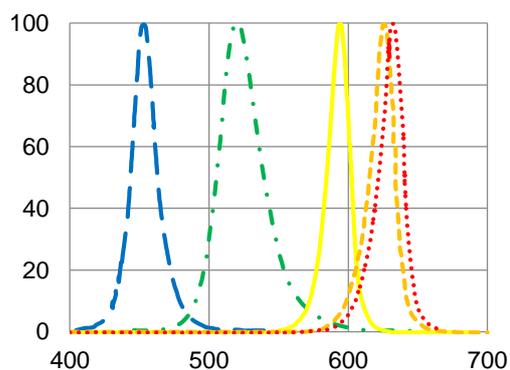
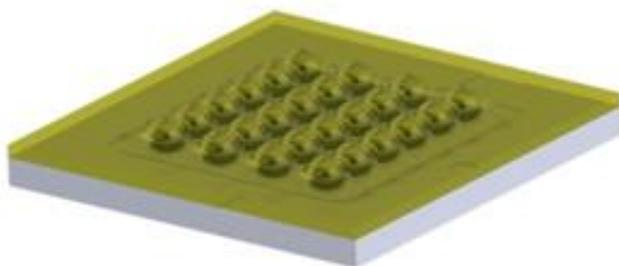
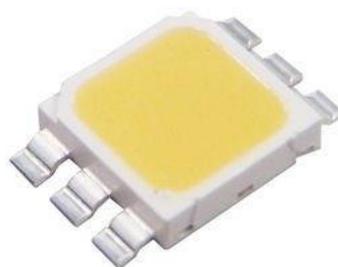


**С.А. Щеглов, Е.И. Котова, А.В. Кремлева,
А.Е. Романов, В.Е. Бугров**

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Часть 2



**Санкт-Петербург
2018**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**С.А. Щеглов, Е.И. Котова, А.В. Кремлева,
А.Е. Романов, В.Е. Бугров**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ**

Часть 2

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлениям подготовки 12.04.02 «Оптотехника» и 16.04.01 «Техническая
физика» в качестве учебного пособия для реализации основных
профессиональных образовательных программ высшего образования
магистратуры

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2018

С.А. Щеглов, Е.И. Котова, А.В. Кремлева, А.Е. Романов, В.Е. Бугров. Современные тенденции развития оптоэлектроники. Часть 2. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 73 с.

Рецензент: .

Представленные в сборнике лабораторные работы предлагаются студентам кафедры «Световых технологий и оптоэлектроники» для закрепления и применения знаний, полученных на лекциях, практических занятиях и во время самостоятельной работы, и расширения знаний о характеристиках осветительных и светодиодных приборов, некоторых аспектах, необходимых при разработке и моделировании подобных изделий, проектировании осветительных систем. В частности, освещены вопросы измерений светотехнических параметров различных источников света, моделирования светодиодов с помощью специализированной программы Zemax, создания светотехнического проекта с использованием программы Dialux. К каждой лабораторной работе сформулированы контрольные вопросы и задания.

Учебное пособие Часть 2 подготовлено на кафедре «Светодиодных технологий и оптоэлектроники».



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2018

© С.А. Щеглов, Е.И. Котова, А.В. Кремлева, А.Е. Романов, В.Е. Бугров, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа №1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕТОВЫХ, ЦВЕТОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ СВЕТА	5
Лабораторная работа №2. ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НА КАЛИБРАТОРЕ-ИЗМЕРИТЕЛЕ.....	18
Лабораторная работа № 3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ И НАРУЖНЫХ ОБЪЕКТОВ	32
Лабораторная работа № 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В ПРОГРАММЕ ZEMAX.	44
Приложение 1	59
Приложение 2	65

ВВЕДЕНИЕ

Представленные в сборнике лабораторные работы предлагаются студентам кафедры «Световых технологий и оптоэлектроники» для получения базовых и расширенных знаний об основных характеристиках источников света (в том числе светодиодов), методов оценки характеристик источников света, способов задания и моделирования светодиодов, а также способов расчета распределения освещенности от световых приборов. Выполнение лабораторных работ позволит приобрести и закрепить навыки проведения измерений светотехнических параметров источников света, провести моделирование оптических характеристик светодиодов устройств, разработать и провести расчёт светотехнического проекта по освещению разработать создать сделать.

Каждая лабораторная работа содержит цель, основные сведения о предмете работы, описание задействованного оборудования, схему проведения работы, контрольные вопросы и задания. Схема лабораторной работы представлена этапами, соблюдение последовательности которых является обязательным для усвоения материала. Лабораторная работа считается выполненной при условии проведения каждого этапа работы и предоставления отчета.

Отчет к лабораторной работе должен содержать отчетные листы по каждому этапу работы. После каждого этапа студент составляет протокол наблюдений и визирует его у преподавателя. В отчет следует включить цель работы, схемы задействованных установок с описанием функциональных узлов, ответы на контрольные вопросы и задания.

Для успешной подготовки отчета к лабораторной работе рекомендуется использовать дополнительную литературу. Список рекомендуемой литературы вы найдете после пункта «Контрольные вопросы и задания».

Лабораторная работа №1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕТОВЫХ, ЦВЕТОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Цель работы: ознакомиться с основными методами измерения светотехнических характеристик источников света. Провести измерения электрических, фотометрических и колориметрических характеристик источников света.

Общие сведения:

Основные параметры источников света:

1. Группа электрических параметров:
 - Сила тока [А];
 - Напряжение [В];
 - Потребляемая электрическая мощность [Вт];
 - Вольт-амперная характеристика (ВАХ).
2. Группа фотометрических (световых) параметров:
 - Световой поток [лм];
 - Сила света [кд], пространственное распределение силы света, кривая силы света (КСС).
3. Группа колориметрических (цветовых) параметров:
 - Спектр излучения;
 - Пиковая, доминантная (доминирующая) длины волн [нм];
 - Координаты цветности;
 - Коррелированная цветовая температура [К];
 - Общий индекс цветопередачи.
4. Группа конструктивных параметров:
 - Конструкция, состав изделия;
 - Масса и габаритные размеры;
 - Способы подключения, подсоединения.
5. Группа эксплуатационных параметров:
 - Срок эксплуатации,
 - Параметры надёжности;
 - Условия и параметры хранения;
 - Диапазон рабочих температур окружающей среды;
 - Диапазон температур хранения.
6. Группа специальных, производных, взаимозависимых параметров:
 - Зависимость светового потока от температуры окружающего воздуха или точки на корпусе изделия;
 - Зависимость напряжения от температуры окружающего воздуха или точки на корпусе изделия;
 - Зависимость коррелированной цветовой температуры от температуры окружающего воздуха или точки на корпусе изделия;
 - Зависимость координат цветности от температуры окружающего

воздуха или точки на корпусе изделия;

- Температура активной области кристалла [$^{\circ}\text{C}$];
- Тепловое сопротивление р-п переход-корпус [$^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$];
- Деградационные характеристики, срок службы;
- Светоотдача [$\text{лм}/\text{Вт}$].

Принцип измерения в интегральной сфере.

Интегрирующая сфера представляет собой полую сферическую конструкцию. Внутренняя поверхность сферы покрыта белым, диффузно отражающим слоем, с высоким и равномерным спектральным коэффициентом отражения для всего видимого диапазона.

Качество белого диффузно-отражающего слоя внутри сферы значительно влияет на точность измерений. Отражательная способность белого покрытия будет наилучшей, если покрытие будет обладать свойством спектральной неселективности (независимости от длины волны). Необходимо, чтобы отражение было близко к идеальному диффузному отражению. Для внутреннего покрытия используются материалы (краски, порошки) с высоким коэффициентом отражения и специальная техника окрашивания, обеспечивающая длительную устойчивость покрытия к износу и стойкость к воздействию химических веществ. Таким образом, внутреннее покрытие сферы должно обладать свойствами диффузного отражения по закону Ламберта и коэффициентом отражения, близким к 100 %.

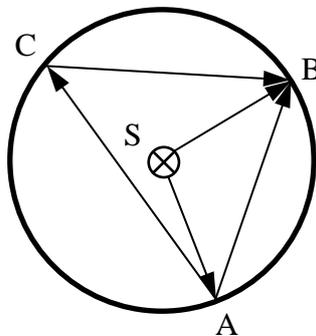


Рисунок 1.1 – Принцип устройства интегрирующей сферы

Как показано на рисунке 1.1, освещенность, создаваемая точечным источником света S в случайной точке B , складывается из прямой освещенности от источника S , и дополнительной освещенности, переотражённой от стенок сферы. В соответствии с теорией комбинирования, освещенность в точке B :

$$E = E_1 + \frac{\Phi}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \quad (1.1)$$

В этой формуле E_1 — освещенность в точке B , полученная за счет

прямого излучения от S. Значение E_1 определяется положением как точки В, так и источника света S. Если мы поместим экран между В и S, то $E_1=0$, таким образом, освещенность в точке В равна:

$$E = \frac{\Phi}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \quad (1.2)$$

В уравнении (1.2) R — радиус сферы, ρ — отражающая способность внутренней поверхности сферы. R и ρ являются константами, поэтому освещенность E случайной точки (за исключением освещенности от прямого излучения) прямо пропорциональна световому потоку. Таким образом, мы можем получить световой поток Φ источника света путем проведения испытания освещенности E через приёмное окно на стенке сферы.

При проведении измерений в интегральной сфере необходимо классифицировать источник света по его пространственному светораспределению силы света, для того, чтобы нужным образом разместить источник внутри сферы и обеспечить равномерную засветку внутренних стенок сферы.

Нижняя полусфера пространства – это часть пространства, лежащая ниже горизонтальной плоскости, проходящей через световой центр источника. Верхняя полусфера пространства лежит выше горизонтальной плоскости, проходящей через световой центр источника света (рисунок 1.2).

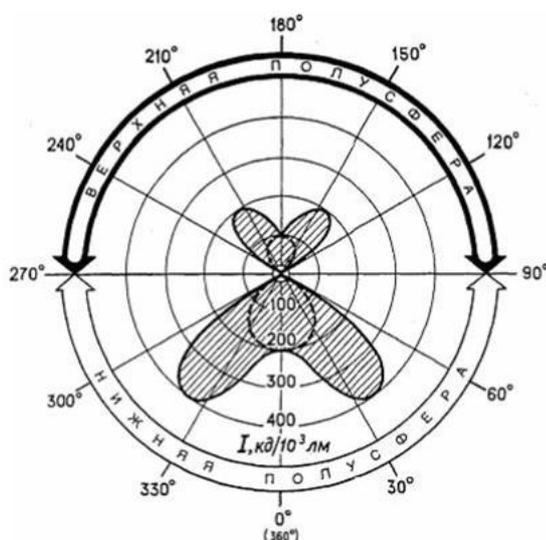


Рисунок 1.2 – Пояснения к терминам «верхняя» и «нижняя» полусфера пространства

Для источников света, излучающих световой поток в нижнюю и верхнюю полусферу пространства (лампы накаливания, галогенные лампы и прочие), необходимо использовать так называемую 4π геометрию измерения. Размер (длина) измеряемого источника света должен быть менее

2/3 диаметра сферы (рисунок 1.3а).

Для источников света, излучающих световой поток преимущественно в нижнюю полусферу пространства (светодиоды, лампы с параболическим отражателем и прочие), необходимо использовать так называемую 2π геометрию измерения. Размер (длина) измеряемого источника света должен быть менее 1/3 диаметра сферы (рисунок 1.3б).

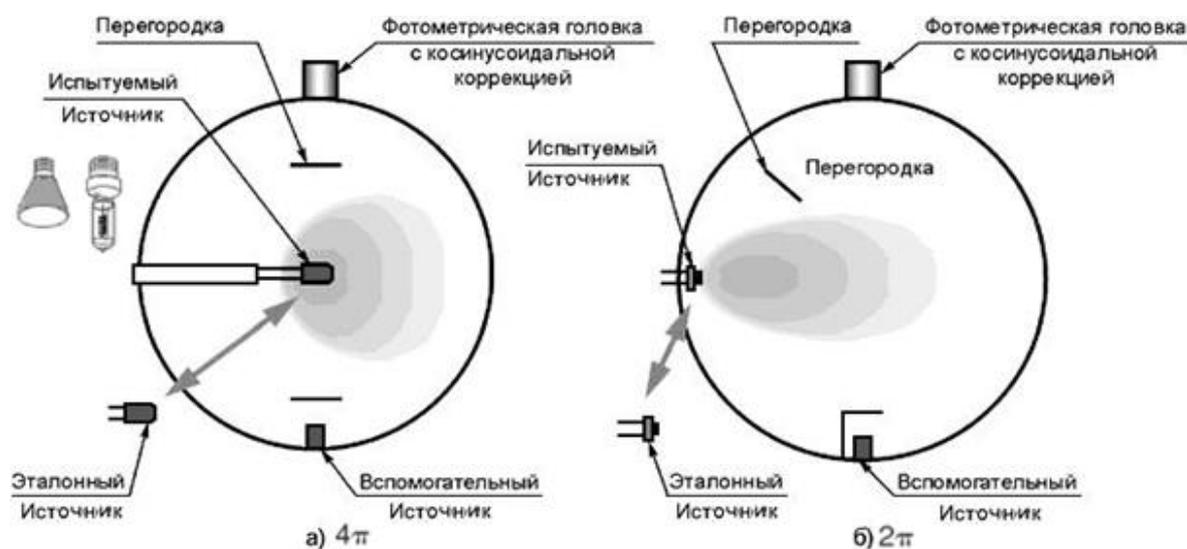


Рисунок 1.3 – Геометрия измерений 4π и 2π

Метод измерения светового потока.

1. *Метод сравнения.* Обычно метод сравнения применяется, когда интегрирующая сфера используется для измерения светового потока.

Шаг 1. Установить стандартную калибровочную лампу (ее световой поток измерен заранее с высокой точностью, и равен Φ_s) в интегрирующую сферу и подключить её в соответствии с теми параметрами, при которых проводилась регистрация светового потока. Освещенность E_s , получаемая при помощи детектора (фотометрической головки), определяется по формуле:

$$E_s = \frac{\Phi_s}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \quad (1.3)$$

Шаг 2. Установить проверяемую лампу в интегрирующую сферу и подключить её в соответствии с указаниями по применению. Освещенность E_c :

$$E_c = \frac{\Phi_c}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \quad (1.4)$$

Шаг 3. Используя две формулы (1.3) и (1.4), получаем световой поток

Φ_c проверяемой лампы:

$$\Phi_c = \frac{E_c}{E_s} \cdot \Phi_s \quad (1.5)$$

2. *Метод с использованием вспомогательной лампы.* Если размер и форма стандартной лампы и измеряемой лампы отличаются, то это приведет к поглощению рассеянного света, что, в свою очередь приведет к ошибке измерения. Для исправления ошибки по причине разности размеров и формы источника света, необходимо использовать метод с использованием вспомогательной лампы (как показано на рисунке 1.4).

