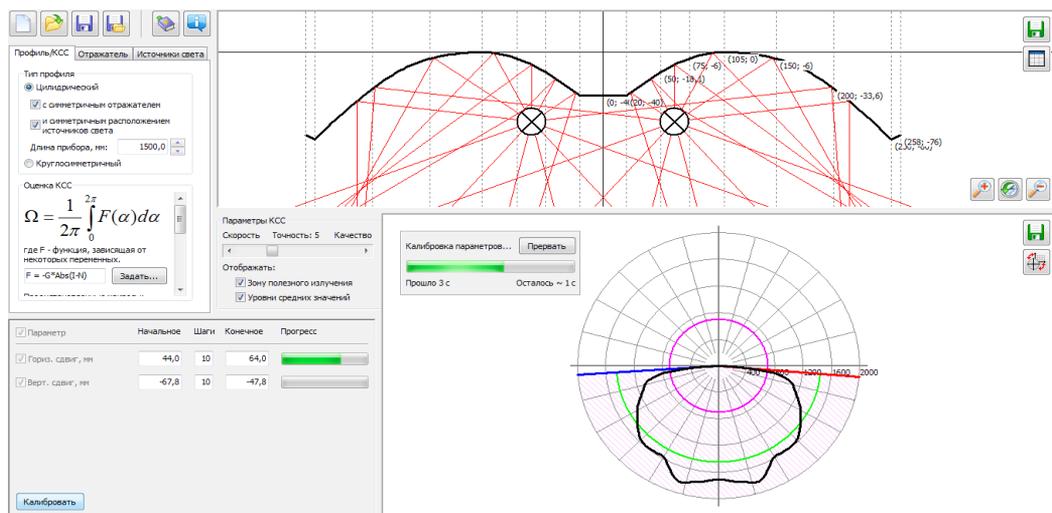


Рис. 3. Отображение главного окна в процессе калибровки

На втором этапе осуществляется детальная проработка эскиза и КСС, путем качественной оценки калибровки (процесс подбора выбранных параметров для обеспечения максимальной оценки КСС) необходимых параметров, и окончательного построения КСС (см. рис. 3). Результат представляется в виде графика в полярной или декартовой системах координат.

На третьем этапе полученные результаты могут быть представлены для последующего анализа и интерпретации в виде схем, графиков и таблиц, которые сохраняются в соответствующем формате. Результаты моделирования

профиля отражателя представляются в виде отчета с указанием параметров ИС и трассировки отражателя.

Использование данной автоматизированной системы моделирования и проектирования СП позволит достичь следующих целей:

- в короткие сроки эффективно осуществлять разработку СП с любыми ИС различного конструктивного исполнения и назначения;
- оценивать эффективность светооптической системы СП;
- определять основные параметры светооптической системы СП и увязывать их с конструктивным решением СП в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Трембач, В. В.** Световые приборы. – Москва : Высшая школа, 1990. – 463 с.
2. **Байнева, И. И.** Программная модель для оценки эффективности и надежности светодиодных источников света и приборов / И. И. Байнева, В. В. Байнев // Полупроводниковая светотехника, 2011. – № 3. – С. 40–42.
3. **Байнева, И. И.** Оценка эффективности и надежности светодиодных источников света и приборов / И. И. Байнева, В. В. Байнев // Фотоника, 2011. – Т. 27. – № 3. – С. 66–68.
4. **Байнева, И. И.** Математические и программные средства моделирования световых приборов / И. И. Байнева, В. В. Байнев // Системы и средства информатики, 2012. – Т. 22. – № 2. – С. 95–105.

Поступила 09.09.2013 г.

Об авторах:

Байнева Ирина Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры светотехники светотехнического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), baynevaii@rambler.ru

Байнев Виталий Валерьевич, студент факультета электронной техники светотехнического факультета ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева» (г. Саранск, Россия), bw14@mail.ru

Для цитирования: Байнева, И. И. Автоматизированная система для разработки энергоэффективных световых приборов / И. И. Байнева, В. В. Байнев // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1. – С. 171–176.

REFERENCES

1. Trembach V. V. Svetovye pribory [Light devices]. Moscow, High School Publ., 1990, 463 p.
2. Bayneva I. I., Baynev V. V. Programmnaja model' dlja ocenki jeffektivnosti i nadezhnosti svetodiodnyh istochnikov sveta i priborov [Program model for estimation of effectiveness and reliability rates of photodiode light-devices]. *Poluprovodnikovaya svetotehnika – Semiconductor light engineering*. 2011, no. 3, pp. 40 – 42.
3. Bayneva I. I., Baynev V. V. Ocenka jeffektivnosti i nadezhnosti svetodiodnyh istochnikov sveta i priborov [Estimation of effectiveness and reliability of light devices]. *Fotonika – Photonics*. 2011, vol. 27, no. 3, pp. 66 – 68.
4. Bayneva I. I., Baynev V. V. Sistemy i sredstva informatiki [Systems and means of informatics]. 2012, vol. 22, no 2, pp. 95 – 105.

About the authors:

Bayneva Irina Ivanovna, Associate Professor (docent), Department of Light Engineering, Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), Kandidat Nauk (PhD) degree holder in Technical sciences, baynevaii@rambler.ru

Baynev Vitaliy Valer'evich, student, Department of Light Engineering, Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia), bw14@mail.ru

For citation: Bajneva I. I., Bajnev V. V. Avtomatizirovannaja sistema dlja razrabotki jenergojeffektivnyh svetovyh priborov [Automated System For Development of Energy Efficient Light Devices]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta – Mordovia University Bulletin*. 2014, no. 1, pp. 171 – 176.