

УДК 628.9

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ С ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛЬЮ

Е. В. ГИРОН*(Представлено: Е. С. БОРОВКОВА)*

Представлены результаты разработки программного модуля для расчета и визуализации распределения освещенности в помещении. Модуль реализован на языке Python с использованием библиотеки PyQt5 и основан на фундаментальных законах фотометрии. Проведена валидация модели путем сравнения расчетных данных с экспериментальными измерениями в учебной аудитории. Показана практическая применимость инструмента для образовательных и проектных задач.

Введение. Качество освещения является критически важным фактором, влияющим на комфорт, безопасность и продуктивность деятельности человека в закрытых пространствах. Традиционные методы оценки освещенности с помощью люксметров требуют значительных временных и материальных затрат, особенно на этапе проектирования. В этой связи актуальной задачей становится разработка инструментов компьютерного моделирования, позволяющих прогнозировать световую обстановку с достаточной для практики точностью.

Методы и алгоритмы. В основе разработанного программного модуля лежит гибридный подход, комбинирующий метод точечных расчетов и элементы лучевой трассировки для учета сложных световых эффектов. Расчет прямой освещенности от точечного источника выполняется на основе модифицированного закона обратных квадратов с учетом угла падения света:

$$E = \frac{I \cos^n \theta}{r^2 \tau},$$

где I – сила света (кд), θ – угол падения, r^2 – расстояние до источника (м), n – показатель концентрации светового потока, τ – коэффициент пропускания среды.

Для учета отраженного света реализована модель на основе закона Ламберта для диффузного отражения. Интенсивность отраженного света рассчитывается как:

$$L = \frac{\rho E}{\pi},$$

где L – яркость (кд/м²), ρ – коэффициент отражения материала поверхности, E – падающая освещенность (лк).

Моделирование теней и затенения от объектов осуществляется с помощью функции видимости. Для расчета мягких теней применяется упрощенный метод Монте-Карло, при котором освещенность в точке определяется усреднением по нескольким лучам, отправляемым в направлении источника.

Алгоритм также учитывает естественное освещение от оконных проемов. Освещенность от окна моделируется как диффузный источник, интенсивность которого убывает с расстоянием от проема.

Программный модуль реализован на языке Python. Для построения графического интерфейса использована библиотека PyQt5, что обеспечило кроссплатформенность и высокую степень интерактивности. Вычислительное ядро использует библиотеку NumPy для эффективных матричных операций.

Интерфейс и функциональность. Интерфейс программы разделен на две основные панели: управления и графическую. На панели управления пользователь может:

1. Выбирать материалы для поверхностей (стен, пола, потолка) из базы данных, содержащей их оптические свойства (коэффициент отражения, цвет).
2. Выбирать тип и мощность источников искусственного освещения (светодиодные, люминесцентные, прожекторы).
3. Добавлять и удалять источники света непосредственно на плане помещения.
4. Задавать высоту расчетной плоскости, качество расчета и активировать учет затенения от объектов мебели.

Экспериментальная проверка. Для валидации разработанной модели был проведен натурный эксперимент в учебной аудитории. Замеры освещенности выполнялись с помощью мобильного приложения Lux в шести контрольных точках на трех высотах (0 м, 1.5 м, 1.8 м). Искусственное освещение было изолировано от естественного.