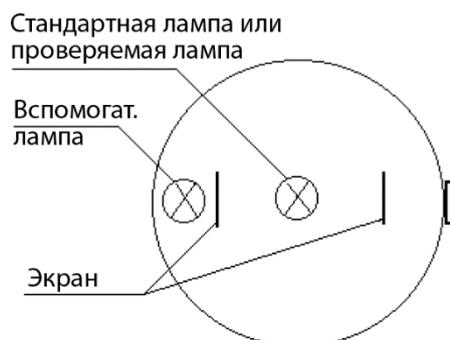


Рисунок 1.4 – Метод с использованием вспомогательной лампы

Шаг 1. Установить стандартную и вспомогательную лампы в интегрирующую сферу и включите только стандартную лампу. Когда основные параметры (световой поток, напряжение, электрическая потребляемая мощность) лампы стабилизируются, величина освещенности E_s , регистрируемая с детектора (фотометрической головки), будет вычисляться по формуле:

$$E_s = \frac{\Phi_s}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} = K_s \cdot \Phi_s \quad (1.6)$$

Шаг 2. Выключить стандартную лампу и включить вспомогательную. При этом, освещенность E_{AS} будет определяться, как:

$$E_{AS} = \frac{\Phi_A}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} = K_s \cdot \Phi_A \quad (1.7)$$

Шаг 3. Заменить стандартную лампу на проверяемую (измеряемую) и включить её в соответствии с указаниями по применению. После того, как основные параметры (световой поток, напряжение, электрическая потребляемая мощность) лампы стабилизируются, освещённость E_c , регистрируемая с детектора (фотометрической головки), будет вычисляться

по формуле:

$$E_C = \frac{\Phi_C}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} = K_C \cdot \Phi_C \quad (1.8)$$

Поскольку размер и поглощательная способность для стандартной и проверяемой (измеряемой) лампы отличаются, постоянная K_C интегрирующей сферы не равна K_S .

Шаг 4. Выключить проверяемую (измеряемую) лампу и включить вспомогательную. После того, как основные параметры лампы стабилизируются, проверить значение освещенности E_{AC} , регистрируемое с детектора, по следующей формуле:

$$E_{AC} = \frac{\Phi_A}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} = K_C \cdot \Phi_A \quad (1.9)$$

Шаг 5. Из формул (1.7) и (1.9) можно получить:

$$\alpha = \frac{K_S}{K_C} = \frac{E_{AS}}{E_{AC}} \quad (1.10)$$

Откуда можно получить значение светового потока проверяемой (измеряемой) лампы:

$$\Phi_C = \frac{E_C}{E_S} \cdot \frac{E_{AS}}{E_{AC}} \cdot \Phi_S \quad (1.11)$$

Шаг 6. Вычисляем световой поток по формуле (1.11) для исправления ошибки, вызванной различием размеров и формы источника света и различной поглощательной способностью.

Метод с использованием вспомогательной лампы помогает избежать ошибки, вызванной различным размером источника излучения и поглощением экрана и крепёжных элементов лампы, но процесс проведения испытания и вычисления достаточно сложный. Данный метод, таким образом, может использоваться в условиях повышенных требований к точности измерений.

Схема измерения электрических параметров.

Реализация схем измерения электрических параметров источников света (лампы накаливания, галогенной лампы, светодиода) при подключении к источнику постоянного тока, приведена на рисунках 1.5 и 1.6.

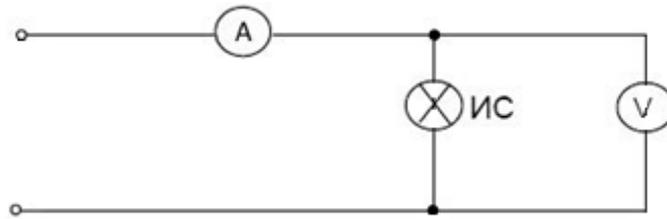


Рисунок 1.5 – Схема измерения электрических параметров ламп накаливания и галогенных. ИС – источник света (лампа), А – амперметр для измерения тока, V – вольтметр для измерения напряжения

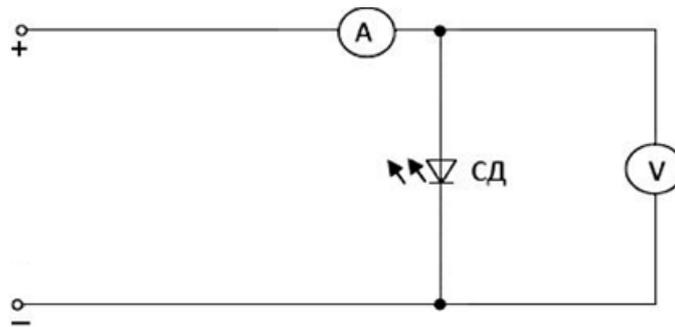


Рисунок 1.6 – Схема измерения электрических параметров светодиодов. СД – светоизлучающий диод, А – амперметр для измерения тока, V – вольтметр для измерения напряжения

Лабораторная установка

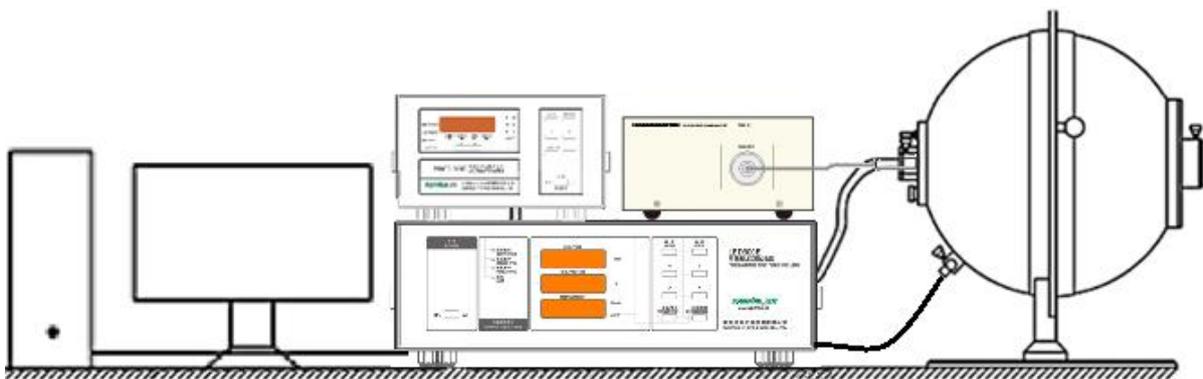


Рисунок 1.7 – Схема измерительной установки. Интегрирующая сфера диаметром 0,5 м, мультифотометр с фотометрической головкой, спектрометр, персональный компьютер

Интегрирующая сфера состоит из двух полушарий (диаметром 0,5 м), как показано на рисунке 1.7. Входной порт интегрирующей сферы предназначен для установки держателя со светодиодом (на рисунке не показан). К выходным портам подключается фотометрическая головка

мультифотометра PHOTO-2000Z и приёмное оптоволоконно спектрометра Hamamatsu PMA-12. Если любой из описанных выше портов не используется, его необходимо закрывать соответствующей крышкой. Необходимо следить за тем, чтобы приёмное оптоволоконно спектрометра было свободно, не изгибалось, образуя малый радиус изгиба, для предотвращения его поломки.

В конструкции сферы предусмотрено отверстие для размещения термодпары для контроля температуры внутри интегрирующей сферы во время испытаний.

Внутри сферы располагается специальный светоотражающий экран и держатель для лампы под цоколь G4. Специальный светоотражающий экран, как правило, определяется по максимальному размеру источника света и используется для ограничения прямой засветки от источника света в направлении измерительного окна (порта). Экран обычно помещается на расстоянии $2R/3$ от источника света или $R/3$ от детектора.

Для осуществления подачи необходимого электрического питания на источник света и измерения электрических величин служит программируемый источник питания LED300E. Данный источник питания предусматривает работу как в режиме постоянного тока, так и подачу одиночных или группы настраиваемых импульсов.

Спектрометр подключается к персональному компьютеру и управляется при помощи специального программного обеспечения, которое позволяет выводить спектральные характеристики и сохранять результаты измерений.

Порядок выполнения работы

1. Получить источники света (светодиоды или лампу) и краткую спецификацию на них.

2. Изучить описание, основные параметры источников света (светодиоды или лампа), их конструкцию, способ подключения и характер питающего напряжения.

Важно!!! Некоторые источники света можно вывести из строя путём подачи на них высокого статического напряжения, которое накапливается на теле и, особенно, одежде человека. Необходимо предусмотреть меры защиты от статического пробоя до начала и при непосредственной работе с источниками света (особенно, полупроводниковыми).

3) Изучить описание приборов, входящих в измерительный комплекс (Приложение 1).

4) Получить допуск на проведения дальнейшей работы.

5) Включить питание приборов LED300E, PHOTO-2000Z, PMA-12, компьютера.

6) Настроить мультифотометр PHOTO-2000Z в режим измерения светового потока, для чего клавишами < и >, расположенными под окном дисплея, выставить индикаторы Φ и единицу измерения lm.

7) На задней панели блока питания LED300E установить положение переключателя в положении «CAL» («Калибровка»).

8) Нажать на клавишу «Mode» («Режим») для того, чтобы выбрать непрерывный, моноимпульсный режим или режим повторяющихся импульсов в качестве рабочего.

9) Нажать клавишу «Setup» («Настройки») для изменения настроек параметров питающего напряжения и номинального значения силы тока с последующим сохранением текущих настроек.

10) При помощи клавиш \wedge и \vee выбрать одну из функций в меню (используется круговая прокрутка).

11) При помощи клавиш \wedge , \vee , > установить значения силы тока и напряжения (в прямом и обратном ходе), исходя из данных спецификации или по заданию преподавателя.

12) Установить блокировку настроек параметров электрического питания и перейти в режим проведения измерений, для чего перевести переключатель на задней панели в положении «TEST» («Измерения»).

13) Разместить источник света в держатель (или цоколь) в соответствии с полярностью подключения.

14) Проверить правильность подключения и работоспособность (наличие видимого излучения) источника света, для чего подать питающий ток с источник питания, нажав два раза клавишу «START/STOP» («СТАРТ/СТОП»).

15) Установить держатель с установленным светодиодом в окно позиционирования интегральной сферы.

16) Подать питающий ток с источник питания, нажав клавишу «START/STOP» («СТАРТ/СТОП»).

17) Провести измерения фотометрических и электрических характеристик источника света с фиксацией данных под запись с момента включения, до момента стабилизации его параметров через определённые промежутки времени.

18) Внести данные измерений в таблицу результатов измерений:

Дата ____ . ____ . ____					
Оператор _____					
Образец № (Описание, марка изделия, цвет свечения)					
№	I_f [мА]	U_f [В]	P_{el} [Вт]	Φ_v [лм]	Примечание
1					Время начала измерения, временной промежуток
...					

- 19) На рабочем столе компьютера запустить программу «РМА».
- 20) Открыть окно вывода спектра и цветовых параметров Module → Color.

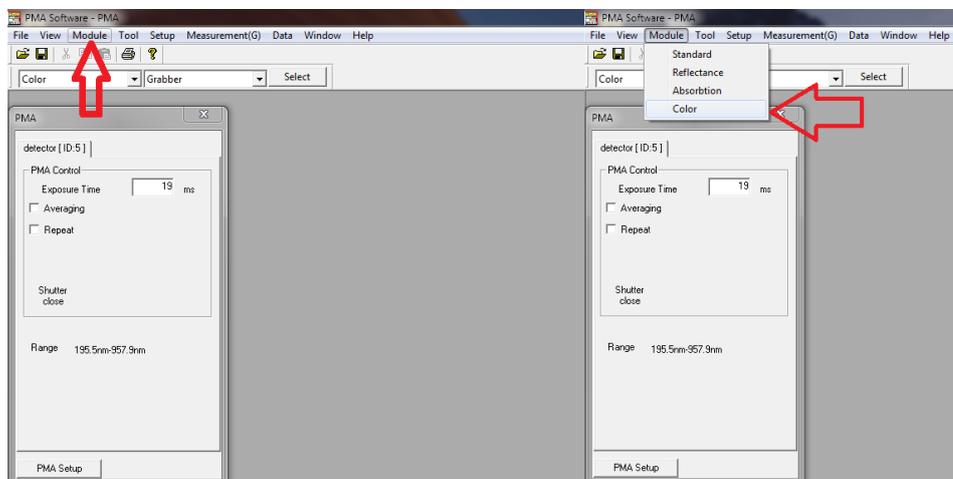


Рисунок 1.8 – Программа «РМА» для спектрометра. Действия для вывода спектра и цветовых параметров

- 21) Произвести единичное измерение спектра излучения, для чего нажать кнопку «Measure».

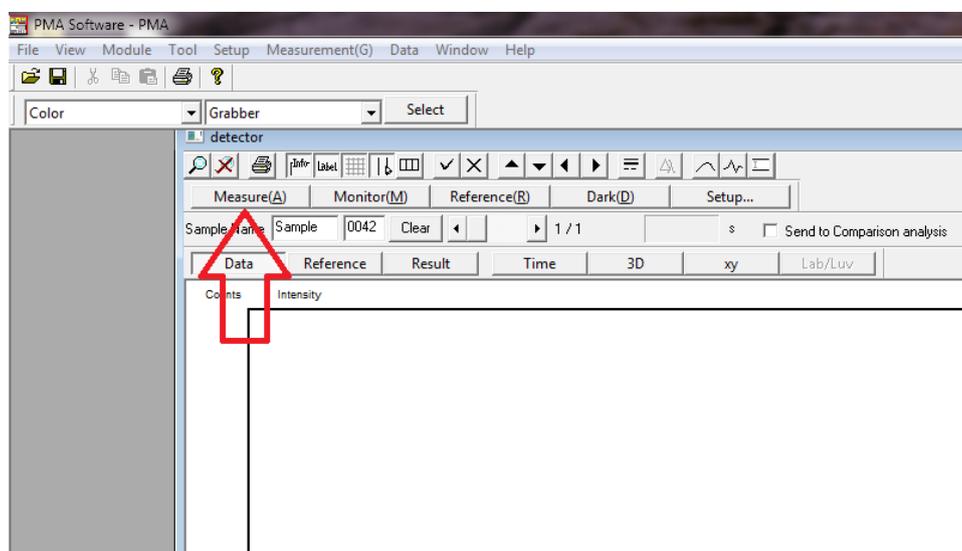


Рисунок 1.9 – Программа «РМА» для спектрометра. Действия для проведения измерения спектра

- 22) Для вывода колориметрических параметров и отображения диаграммы цветности нажать кнопку «ху»;

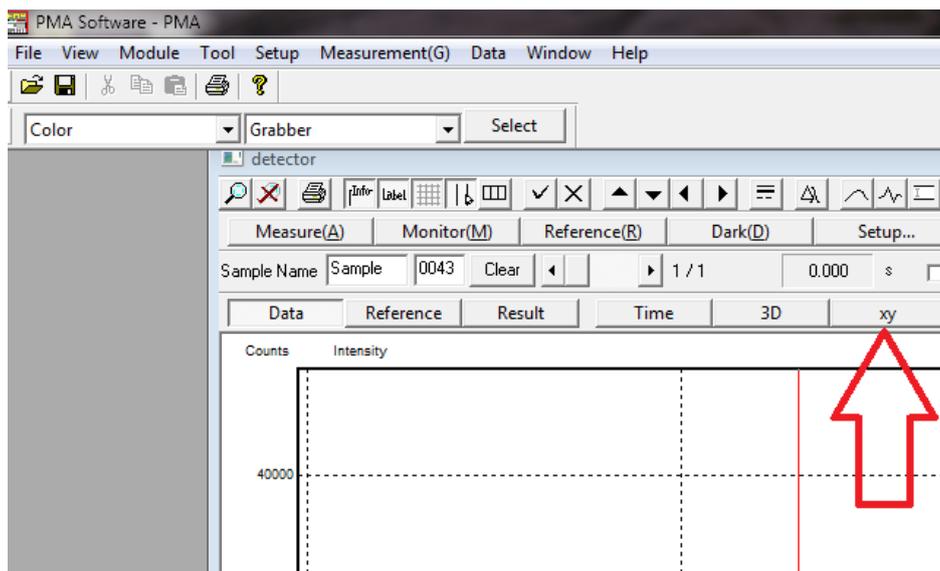


Рисунок 1.10 – Программа «РМА» для спектрометра. Действия для вывода цветных параметров

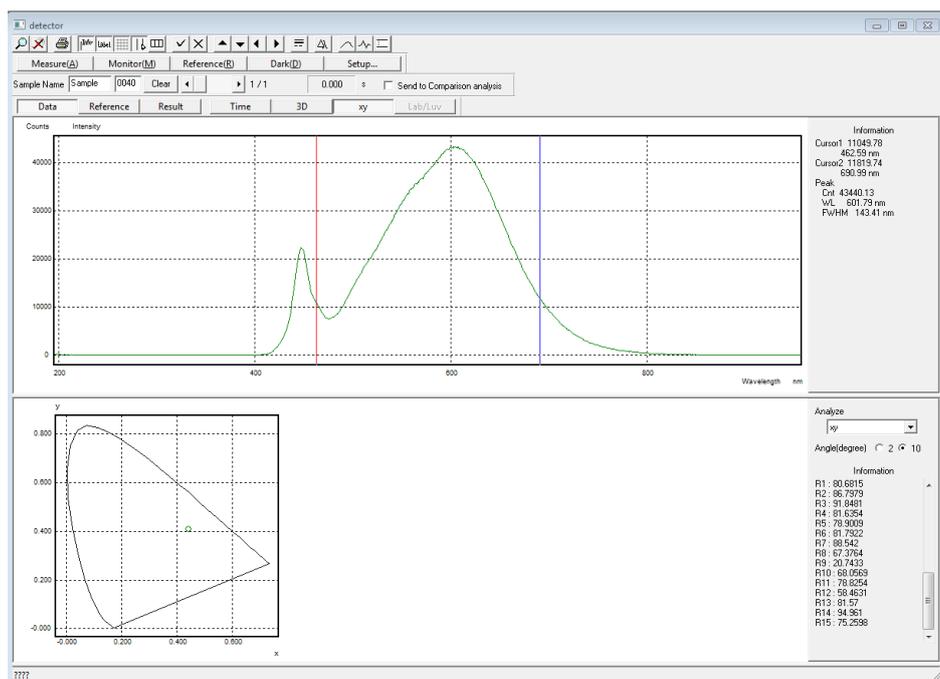


Рисунок 1.11 – Программа «РМА» для спектрометра. Измеренный спектр, диаграмма цветности и цветные параметры

23) Для сохранения полученных колориметрических параметров «File» → «Save As...» сохранить данные в формате *.txr в папке Вашей группы.

Так же результаты можно выделить в активном окне и скопировать в буфер обмена.

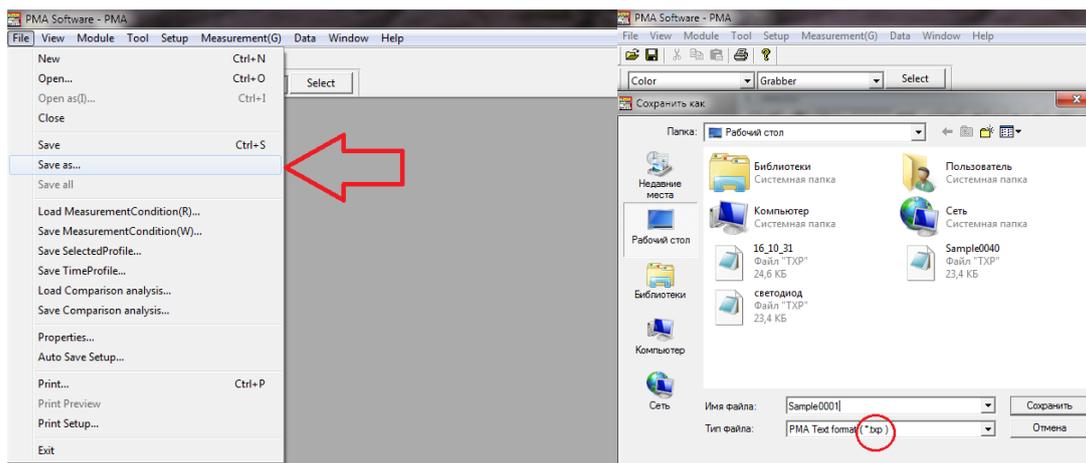


Рисунок 1.12 – Программа «PMA» для спектрометра. Действия для сохранения измеренных данных

Скопированные или сохраненные данные спектральных параметров в дальнейшем необходимо обработать с помощью любого текстового редактора или программы MS Excel.

24) Завершить работу с программой «PMA».

25) После проведения всех замеров на одном образце, выключить источник питания, нажав клавишу «START/STOP» («СТАРТ/СТОП»).

ВАЖНО! В процессе работы источника излучения и протекания через него электрического тока происходит активный нагрев корпуса изделия. Следует избегать соприкосновения незащищенными руками с нагретыми частями источников света. Иначе, можно получить ожог мизинца.

26) Дождаться, когда источник излучения остынет до приемлемой температуры, или использовать подручные средства (металлический пинцет) для извлечения изделия из держателя.

27) При необходимости, провести измерения другого образца, выполнив пункты 7-26.

28) Выключить питание приборов LED300E, PHOTO-2000Z, PMA-12, компьютера.

Обработка данных измерений

1. Сформировать и заполнить таблицу с данными электрических и фотометрических параметров по п. 18.

2. По данным п. 18 построить график изменения фиксируемых параметров в зависимости от времени работы измеряемого объекта.

3. По данным п. 18 построить график изменения тока от напряжения (ВАХ).

4. По данным из п. 18 построить зависимость величины светового

потока от потребляемой мощности.

5. Сформировать таблицу, используя данные из п. 18 по световой эффективности, в зависимости от величины питающего тока и потребляемой электрической мощности. Построить графики зависимостей.

6. По данным пп. 19-23 построить спектр излучения при указанном значении силы тока и напряжении. Сформировать таблицу с колориметрическими параметрами (координаты цвета и цветности, цветовая температура, коррелированная цветовая температура, пиковая, доминантная длина волны, общий индекс цветопередачи).

7. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения основным светотехническим параметрам источников света.

2. Что такое световые и энергетические величины?

3. Принцип и способы измерения светового потока источников света.

4. Что такое ВАХ и что она характеризует?

5. Что такое световая эффективность и светоотдача?

6. Что такое спектр излучения и что он характеризует?

7. Объяснить поведение основных светотехнических величин во времени.

Список литературы

1. ГОСТ Р 8.749-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Светодиоды. Методы измерения фотометрических характеристик. – Введ. 2011-12-13. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.

2. ГОСТ Р 55702-2013 Источники света электрические. Методы измерений электрических и световых параметров. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 48 с.

3. ГОСТ Р 55703-2013 Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 57 с.

4. PMA-12 Photonic multichannel analyzer C10027-01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.hamamatsu.com/jp/en/C10027-01.html>. – Заглавие с экрана.

5. Никифоров С. Г. Система параметров светодиодов. Электрические, фотометрические, спектральные (колориметрические) и энергетические характеристики/ Никифоров С. Г. // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 5. – С. 16-27.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. ИЗМЕРЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НА КАЛИБРАТОРЕ-ИЗМЕРИТЕЛЕ

Цель работы: приобрести практические навыки по работе на калибраторе-измерителе, определить вольт-амперную характеристику полупроводниковых приборов на калибраторе-измерителе в импульсном режиме.

Основные теоретические положения:

Прямое напряжение U_f [В]. Определяется параметрами ширины запрещенной зоны гетероструктуры, материалом подложки, структурой омических контактов и характеристиками токоведущих нитей и их сварных соединений. Указывает прямое напряжение смещения полупроводникового прибора при номинальном прямом токе.

Прямой ток I_f [А]. Рабочий (номинальный) ток полупроводникового прибора, при котором обеспечивается его работоспособность в течение указанного времени с указанными параметрами при подаче на светодиод прямого напряжения U_f . Для светодиодов является базовым параметром, относительно которого ведутся расчеты и измерения других параметров, значение номинального тока фиксировано, его величина известна с высокой точностью во время каждого измерения остальных характеристик.

Обратное напряжение U_r [В]. Отрицательное напряжение, подаваемое на анод полупроводникового прибора относительно его катода, при котором протекает обратный ток I_r , значение которого не должно превышать указанную в спецификации величину.

Обратный ток I_r [А]. Обусловлен наличием неоднородностей в материале области пространственного заряда, вызванного повышенной плотностью неосновных носителей заряда в прилегающих к р-п переходу областях. Вызван экстракцией неосновных носителей заряда из указанных областей совпадающим по направлению внешним приложенным электрическим полем (в неравновесном состоянии). Может служить косвенным показателем качества эпитаксиальной гетероструктуры на предмет наличия примесей или дислокаций, а также уровня выполнения производственных операций по утонению разделению пластин, нанесению омических контактов, посадке кристалла и приварке контактных проводников. Указывает значение тока при приложении U_r [В].

Электрическая емкость полупроводникового прибора C_f [Ф]. Определяется свойствами материала кристалла, геометрией омических контактов и токоведущих частей конструкции прибора. Применяется для расчетов импульсных режимов работы, переходных характеристик участков цепей, содержащих прибор и тому подобное.

Индуктивность L_f [Гн]. Обусловлена геометрией омических контактов, кристалла и токоведущих частей конструкции полупроводникового прибора. Вместе с емкостью C_f образует реактивную часть комплексного сопротивления, выраженную характеристическим сопротивлением. Учитывается при расчетах временных характеристик импульсов и их фронтов при динамическом управлении, а также соответствующих согласующих цепей конечных каскадов или ключей с нагрузкой.

Максимальный импульсный ток $I_{\max}(\tau)$ [А]. Максимальное значение тока, независимо от времени действия τ которого на приборе выделяется максимальная мгновенная мощность $P_{\max}(\tau)$, способная быть рассеянной конструкцией прибора без появления необратимых изменений.

Время нарастания и спада (фронт) импульса тока T_f, T_b . [с]. Интервал времени, в течение которого ток через полупроводниковый прибор изменяется от 0,1 до 0,9 значения. Применяется при использовании в устройствах отображения информации с импульсным управлением, а также в приборах для систем приема и передачи информации (ИК порты, считывающие и передающие оптические устройства, оптроны). Благодаря большому значению ширины запрещенной зоны области пространственного заряда излучающих кристаллов способны формировать оптические импульсы с фронтами длительностью до единиц наносекунд, работать при частоте питающего тока до 500 МГц.

Полупроводниковый диод – полупроводниковый прибор с одним р-п-переходом и двумя выводами, обладающие односторонней проводимостью тока.

Светодиод – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении. При пропускании электрического тока через р-п переход в прямом направлении, носители заряда - электроны и дырки - рекомбинируют с излучением фотонов из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой.

Ток и напряжение как диода, так и светодиода, однозначно связаны вольт-амперной характеристикой (ВАХ). ВАХ р-п перехода имеет прямую и обратную ветви.

Нелинейность в начале прямой ветви обусловлена уменьшением сопротивления запирающего слоя с ростом $U_{\text{пр}}$ (рисунок 2.1). Начиная с некоторого значения $U_{\text{пр}}$, характеристика становится почти линейной, так как запирающий слой исчезает. На линейном участке сопротивление диода обусловлено почти постоянным сопротивлением р и n областей. Небольшая нелинейность возникает из-за изменения сопротивления этих областей вследствие нагрева. При увеличении $U_{\text{обр}}$, обратный ток быстро возрастает, что связано со снижением диффузионного тока при повышении потенциального барьера.

При некотором значении обратного напряжения $U_{\text{проб}}$ наступает пробой

p-n перехода, при котором обратный ток резко возрастает и сопротивление запирающего слоя уменьшается.

При некотором значении обратного напряжения ($U_{\text{проб}}$) наступает пробой p-n-перехода, при котором обратный ток резко возрастает и сопротивление запирающего слоя уменьшается.

Различают два вида пробоя:

- электрический (обратимый), лавинный и туннельный;
- тепловой (необратимый).

Лавинный пробой обусловлен лавинным размножением носителей заряда. Напряжение лавинного пробоя составляет от нескольких десятков до сотен вольт.

Туннельный пробой объясняется явлением туннельного эффекта, который заключается в переходе электронов через потенциальный барьер с уровнем энергии меньше высоты потенциального барьера, при этом электроны своей энергии не теряют. Напряжение туннельного пробоя – не более нескольких единиц вольт.

При высоком обратном напряжении электроны приобретают большую скорость и, сталкиваясь с атомами кристаллической решетки, выбивают из них новые электроны, которые также разгоняются электрическим полем и также выбивают из атома электроны. С повышением $U_{\text{обр}}$ данный процесс усиливается.

При тепловом пробое увеличивается температура p-n-перехода, что приводит к уменьшению его сопротивления, и к увеличению обратного тока $I_{\text{обр}}$, что, в свою очередь, приводит к увеличению выходной мощности и дополнительному увеличению температуры p-n-перехода, приводящий к перегреву.

Теплового пробоя можно избежать, если отводить избыточное тепло от перехода, например, на корпус прибора, рассеивать тепло в окружающую среду через радиатор.

Теоретическая ВАХ полупроводникового диода описывается выражением:

$$I_{\text{д}} = I_0 \left(e^{\frac{U_{\text{д}}}{m\varphi_{\text{T}}}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

где m – коэффициент, зависящий от материала полупроводника (для германия $m = 1$, для кремния $m = 2$);

I_0 – тепловой ток (ток насыщения);

$I_{\text{д}}$ – ток диода;

$U_{\text{д}}$ – напряжение на диоде с соответствующим знаком;

$$\varphi_{\text{T}} = \frac{kT}{e} = \frac{T}{11600} \quad (2.2)$$

φ_{T} – температурный потенциал при комнатной температуре;

$k = 1,37 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура.

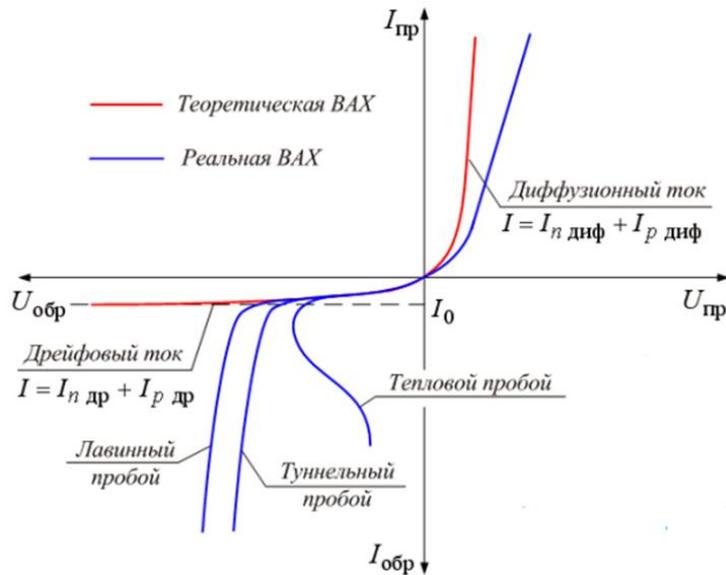


Рисунок 2.1 – Типичная теоретическая и реальная ВАХ диода

В прямом смещении ВАХ ($U_{пр} > 0$) реального диода близка к экспоненциальной только в начале зависимости, далее рост тока при увеличении прямого напряжения замедляется и характеристика становится более полой. Этот участок характеристики называют омическим, поскольку здесь оказывает влияние объемное сопротивление базы r_b p-n перехода. Протекающий через базу ток создает падение напряжения, при этом внешнее напряжение не полностью падает на p-n переходе, а распределяется между ним и слоем базы. С учетом этого, уравнение реальной ВАХ принимает вид:

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(U_{пр} - r_b I_{пр})}{kT}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Таким образом, влияние объемного сопротивления базы на прямую ветвь ВАХ реального p-n перехода проявляется в виде смещения прямой ветви в сторону больших значений прямых напряжений.