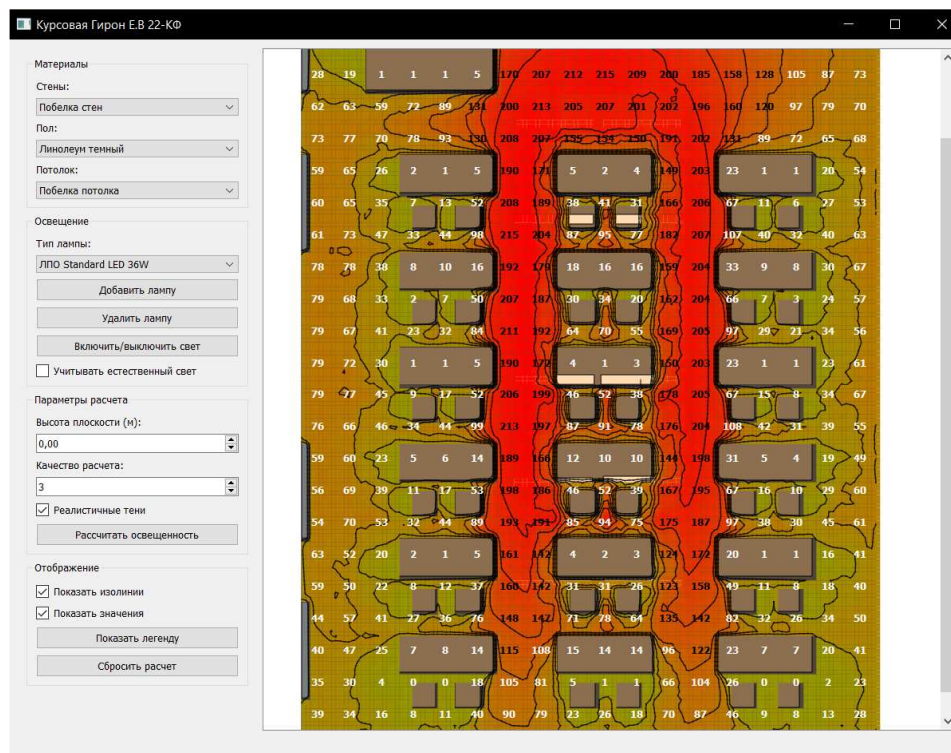


Рисунок 1. – Интерфейс программы

В той же конфигурации было проведено моделирование в программе. Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало сходный характер распределения освещенности, особенно на высотах 1.5 м и 1.8 м.

Таблица 1. – Значения люкс в разных точках аудитории

Высота, м	Значение в точке 1, лк	Значение в точке 2, лк	Значение в точке 3, лк	Значение в точке 4, лк	Значение в точке 5, лк	Значение в точке 6, лк
0	211	266	352	262	262	296
1,5	336	371	523	387	326	443
1,8	418	375	590	412	343	463

Таблица 2. – Значения люкс в полученные в программе

Высота, м	Значение в точке 1, лк	Значение в точке 2, лк	Значение в точке 3, лк	Значение в точке 4, лк	Значение в точке 5, лк	Значение в точке 6, лк
0	182	190	150	158	173	180
1,5	336	348	421	395	303	380
1,8	434	361	418	458	320	413

Наблюдаемые расхождения (в среднем 10-20%) могут быть объяснены рядом факторов: неидеальным соответствием геометрии модели реальному помещению, старением и загрязнением реальных светильников, а также упрощениями в математической модели (ограничение числа переотражений, идеализированная форма КСС).

Вывод. В результате работы был разработан и протестирован программный модуль для моделирования освещенности помещений. Программа демонстрирует адекватное физической реальности поведение и может быть использована в образовательном процессе для наглядной демонстрации законов фотометрии, а также на предпроектной стадии для сравнительного анализа различных сценариев освещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С Оптика. Учеб. пособие: Для вузов – 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003 – 848 с. – ISBN 5-9221-314-8.

2. Оптика: Учебное пособие. 3 – изд., доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 608 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. – 3-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 792 с. – ISBN 5-9221-0228-1.
4. Гурев М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы). – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1983—272 с., ил.
5. Физическая энциклопедия. Гл. ред. Прохоров А. М. – М.: «Большая Российская энциклопедия», 1994.
6. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
7. Кнорринг, Г.М. Светотехнические расчеты в проектах наружного освещения / Г.М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1983. — 248 с.
8. Boyce, P.R. Human Factors in Lighting / P.R. Boyce. – 3rd ed. – CRC Press, 2014. – 640 p.
9. Набор Python библиотек для создания графического интерфейса – PyQt5. Режим доступа: <https://pypi.org/project/PyQt5/>. – Дата доступа: 17.05.2025.