Отличия реальной обратной ветви ВАХ p-n перехода от идеальной состоят в том, что обратный ток реальной ВАХ растет при увеличении обратного напряжения p-n перехода и имеет значение, не равное I_0 (рисунок 2.1). Это объясняется тем, что в реальном p-n переходе обратный ток растет при увеличении обратного напряжения p-n перехода и имеет значение, не равное I_0 . В реальном p-n переходе обратный ток состоит из несколько составляющих: тепловой ток I_0 , ток термогенерации $I_{МГ}$ (вызван тепловой генерацией носителей внутри p-n перехода), ток утечки I_y .

При увеличении температуры уменьшается контактная разность потенциалов, энергия основных носителей заряда возрастает, соответственно растет диффузионная составляющая тока и прямой ток увеличивается. При большей температуре p-n-перехода тот же прямой ток достигается при меньшем смещении.

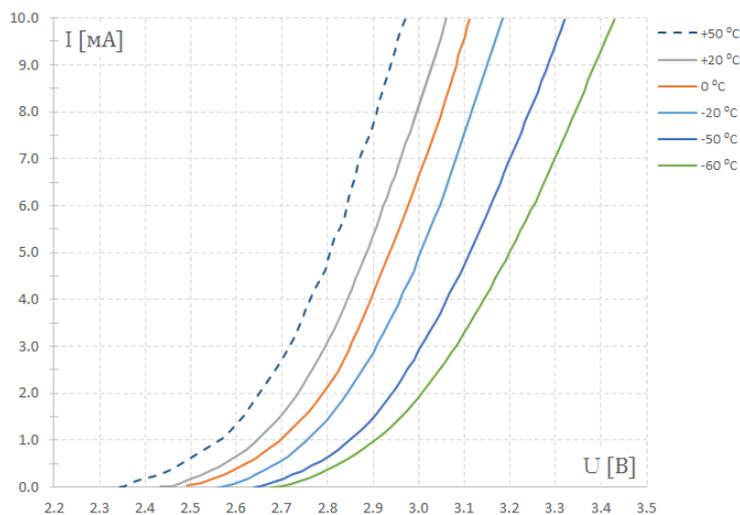


Рисунок 2.2 – Влияние температуры на ВАХ светодиода

Для оценки влияния температуры вводится температурный коэффициент напряжения прямой ветви, под которым понимается величина, показывающая, на сколько изменится прямое напряжение для получения одной и той же величины прямого тока при изменении температуры на 1 градус.

ВАХ полупроводникового прибора смещается с ростом температуры влево, а при снижении – вправо. С ростом температуры увеличивается скорость тепловой генерации электронно-дырочных пар во всех областях р-п перехода. Это приводит к резкому возрастанию с температурой концентрации неосновных носителей в n- и р-областях перехода и, следовательно, к увеличению тока насыщения и ухудшению выпрямляющих свойств полупроводникового прибора.

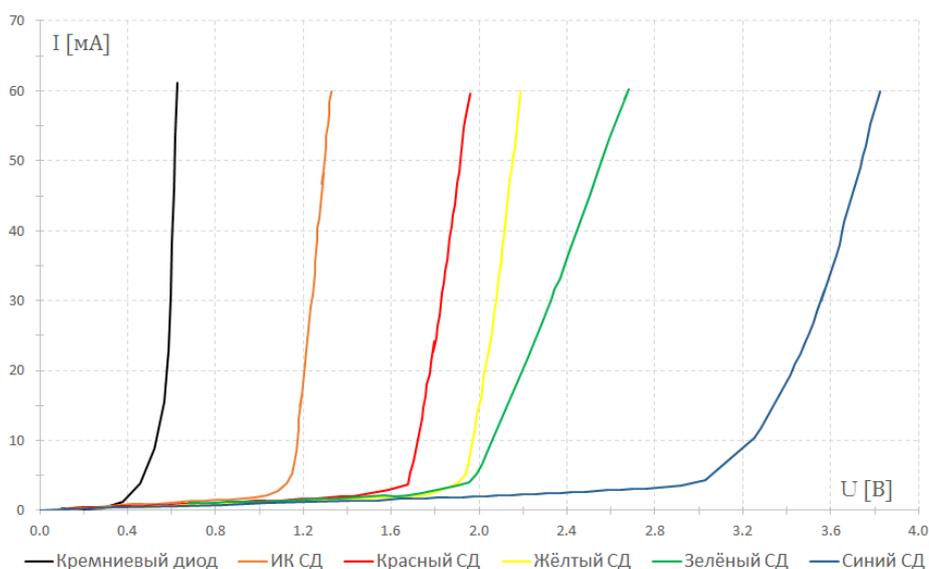


Рисунок 2.3 – ВАХ различных полупроводниковых приборов

По прямому падению напряжения можно определить химический состав полупроводника. Ниже приведены приблизительные диапазоны прямых падений напряжений для различных длин волн излучения светодиодов.

Инфракрасные светодиоды с длиной волны излучения более 760 нм на базе арсенида галлия GaAs или алюминия галлия арсенид AlGaAs имеют характерное падение напряжения менее 1,9 В.

Красные светодиоды, излучающие в диапазоне от 610 нм до 760 нм на базе алюминия-галлия арсенида AlGaAs, галлия арсенид-фосфида GaAsP, алюминия-галлия-индия фосфида AlGaInP, галлия (III) фосфида GaP имеют характерное падение напряжения от 1,63 до 2,03 В.

Оранжевые светодиоды, излучающие в диапазоне от 590 до 610 нм на базе галлия фосфид-арсенида GaAsP, алюминия-галлия-индия фосфида AlGaInP, галлия (III) фосфида GaP имеют характерное падение напряжения от 2,03 до 2,1 В.

Жёлтые светодиоды, излучающие в диапазоне от 570 до 590 нм на базе галлия арсенид-фосфида GaAs, алюминия-галлия-индия фосфида AlGaInP, галлия (III) фосфида GaP имеют характерное падение напряжения от 2,1 до 2,18 В.

Зелёные светодиоды, излучающие в диапазоне от 500 до 570 нм на базе индия-галлия нитрида InGaN, галлия (III) нитрида GaN, галлия (III) фосфида GaP, алюминия-галлия-индия фосфида AlGaInP, алюминия-галлия фосфида AlGaP имеют характерное падение напряжения от 1,9 до 4,0 В.

Синие светодиоды, излучающие в диапазоне от 450 до 500 нм на базе селенида цинка ZnSe, индия-галлия нитрида InGaN, карбида кремния SiC в качестве субстрата, кремния Si в качестве субстрата имеют характерное падение напряжения от 2,48 до 3,7 В.

Фиолетовые светодиоды, излучающие в диапазоне от 400 до 450 нм на базе индия-галлия нитрида InGaN имеют характерное падение напряжения от 2,76 до 4,0 В.

Ультрафиолетовые светодиоды, излучающие в диапазоне менее 400 нм на базе алмаза (235 нм), нитрида бора (215 нм), нитрида алюминия AlN (210 нм), нитрида алюминия-галлия AlGaN, нитрида алюминия-галлия-индия AlGaInN (менее 210 нм) имеют характерное падение напряжения от 3,1 до 4,4 В.

Белые светодиоды, построенные на основе синего или фиолетового светоизлучающего чипа, покрытые люминофором, имеют характерное падение напряжения от 2,48 до 4,0 В.

Лабораторная установка

Калибратор-измеритель (источник-измеритель) Keithley SourceMeter 2611В представляет собой комбинацию прецизионного высокостабильного

Измерения приборов, имеющих внутреннее сопротивление более 10 Ом обычно выполняются с помощью двухпроводной схемы, показанной на рисунке 19А. Основной проблемой при использовании двухпроводной схемы подключения для измерения приборов, имеющих малое внутреннее сопротивление (< 10 Ом), является появление погрешности, обусловленной сопротивлением проводников. При подаче больших токов падение напряжения на соединительных проводах становится существенным по отношению к прямому падению напряжения на тестируемом устройстве. В данном случае напряжение, измеренное прибором, представляет собой сумму напряжений на измеряемом приборе и падений напряжения на соединительных проводах. Типовое значение сопротивления проводников находится в диапазоне от 1 мОм до 100 мОм. Поэтому для измерения малых сопротивлений предпочтительней использовать четырехпроводную схему подключения, показанную на рисунке 19Б. В этой конфигурации измерительный ток пропускается через тестируемое устройство через одну пару проводов, а падение напряжения измеряется с помощью другой пары проводов, называемых измерительными. Через измерительные провода протекает очень малый ток, поэтому влиянием их сопротивления можно пренебречь.

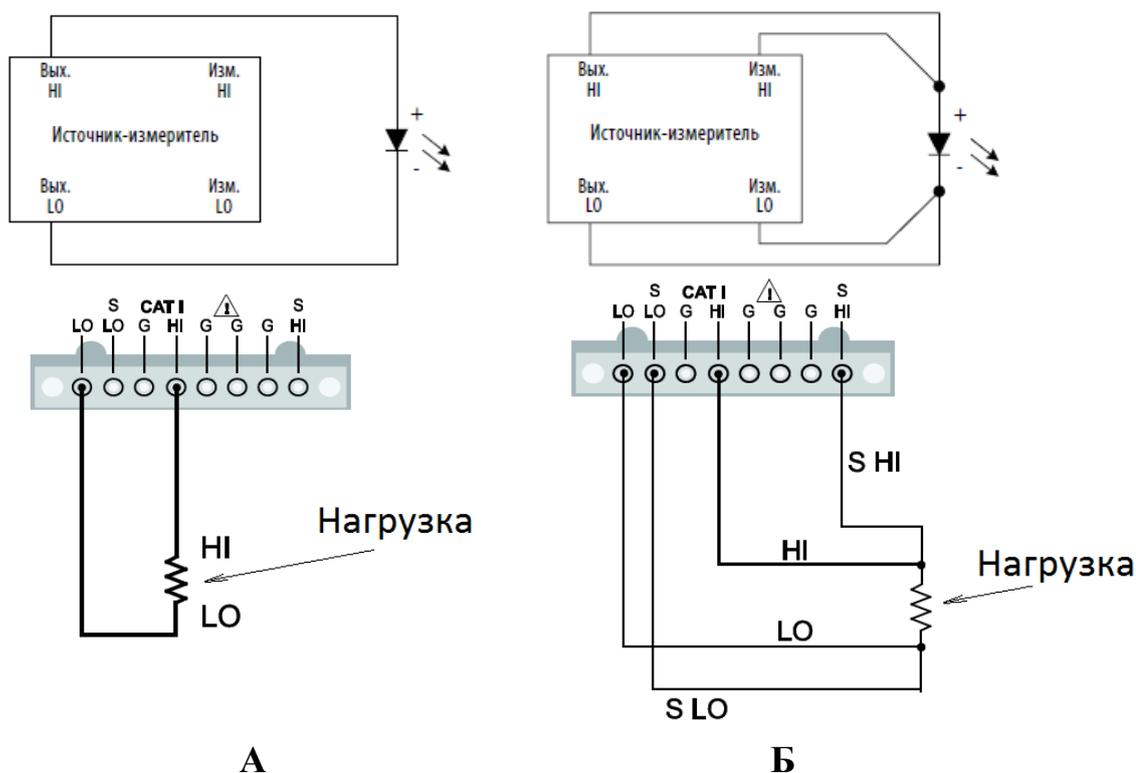


Рисунок 2.6 – Двух и четырёх проводная система измерения полупроводниковых приборов

Порядок выполнения работы

1. Получить исследуемые полупроводниковые приборы и краткую спецификацию на них.

2. Изучить описание, основные параметры полупроводниковых приборов, их конструкцию, способ подключения, предельные электрические параметры.

Важно!!! Некоторые полупроводниковые приборы можно вывести из строя путём подачи на них высокого статического напряжения, которое накапливается на теле и, особенно, одежде человека. Необходимо предусмотреть меры защиты от статического пробоя до начала и при непосредственной работе с полупроводниковыми приборами.

3) Изучить описание калибратора-измерителя Keithley 2611B (приложение 2), и описание к установке.

4) Получить допуск на проведения дальнейшей работы.

5) Подсоединить калибратор-измеритель Keithley 2611B к компьютеру с помощью сетевого кабеля LAN.

6) Включить питание компьютера, убедиться, что запущена 32-битная (разрядная) операционная система.

7) Включить калибратор-измеритель Keithley 2611B.

8) Подключить исследуемый полупроводниковый прибор к калибратору-измерителю Keithley 2611B.

9) Используя управляющие кнопки измерительного прибора Keithley 2611B, зайти в пункт меню Menu → LAN → STATUS → IP-ADDRESS.

10) На компьютере запустить браузер Internet Explorer.

11) На компьютере, в адресной строке браузера Internet Explorer вписать IP-ADDRESS, указанный на дисплее калибратора-измерителя Keithley 2611B. Дождаться загрузки Web Interface приложения прибора Keithley.

Используя управляющие кнопки измерительного прибора Keithley, выйти из пункта меню IP-ADDRESS в основное рабочее состояние прибора.

Таким образом, на данном этапе осуществляется подключение измерительного прибора к компьютеру для удалённого управления.

12) На компьютере, в окне браузера Internet Explorer, в появившемся меню выбрать пункт TSP Express для запуска приложения.

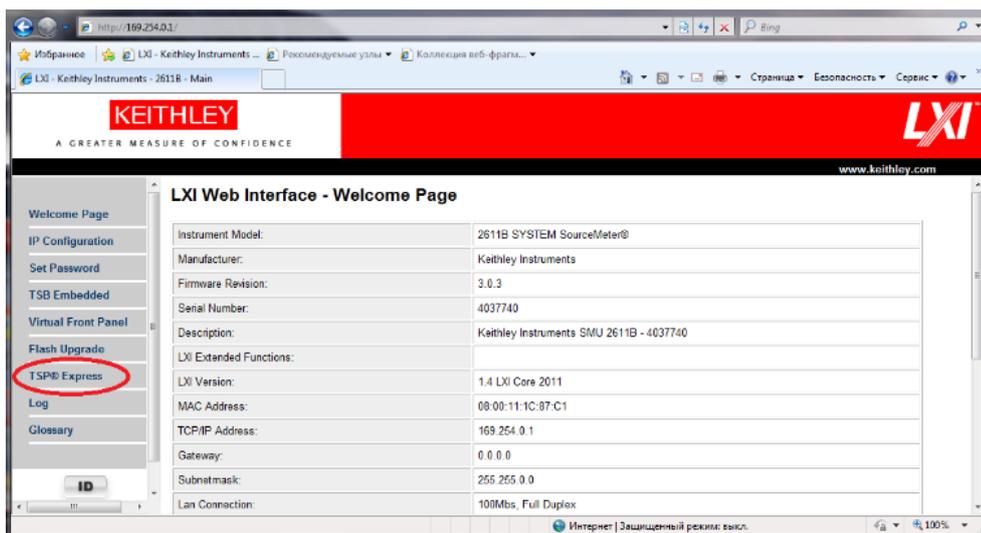


Рисунок 2.7 – Окно браузера Internet Explorer. Web Interface приложения

13) Нажать кнопку Launch и дождаться загрузки приложения.

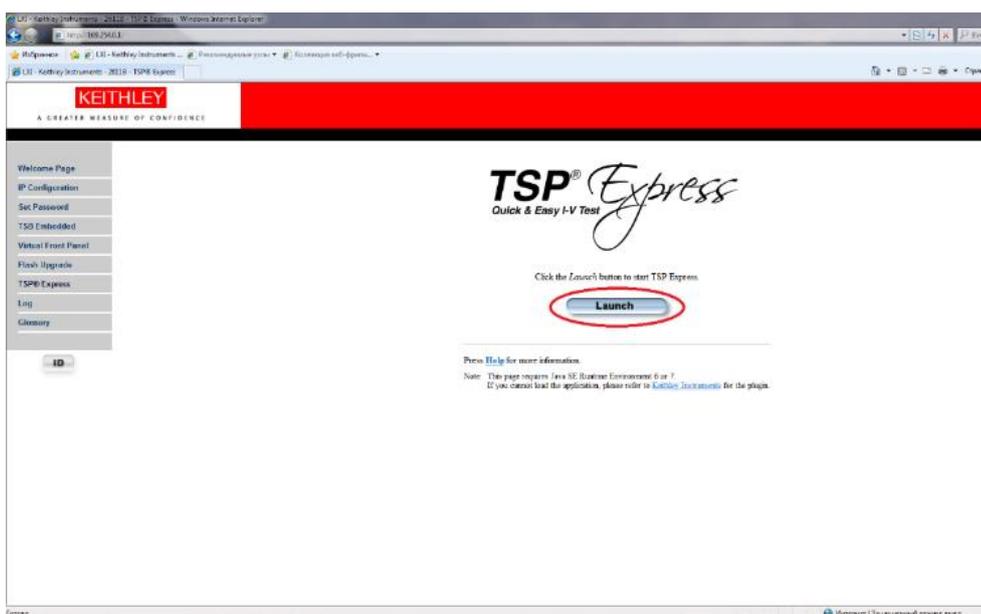


Рисунок 2.8 – Окно браузера Internet Explorer. Запуск приложения

14) Из загруженного меню выбрать пункт Multiple SMU sweeps and measurement.

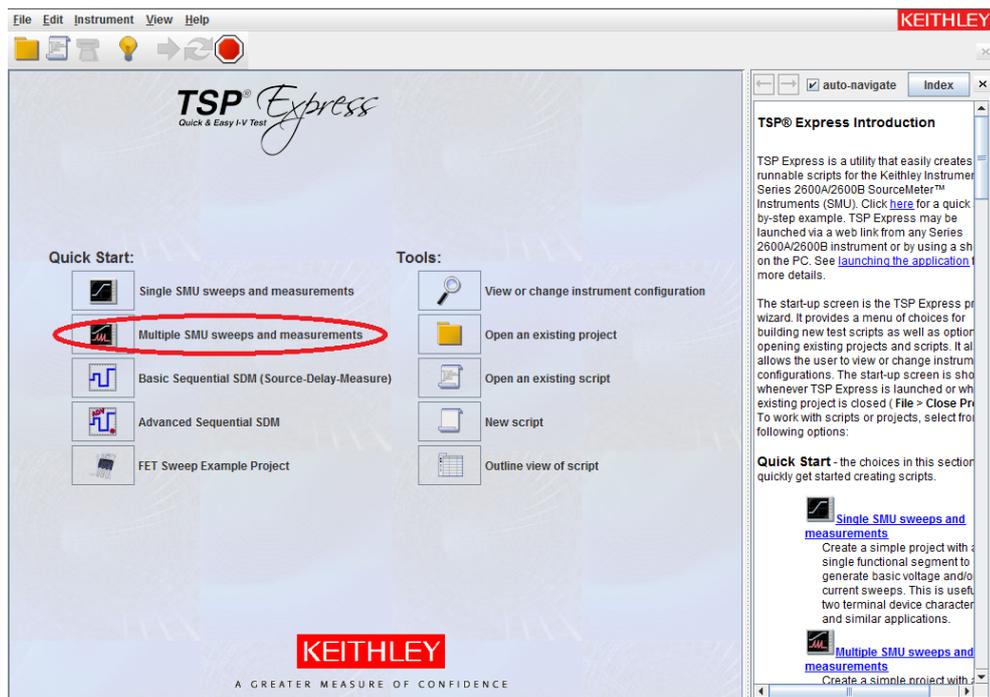


Рисунок 2.9 – Окно приложения TSP Express

15) В окне настроек (вкладка Sweep), выставить значение напряжения, установив пределы во вкладке Source Range и конечное значение напряжения клавишей Stop.

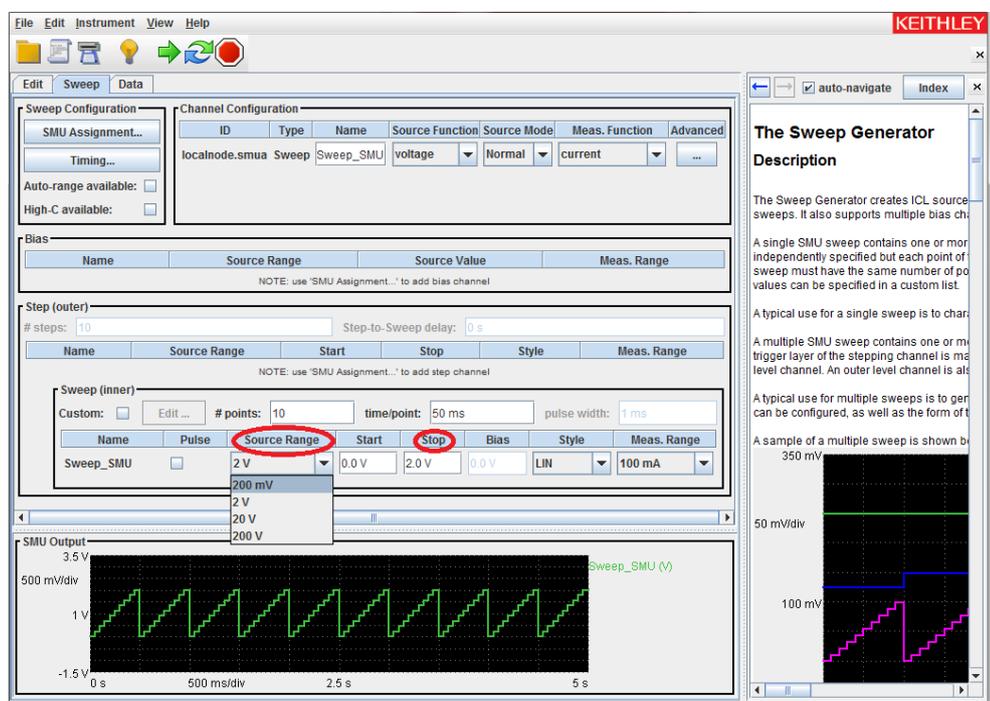


Рисунок 2.10 – Установка настроек по напряжению для проведения измерений в приложении

16) В окне настроек (вкладка Sweep), установить силу тока, указав граничные значения во вкладке Meas. Range, открыть вкладку Advanced.

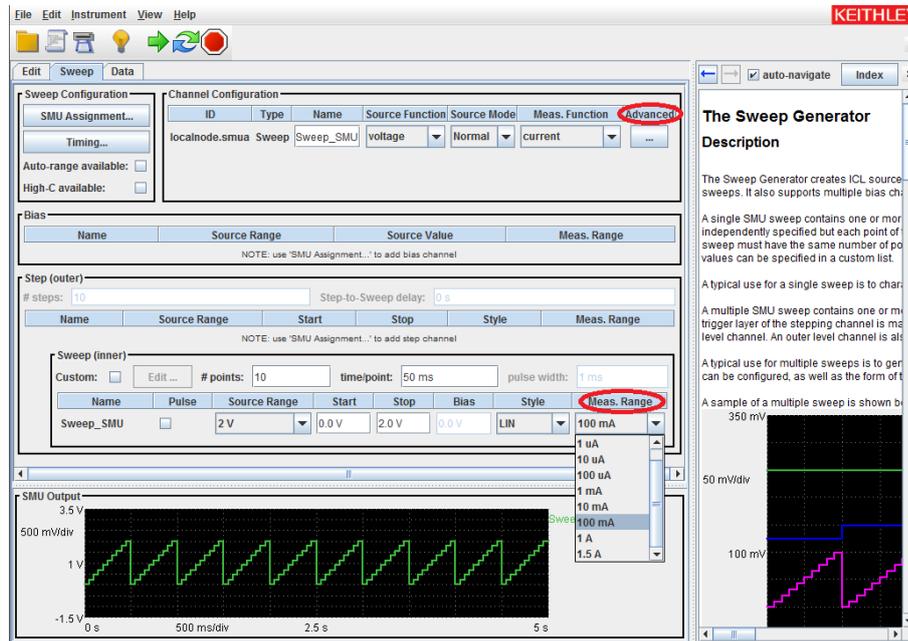


Рисунок 2.11 – Установка ограничений по значению силы тока в приложении

17) В окне настроек (вкладка Sweep), выбрать количество точек измерений, и время замера одной точки. Режим последовательных нарастающих импульсов устанавливается в столбце Pulse.

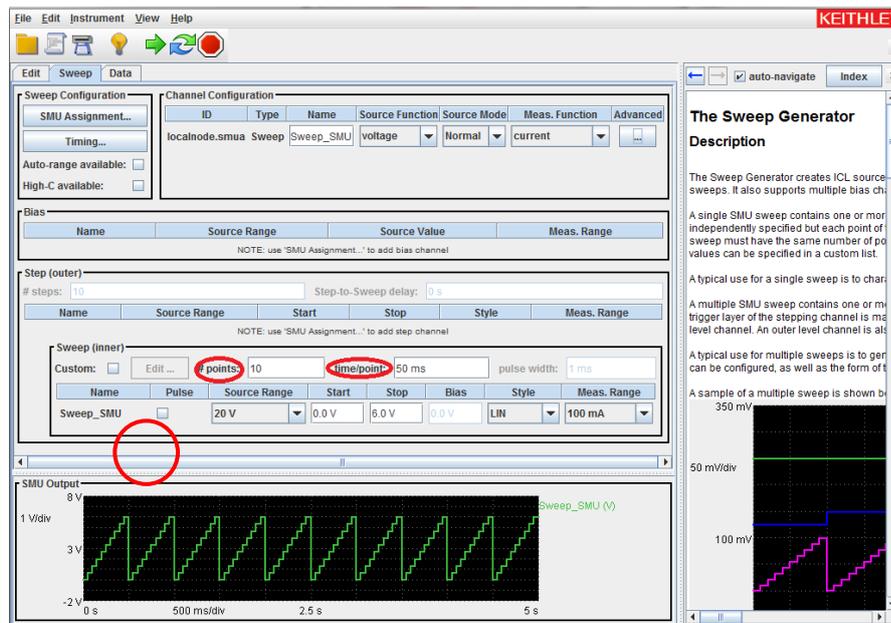


Рисунок 2.12 – Установка настроек для проведения измерений в приложении

- 18) Запустить программу измерений, нажав на зелёную стрелку 
- 19) После окончания измерения, перейти на вкладку Data.
- 20) В окне настроек (вкладка Data), в пункте Display выбрать из списка значение Graph для отображения графической информации. При выборе значения Table выводится таблица значений снятой характеристики.

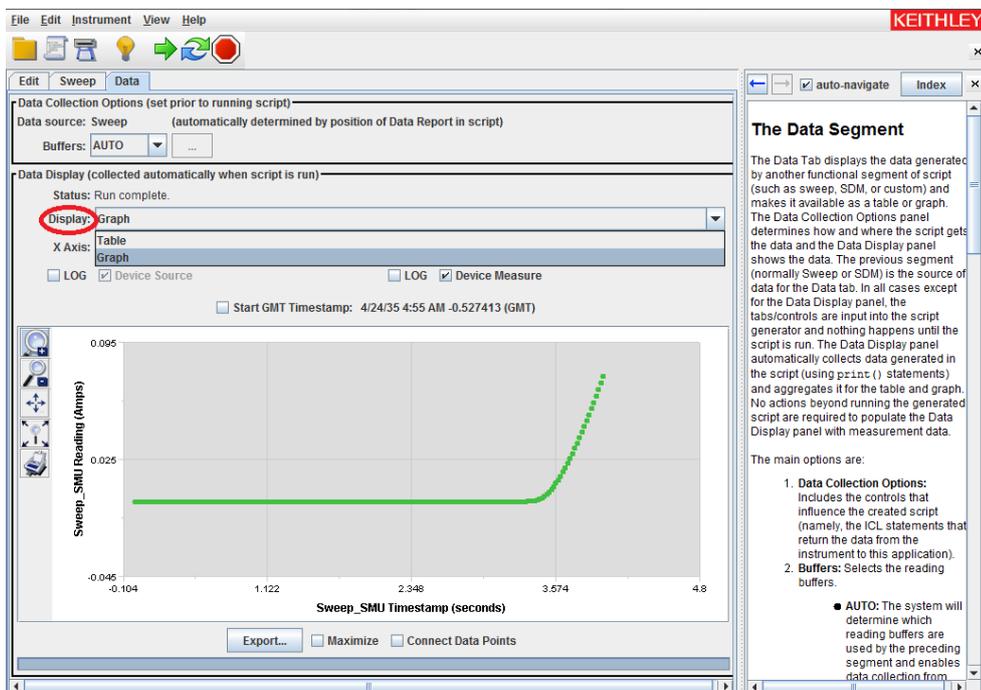


Рисунок 2.13 – Установка отображения результата измерений в графическом виде в приложении

21) Сохранить результаты измерений в текстовом или графическом виде.

22) После окончания измерений, закрыть приложение на компьютере, отсоединить исследуемый полупроводниковый прибор, выключить калибратор-измеритель Keithley 2611B, выключить компьютер.

При отсоединении исследуемого полупроводникового прибора соблюдать меры предосторожности и защиты от статического пробоя при непосредственной работе с полупроводниковыми приборами.

Обработка данных измерений

1. Построить графики ВАХ измеренных приборов.
2. По полученным данным определить примерный химический состав полупроводника.
3. Рассчитать теоретическую ВАХ по формуле 12, сравнить с данными измерений.

Контрольные вопросы

1. Что такое ВАХ и что она характеризует?
2. Привести расчётную формулу теоретической ВАХ.
3. Перечислить основные электрические параметры полупроводниковых приборов.
4. Как зависит ВАХ от материала (химического состава) полупроводника?
5. Как зависит ВАХ от температуры?
6. Как измерить ВАХ?

Список литературы

1. Источники-измерители SourceMeter (SMU) серии 2600В [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://ru.tek.com/keithley-source-measure-units/smu-2600b-series-sourcemeter>. – Заглавие с экрана.
2. Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley серии 2600В. Краткое руководство пользователя 2600BS-901-01/R. Март 2014. С. 89.
3. Константинов В. Особенность эксплуатации светодиода как высокоэффективного и надежного светоизлучающего элемента / Вставская Е., Вставский А., Пожидай М., // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 5. – С. 56-57.
4. Никифоров С. Система параметров светодиодов. Электрические, фотометрические, спектральные (колориметрические) и энергетические характеристики/ Никифоров С. // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 5. – С. 16-27.

Лабораторная работа № 3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ И НАРУЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Цели работы: Ознакомиться с программой для выполнения светотехнических расчётов DIALux. Сделать светотехнический проект с использованием программы.

Основные теоретические положения

Компьютерная программа DIALux служит для выполнения светотехнических расчётов и инженерного проектирования внутреннего освещения зданий и сооружений, а также внешних сцен наружного освещения. Она разрабатывалась и совершенствуется по сей день с 1994 года немецкой компанией DIAL GmbH (Deutch Institut fur Angewandte Lichttechnik), при этом распространяется и обновляется бесплатно.

Программа во многом интегрирована для светотехнических расчётов согласно европейским стандартам EN 12464 Light and lighting - Lighting of work places, EN 13201 Road lighting.

DIALux позволяет проводить расчеты как естественной, так и искусственной освещенности разнообразных наружных и внутренних сцен, улиц, дорог, рабочих мест, офисов, аварийных систем, спортивных площадок и многого другого.

Более 100 мировых производителей светотехники формируют собственные базы данных своих светильников для программы DIALux. Каталоги светильников можно подключать прямо из программы, а также можно скачать отдельно модели светильников в формате *.IES или *.LDT.

Для начинающих пользователей предназначен «Ассистент DIALux Light», который входит в пакет программы, и предназначен для пошагового построения светотехнического проекта.

Библиотека встроенных объектов для построения сцен изначально встроена в программу, имеется возможность экспорта и импорта 3D объектов из любых CAD-программ в форматах *.DWG и *.DXF, а также самостоятельного создания пользовательских объектов, используя инструменты моделирования, такие как булевы операции, выдавливание и объединения т.д. Для каждого участка можно смоделировать разнообразные световые эффекты с зеркальным отражением, прозрачностью, улучшенными текстурами по заданным параметрам.

При расчете светотехнических проектов и сцен учитываются факторы, связанные с мебелью, различными предметами интерьера, геометрией помещения, цветом и текстурой всех поверхностей. При помощи программы можно проводить расчеты для любых видов освещенности, КЕО

(коэффициент естественной освещенности), яркости, показателей блёсткости, ослепления, теней и дневного света. При расчёте естественной освещенности учитываются погодные условия, географическое расположение объекта, тени от окружающих объектов и зданий.

По результатам светотехнического расчёта графически изображаются распределения освещенности по каждой рассматриваемой поверхности и строится фотореалистичный трехмерный рисунок помещения. Могут быть построены изолинии и таблицы распределения освещенности, ведомости используемых светильников с их паспортными данными, энергопотребление проектируемой системы. Кроме того, имеется возможность создания видеоклипов проекта освещения.

Описание программы DIALux

Ассистент DIALux Light

Программа DIALux Light позволяет сделать типичный (стандартный) проект за пару шагов - спланировать размещение светильников в помещении и рассчитать освещенность точечным методом, после чего сформировать отчёт о проекте.

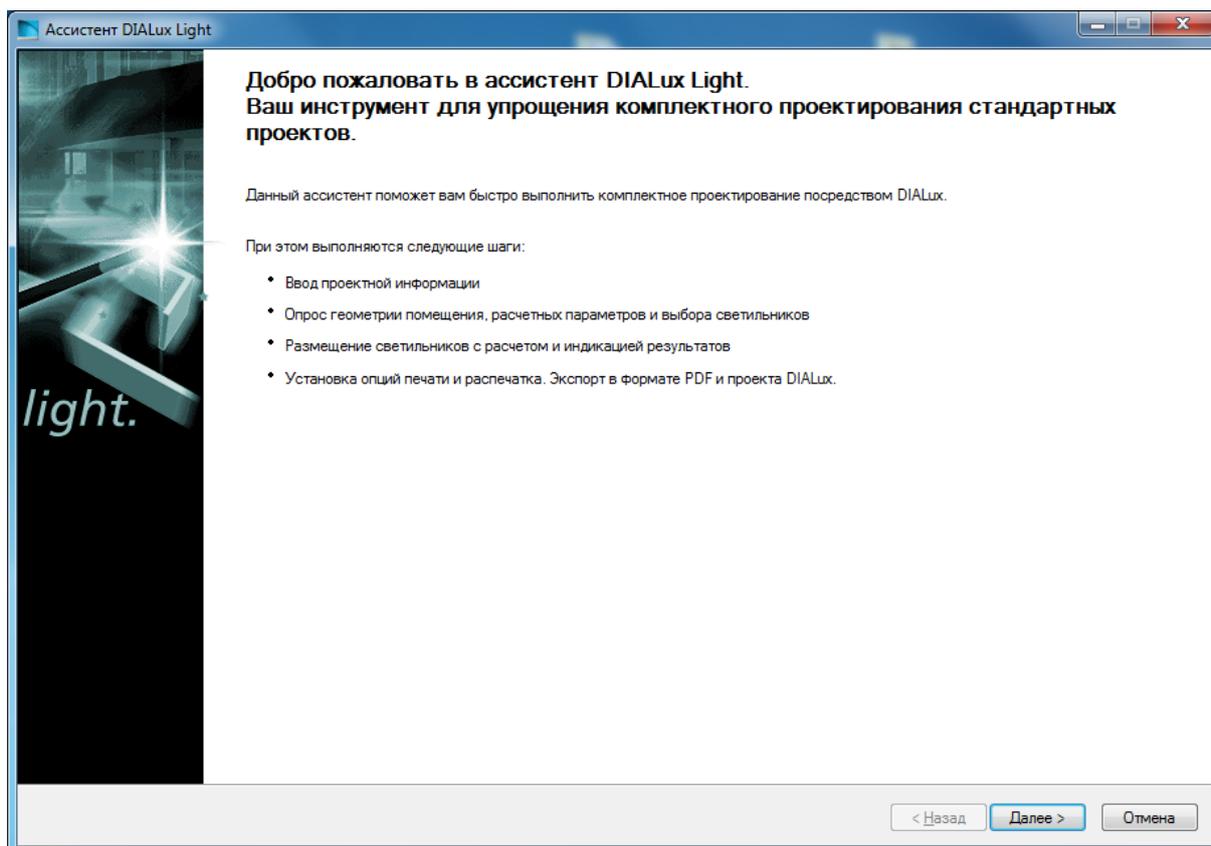


Рисунок 3.1 – Начальное окно Ассистента DIALux Light

Ввод проектной информации. В данном окне необходимо ввести

описательную информацию о проекте: название и назначение помещения, его описание. Данная информация отображено на титульном листе проекта. В правой части окна вводится контактная информация об операторе (авторе проекта), адресе компании, при необходимости загружен её логотип.

Рисунок 3.2 – Проектная информация Ассистента DIALux Light

Ввод данных. Заполняется графа о геометрии помещения, выбираются материалы потолка, стен и пола, определяются коэффициенты отражения материалов. Задаётся коэффициент уменьшения (эксплуатационный коэффициент в европейских нормах) - величина, обратная коэффициенту запаса (в нормативных документах РФ).

Определяется высота расположения рабочей плоскости от пола. Величина краевой зоны определяет расстояние от рабочей зоны, где необходимо обеспечить норму освещенности, до стен.

Из базы данных каталога программы необходимо выбрать тип светильника. Тип лампы, световой поток и потребляемая электрическая мощность светильника определяются автоматически. При первоначальной установке программы, база данных каталога светильников отсутствует. Каталоги светильников необходимо установить или скачать с официального сайта партнёров-производителей.

При выборе варианта монтажа светильника указывается один из

способов: потолочный, встроенный, подвесной. Под пристройкой подразумевается крепление светильника на потолке. При подвесном варианте крепления светильника, лучше выбрать пункт «по определению пользователя», определить длину подвеса (расстояние от потолка до светильника).

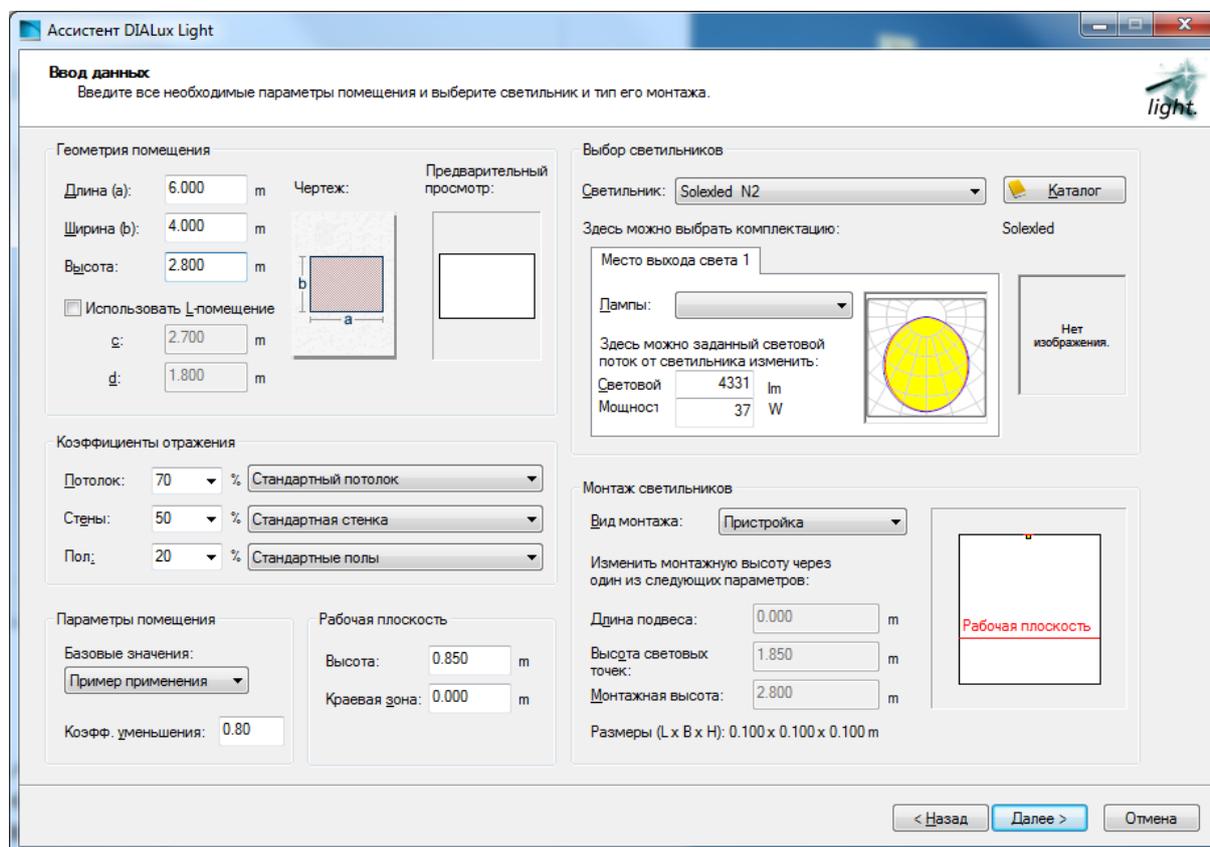


Рисунок 3.3 – Ввод данных Ассистента DIALux Light

Расчёт и результаты. На данном этапе формируется расстановка и определяется необходимое число светильников, для получения заданного уровня освещенности. Можно воспользоваться встроенным алгоритмом, который предлагает определить количество и размещение светильников для планируемого уровня освещенности (кнопка «Предложение»). После определения расстановки и количества светильников необходимо сделать контрольный расчёт освещения (кнопка «Расчитать»). Результаты расчёта выводятся в графическом (изолинии) и табличном виде.

E_{av} [lx] – среднее значение освещенности по всем точкам в пределах рабочей зоны, люкс.

E_{min} [lx] - минимальное значение освещенности по всем точкам, люкс.

E_{max} [lx] - максимальное значение освещенности по всем точкам, люкс.

Отношение E_{min}/E_{av} и E_{min}/E_{max} характеризуют равномерность освещения рабочей зоны на рабочей плоскости.

Нормируемые (допустимые) значения выше приведённых показателей определяются в нормативных документах для установленного разряда зрительной работы, и текущий уровень вычисляемых показателей должен удовлетворять предъявляемым требованиям к светотехническому проекту, с учётом коэффициента запаса (коэффициента уменьшения).

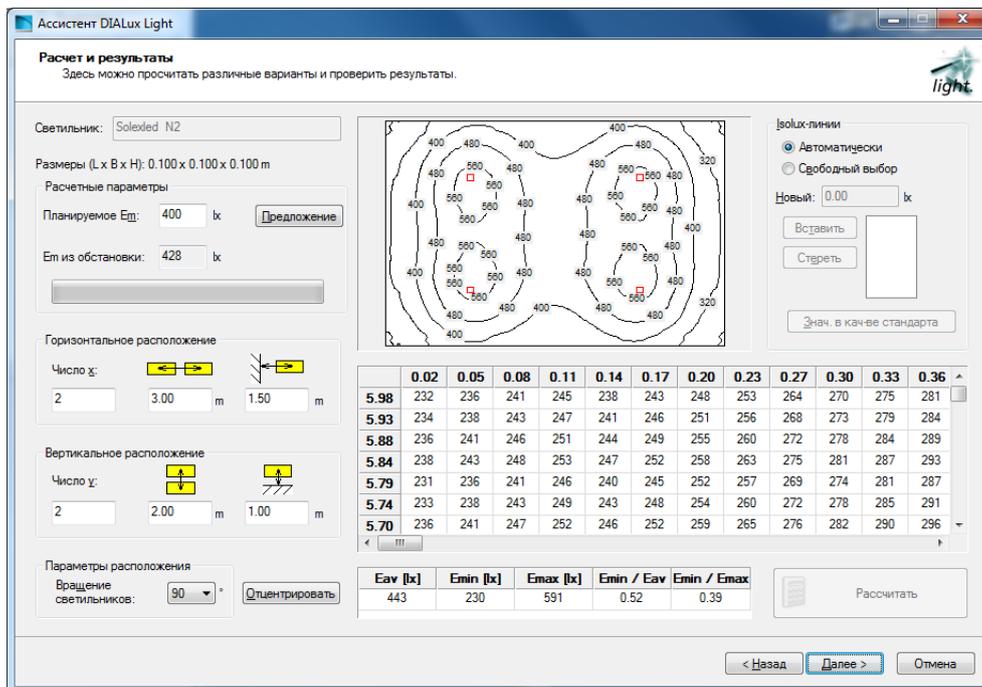
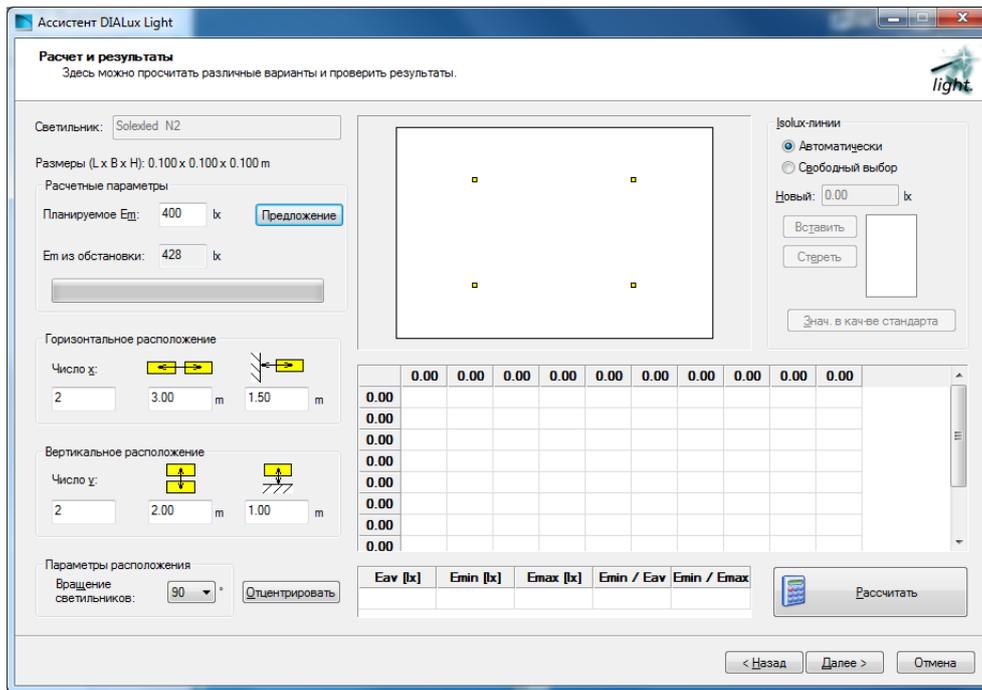


Рисунок 3.4 – Расчёт и результаты Ассистента DIALux Light

Вывести результаты. На завершающем этапе формируется отчёт о светотехническом проекте, результаты расчёта. Доступно несколько форм сохранения отчёта, а также возможность управления содержимым (вывод стандартных разделов светотехнического проекта, вид диаграмм светильника).

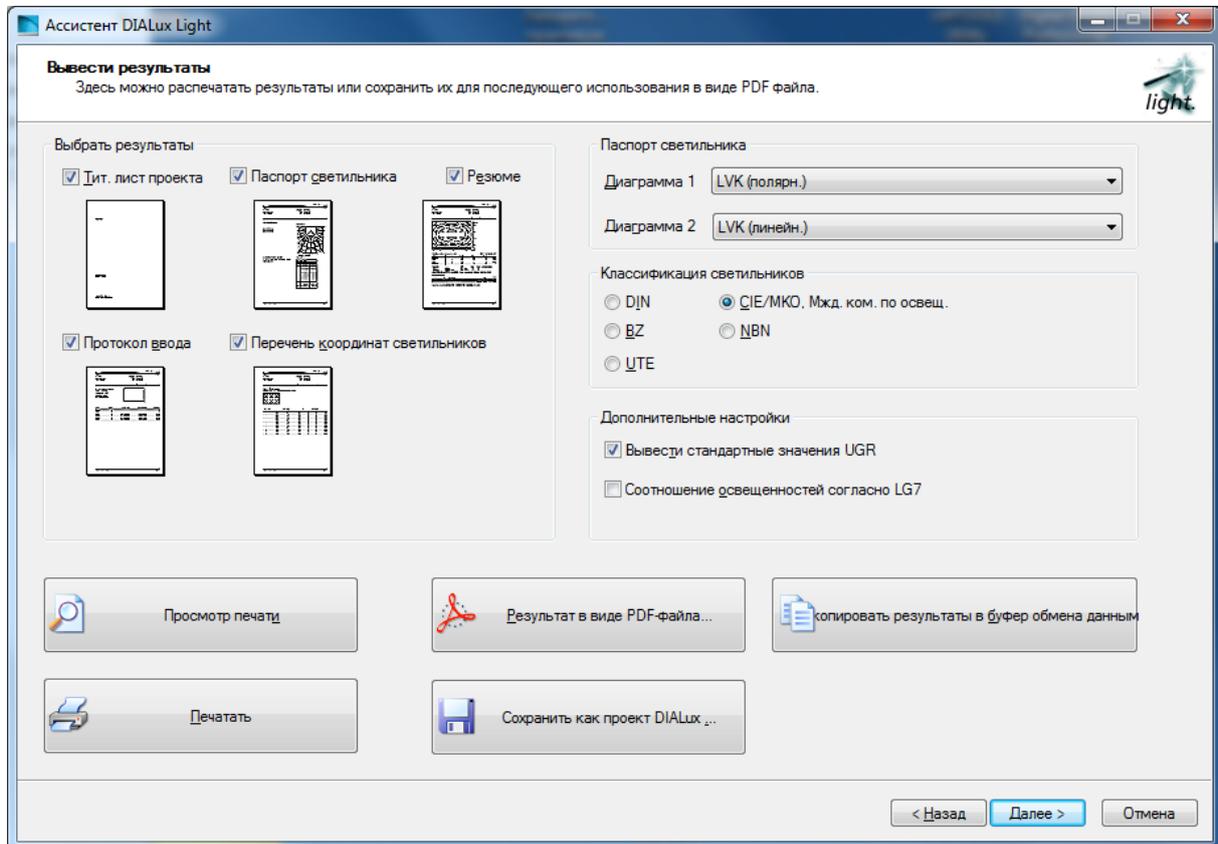


Рисунок 3.5 – Вывод результатов Ассистента DIALux Light

Программа DIALux

Программа DIALux предоставляет более широкие возможности для проектирования и создания сложных светотехнических проектов, в отличие от Ассистента DIALux Light.

При первоначальном запуске, предлагается выбрать один из видов встроенных проектов: один для внутреннего интерьера, и два для наружных сцен освещения. Есть возможность перейти и использовать ассистенты для пошагового создания проекта

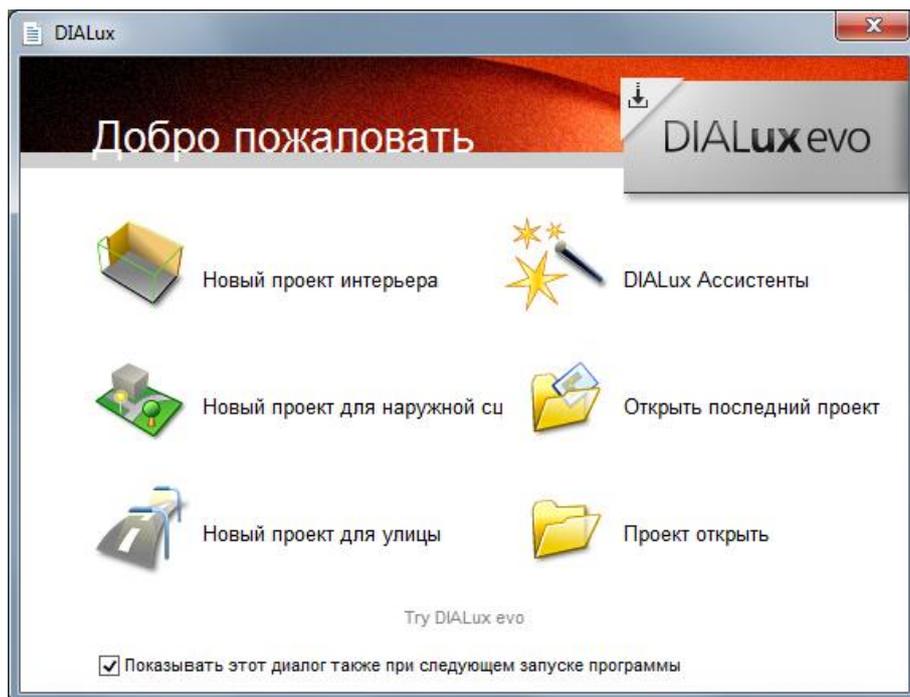


Рисунок 3.6 – Начальное меню DIALux

Рабочая область разделена на три части:

- 1) Менеджер проекта, в котором отображается Дерево проекта,
- 2) Окно для отображения текущего вида сцены (например, 3D вид),
- 3) Проводник, в котором отражаются основные разделы проектирования.

Менеджер проекта предоставляет доступ к содержанию, которое отображается в виде древовидной структуры, и отдельным элементам проекта. При выделении отдельного элемента предоставляется доступ к просмотру и редактированию свойств выбранного объекта. Менеджер проекта включает в себя несколько закладок (листов): Проект, Объекты, Цвета, Выбор светильников, Результаты.

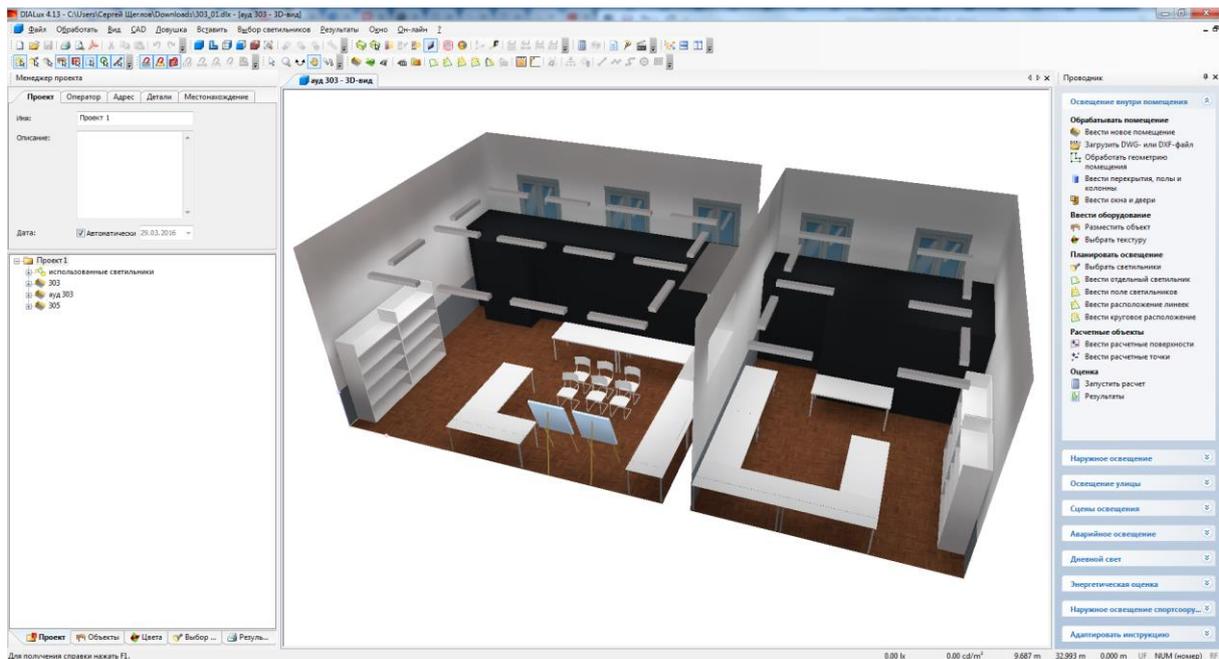


Рисунок 3.7 – Основной интерфейс программы DIALux

Порядок работы над проектом в программе DIALux

1. Задание информации о проекте, выбор коэффициента уменьшения (коэффициента запаса) в Менеджере проекта, вкладка Проект.
2. Построение геометрии, задание размеров (ширина, длина, высота) и форм (прямоугольная, многоугольная) и конфигурации для помещения, внешней сцены, участка дороги в окне CAD. При необходимости, использовать функцию импорта из чертежей в формате DWG или DXF, которые отображаются на Виде в плане.
3. Выбор и наполнение сцены элементами помещения, вкладка Объекты. Можно использовать стандартные элементы, элементы из встроенных библиотек (Furniture), либо импортировать файлы объектов в формате CAD-объектов (*.m3d, *.sat). Стандартные объекты можно объединять или делать вычет одного объекта из другого. При этом использовать инструменты выравнивания и измерительную ленту (линейку).
4. Определение и задание параметров рабочей плоскости, либо добавление дополнительных контрольных точек, расчётных поверхностей или растров. Вкладка Объекты.
5. Определение и задание текстуры, цветов и материалов поверхностей, объектов. При необходимости, возможно скорректировать цвет освещения, вставить цветной светофильтр. Вкладка Цвета.
6. Выбор светильников из каталога (необходимо предварительно установить каталог от выбранного производителя), вставка светильников в проект, используя инструмент групповой либо одиночной вставки светильников. Вкладка Выбор светильников.

Для визуализации направления светильников и их кривых силы света, необходимо использовать инструменты Вспомогательные лучи у светильников, Трехмерное изображение распределения силы света. Меню Вид

7. При необходимости, вставка сцен освещения и элементов управления. Меню Вставить → Элемент управления, Сцена освещения.

8. Запуск расчёта. Меню Результаты → Запустить расчет...

9. Просмотр результатов расчёта, вывод фиктивных цветов. Визуализация проекта в окне САД. Меню Вид.

10. Просмотр и оценка полученных данных. Вкладка Результаты.

11. Формирование отчёта по светотехническому проекту. Выбор и отметка необходимых страниц и разделов, таблиц, данных, видов и графической информации. Вкладка Результаты.

12. Сохранение файла проекта. Меню Файл → Сохранить, или Сохранить как...

13. Сохранение файла отчёта (результатов расчёта). Меню Файл → Экспортировать → Сохранить результаты в формате PDF...

14. При необходимости, можно сформировать дополнительный вид или изображение САД. Файл → Экспортировать.

15. При необходимости, возможно создать видеоролик перемещения камеры по объекту, создав траекторию движения камеры. Файл → Экспортировать → 3D видеодокумент сохранить...

Порядок выполнения работы

1. В соответствии с выбранным вариантом задания определить конструктивные параметры и особенности, а также планировку объекта освещения.

2. Выбрать вид и систему освещения (общее или комбинированное освещение). Определить возможные места и способ установки осветительных приборов на объекте.

3. Установить нормы и правила установки осветительных устройств, обеспечивающих требуемые в процессе эксплуатации уровни количественных и качественных показателей для выбранного объекта. Нормы и правила, используемые на территории РФ, приведены в Своде Правил (СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*»), Санитарных Правилах и Нормах (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-2003 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий», СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-2010 «Изменения и дополнения N 1 к санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-2003 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий») и ГОСТах.

4. Определить рабочие места и зоны контроля параметров освещённости.
5. С учётом рекомендаций, содержащихся в нормативных документах, провести выбор типа источников света для осветительных приборов.
6. Подобрать по каталогам источники света и осветительные приборы для своего проекта.
7. Определить место вставки, вид монтажа, позицию, угол наклона с учётом светотехнических параметров светильников.
8. Установить каталоги светильников для программы DIALux в виде отдельных приложений или plug-in, либо скачать отдельные файлы (архив файлов) светильников в формате *.IES или *.LDT.
9. В программе DIALux, построить геометрию объекта (помещения, участка дороги, площади, открытой территории).
10. В программе DIALux, выбрать и построить необходимые по проекту элементы, объекты и сцены освещения. Определить рабочие области, расчетные поверхности и расчетные точки.
11. В программе DIALux, задать цвета и текстуры поверхностей, определить материалы, коэффициенты отражения.
12. В программе DIALux, выбрать из установленного каталога, либо из имеющихся файлов формата *.IES или *.LDT светильники и вставить в проект.
13. В программе DIALux, при необходимости, отредактировать местоположение по проекту, параметры и количество светильников.
14. В программе DIALux, запустить расчет светотехнических параметров.
15. В программе DIALux, определить соответствия текущего уровня освещенности или яркости, неравномерности распределения с требуемыми значениями из нормативных документов.
16. При несоответствии расчётных параметров требуемым, выполнить пункты 13, 14, 15.
17. В программе DIALux, сформировать отчёт, указать необходимые страницы и заполнить информацию о проекте, сделать выводы.
18. В программе DIALux, сохранить отчёт в виде отдельного файла в формате PDF, либо распечатать документ.

Варианты заданий

1. Магазин товаров
2. Супермаркет
3. Учебный кабинет, учебная аудитория
4. Участок автомобильной дороги
5. Перекресток автомобильных дорог

6. Пешеходный переход
7. Участок парка (открытая озеленённая территория для отдыха)
8. Городская площадь
9. Медицинский кабинет
10. Коридор общественного здания
11. Компьютерный класс
12. Спортивный зал
13. Домашняя комната
14. Гостиная
15. Помещение кафе
16. Ванная комната
17. Складское помещение
18. Подъезд/парадная с лестницами и квартирной площадкой трёхэтажного дома
19. Арена цирка
20. Внутренний двор корпуса Университета (пер. Гривцова 14-16 лит. А)
21. Архитектурная подсветка здания Университета (пер. Гривцова 14-16 лит. А)
22. Футбольное поле
23. Производственный цех (машиностроение)
24. Помещение детского сада
25. Памятник (монумент)

Обработка результатов

Отчёт по светотехническому проекту:

1. Должен быть оформлен в виде пояснительной записки с указанием требований нормативной документации по уровню количественных и качественных показателей проектируемого освещения объекта.
2. Должен содержать чертежи или схемы выбранного объекта, с указанием мест расположения и координат световых приборов.
3. Необходимо включить в состав отчёта результаты светотехнических расчётов с указанием типа, марки, количество световых приборов, общей потребляемой мощности.
4. Должен содержать трёхмерный вид объекта с распределением освещенности или яркости.
5. В состав отчёта необходимо включить предварительную оценку стоимости проекта.

Контрольные вопросы

1. Приведите основные светотехнические параметры светильника.
2. Дайте определение освещенности. Приведите формулы для расчёта и единицу измерения.
3. Дайте определение КСС. Что она определяет, и для чего используется?
4. Приведите основные возможности программы DIALux. Для чего её можно использовать?
5. Как задаётся модель светильника в формате IES или LDT для использования в программах светотехнических расчётов и моделирования?
6. Какие требования и какими документами устанавливаются для освещения помещений и наружных объектов?

Список литературы

1. ГОСТ Р 55706-2013. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
2. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
3. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*– Введ. 2017-05-08. – М.: Минстрой России, 2016. – 106 с.
4. Сайт компании Dial, описание программы DIALux [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.dial.de/de/dialux/>.
5. Учебник по Dialux [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.dialux-help.ru/uchebnik/soderzhanie.html>.

Лабораторная работа № 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В ПРОГРАММЕ ZEMAX.

Цель работы: задать с помощью программы оптического моделирования Zemax модель источника излучения и проконтролировать основные параметры излучения.

Основные теоретические положения

Программа оптического моделирования Zemax является одной из самых популярных программ для автоматизации проектирования оптических систем. Особенностью программы является то, что в ней совмещены алгоритмы и средства анализа последовательного и непоследовательного расчета лучей.

Zemax содержит значительную базу данных по характеристикам различных видов стекол, способен рассчитать сложную оптическую систему из линз, зеркал, интерференционных и абсорбционных светофильтров и прочих элементов. В программе реализовано отображение хода лучей в подобных системах, наглядно изображается поведение лучей в различных участках спектра, определяются потери при преобразовании света и множество других параметров.

Программа Zemax позволяет провести оптическое моделирование и произвести энергетический расчёт распространения оптической энергии путём трассировки множества лучей, дошедшей от источника излучения до приёмника напрямую, и через оптические элементы (например, линзы), в зависимости от расстояний между источником и приёмником, взаимного расположения оптических элементов и их габаритов.

В программе Zemax можно получить величину оптической мощности, приходящейся на приёмную область приёмника. Приёмники, используемые в программе, позволяют регистрировать и выводить не только общую энергию (в световых или энергетических величинах), приходящуюся на приёмную площадку заданных размеров, но и также распределение оптической мощности или светового потока по площади приёмной площадки, пространственное распределение силы излучения или силы света.

Для моделирования источника излучения, необходимо определить его входные параметры:

а) Физический размер излучающей области, которая определяет площадь излучения;

б) Направление распространения излучения, кривая силы света, диаграмма излучения, которая определяет пространственное распределение энергии;

- в) Спектр излучения, который определяющий цвет излучения;
- г) Оптическую мощность излучения, световой поток или осевую силу света, определяющее количество излучаемой энергии.

В программе Zemax для моделирования источников излучения применяются встроенные объекты, модели которых описывают параметры излучения источника.

Модель источника типа Source Ellipse представляет собой плоский источник эллиптической или круглой формы, который испускает лучи с одной стороны поверхности.

Распределение силы света пропорционально косинусу угла излучения определяется следующим выражением:

$$I(\theta) = I_0(\cos\theta)^{Cn} \quad (4.1)$$

где степень Cn при косинусе угла излучения θ должна быть в диапазоне от 0 до 100. Чем больше степень Cn тем меньше угол излучения. Распределение силы света при таком задании является вращательно-симметричным относительно локальной оси Z .

Другим способом задания диаграммы излучения для данной модели источника является распределение силы света по закону Гаусса, которое определяется следующим выражением:

$$I(l, m) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)} \quad (4.2)$$

где l и m это направляющие косинусы в направлениях оси X и Y , а G_x и G_y – постоянные коэффициенты. Чем больше G_x и G_y , тем более узкое распределение становится в соответствующих направлениях.

Источник типа Source Rectangle представляет собой излучающую плоскую прямоугольной формы площадку, излучающую лучи с одной стороны площадки, в одну полусферу. Распределение силы света определяется теми же выражениями, что и у источника типа Source Ellipse.

Источник типа Source Radial представляет собой излучающую плоскую, прямоугольную или эллиптической формы площадку, излучающую лучи с одной стороны площадки, в одну область пространства. Распределение интенсивности (силы света или силы излучения) в этой полусфере является симметричным относительно оси z , и задаётся напрямую распределением интенсивности (силы света или силы излучения) по угловым координатам. Число точек разбиения может быть любым целым числом от 5 до 181 включительно. Угловой диапазон равномерно распределяется между указанным числом точек. Данные для каждой точки - это относительная интенсивность (сила света или сила излучения), измеренная в дальнем поле источника под углом, соответствующим этой точке.

Источник излучения типа Source EULUMDAT File определяется измеренными фотометрическими данными для реальных источников

излучения, должным образом отформатированными и сформированными в файле формата EULUMDAT. Расширение файла должно быть *.LDT, и файл должен быть помещен в специальную директорию программы Zemax, путь которому <data> \ Objects \ Sources \ EULUMDAT.

Источник излучения типа Source IESNA File определяется измеренными данными фотометрическими данными для реальных источников излучения, должным образом отформатированными и сформированными в файле в соответствии со стандартным форматом файлов Illumination Engineering of North America (IESNA) для электронного переноса фотометрических данных (IESNA91, IESNA LM-63-95 или IESNA LM-63-02). Расширение файла должно быть представлено в формате *.IES, и файл должен быть помещен в папку <objects> \ Sources \ IESNA.

Файлы формата *.LDT и *.IES обычно сами уже содержат данные полного потока источника, однако, чтобы оставаться в соответствии с другими исходными моделями в программе Zemax, общий поток источника является параметром, определяемым пользователем.

Источник излучения типа Source File задаётся файлом, в котором описаны координаты выхода луча, направляющие косинусы и интенсивность каждого луча. Имя (название) файла, содержащего данные о лучах, для конкретного источника излучения, должно быть размещено в столбце комментария объекта в редакторе NSC объектов программы Zemax. Расширение файла может быть либо *.DAT, либо *.SDF, и файл должен быть помещен в специальную директорию программы, в папку <data> \ Objects \ Sources \ Source Files. Формат файлов может быть текстовым или двоичным, с открытым или закрытым кодом.

Заданным таким образом источник излучения считается наиболее приближенным по точности моделирования к исходному источнику, так как повторяет тонкую структуру и воспроизводит неравномерность распределения энергии по самой излучающей структуре.

Файлы *.LDT, *.IES, *.DAT обычно могут быть предоставлены производителями источников излучения (рисунок 4.1), скачаны с официального сайта соответствующего раздела, либо получены непосредственно в измерительных центрах или лабораториях.

Для моделирования приёмников излучения в программе Zemax может быть использован объект типа Detector Rectangle, который представляет собой плоский прямоугольный детектор с произвольным количеством пикселей. Этот детектор имеет возможность отображать и записывать данные об излучении некогерентного и когерентного вида, функцию распределения энергии в линейной и угловой мере, состояние поляризации и другие данные. Этот вид детектора является наиболее универсальным и полным, с точки зрения анализа параметров.

Golden DRAGON® Plus, LT W5AM

Golden DRAGON® Plus, LT W5AM
This Golden DRAGON® family member allows the design of small size high brightness light sources, while meeting highest lifetime requirements.

Ordering codes / Downloads

Status	Product Type	Description	Order No.
+	LT W5AM-42L-V-36	= 97.00 ... 150.00 lm (h = 350 mA)	Q6511A1385
+	LT W5AM-4KVC-35-2	= 82.00 ... 112.00 lm (h = 350 mA)	Q6511048677

Datasheet
Application note
Optical simulation
CAD files

Filename	Size	Date
CAD_LM_W5AM_20170726.zip	204 KB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_ASAP.zip	218.5 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_ASIC.zip	264.5 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_BUGFIX.zip	233 KB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_IE5.zip	235 KB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_IE5_TH425.zip	997.1 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_LightTools.zip	218.6 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_LucidShape.zip	218.5 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_OSAM.zip	221.6 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_Photoshop.zip	218.5 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_Simulation.zip	218.5 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_Spin.zip	255.9 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_ThermalLibrary.zip	218.5 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_TracePro.zip	264.5 MB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_TTB.zip	1.7 GB	27.7.2017
myfite_lm_w5am_20170726_Zemax.zip	218.5 MB	27.7.2017

XLamp XP-G3
Next Generation of XP-G Platform

The XLamp® XP-G3 LED is the highest efficacy and most reliable LED in the XP-G platform. Incorporating elements of Cree's **SCS Technology** Platform, the XP-G3 LED delivers both high reliability at high operating temperatures and high efficacy to meet the higher efficacy and lumen maintenance requirements of DLC classification. Optimized for directional, high-lumen applications, from indoor and outdoor to portable and lamp retrofit, the XP-G3 LED delivers the benefits of the XP-G platform – compact and proven 3.45 mm x 3.45 mm package and established ecosystem, enabling customers to simplify the design process and shorten time to market.

Application: Directional Downlights, Low- & High-Bay Roadway & Parking, Horticulture, Consumer Portable, High-End Portable

Data Sheets: XP-G3 Data and Binning & Labeling

Specifications	Version	Last Updated
XP-G3 Data and Binning & Labeling	1F	24 Apr 2018
XLamp Color LEDs		22 Apr 2016
XLamp LEDs for Directional Lighting		10 Jan 2018
XLamp LEDs for horticulture lighting	2	10 Apr 2017

Specifications	Version	Last Updated
XP-G3 3D Model - STEP (stp) (34 KB)		
XP-G3 Optical Source Model - ASAP (zip) (25 MB)		
XP-G3 Optical Source Model - FRED (zip) (25 MB)		
XP-G3 Optical Source Model - IE5 (zip) (137 KB)		
XP-G3 Optical Source Model - LightTools (zip) (25 MB)		
XP-G3 Optical Source Model - LUCID (zip) (25 MB)		
XP-G3 Optical Source Model - OPTIS (zip) (26 MB)		
XP-G3 Optical Source Model - ProSource 8 (zip) (619 MB)		
XP-G3 Optical Source Model - TracePro (zip) (25 MB)		
XP-G3 Optical Source Model - ZEMAX (zip) (25 MB)		

Рисунок 4.1 – Информация о лучевых моделях светодиодов на сайте производителей

Порядок выполнения работы

1. По заданию преподавателя выбрать источник света – светоизлучающий диод, представленный на сайте одного из крупнейших производителей:

- а) Компании Cree, Inc: <http://www.cree.com>
- б) Компании Osram Opto Semiconductors: <http://www.osram-os.com/>

2. Ознакомиться техническими характеристиками выбранного светодиода, скачать спецификацию (DataSheet) на выбранную модель.

3. Определить по спецификации (DataSheet):
- рабочие электрические характеристики – рабочий ток I_f , [mA], напряжение при подключении в прямом направлении U_f [V], потребляемую электрическую мощность $P_f = I_f * U_f$ [W];
 - значение светового потока Φ_v [lm] из предлагаемой группы;
 - спектр излучения и спектральные параметры излучения λ_{max} [nm], λ_{min} [nm], λ_d [nm], λ_p [nm], CCT [K];
 - кривую силы света (англ. Typic Spatial Distribution) для одной или нескольких плоскостей;
 - конструкцию (состав) изделия, габаритные размеры.
4. Задать с помощью программы Zemax в непоследовательном режиме модель выбранного источника излучения двумя способами:
- а) с использованием встроенного объекта в программе - источника излучения типа SourceRadial;
 - б) с использованием RayFiles – моделями (Optical Source Model), полученными с сайта производителя светодиодов.
5. Запустить программу Zemax. Перейти в режим непоследовательной трассировки луча (Non-Sequential Mode).



Рисунок 4.2 – Переход в режим непоследовательной трассировки луча (Non-Sequential Mode) в программе Zemax

- б. Установить тип используемых линейных и единиц измерения световых или энергетических величин. Меню System → General.

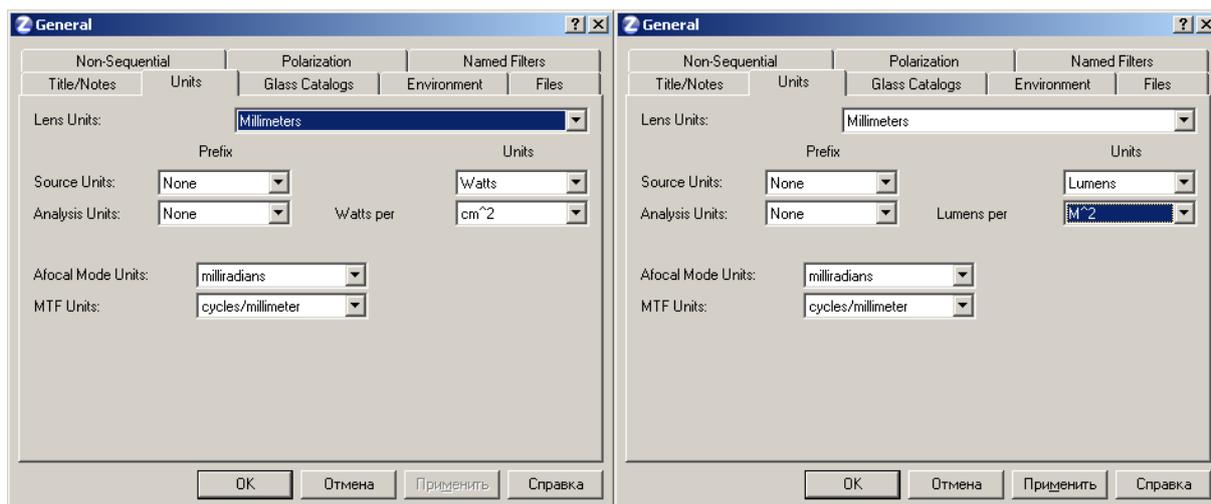


Рисунок 4.3 – Установка системных единиц в программе Zemax

7. Установить одну или несколько длин волн излучения источника. Меню System → Wavelengths. Использовать данные из спецификации (DataSheet) выбранного источника света.

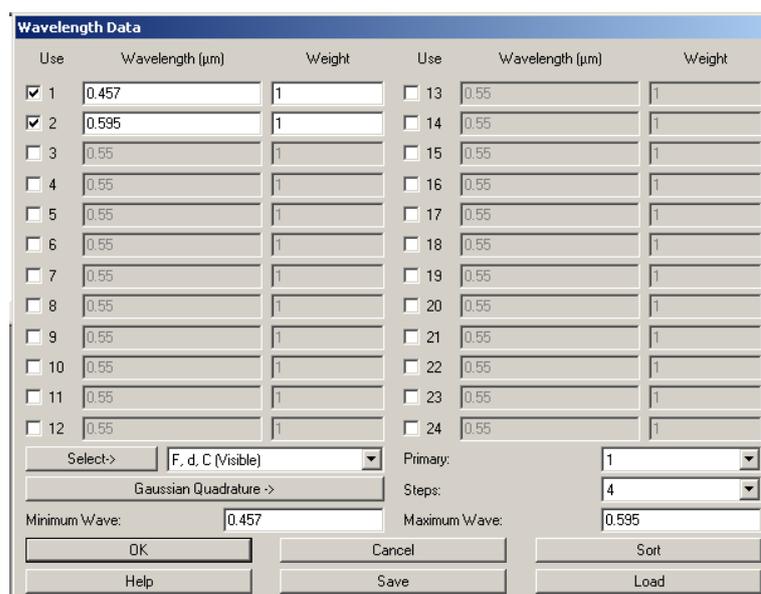


Рисунок 4.4 – Установка значений длины волны излучения источника в программе Zemax

8. Для задания модели выбранного источника излучения первым способом - с использованием встроенного объекта в программе - источника излучения типа Source Radial.

В редакторе непоследовательных компонентов (Non-Sequential Component Editor), создать новый объект - источник типа Source Radial.

Положения объектов по умолчанию определяются в абсолютной

системе координат. Положение в пространстве для каждого объекта задается с помощью трех пространственных координат (X position, Y position, Z position) и поворотов вокруг трех координатных осей (Tilt About X, Tilt About Y, Tilt About Z).

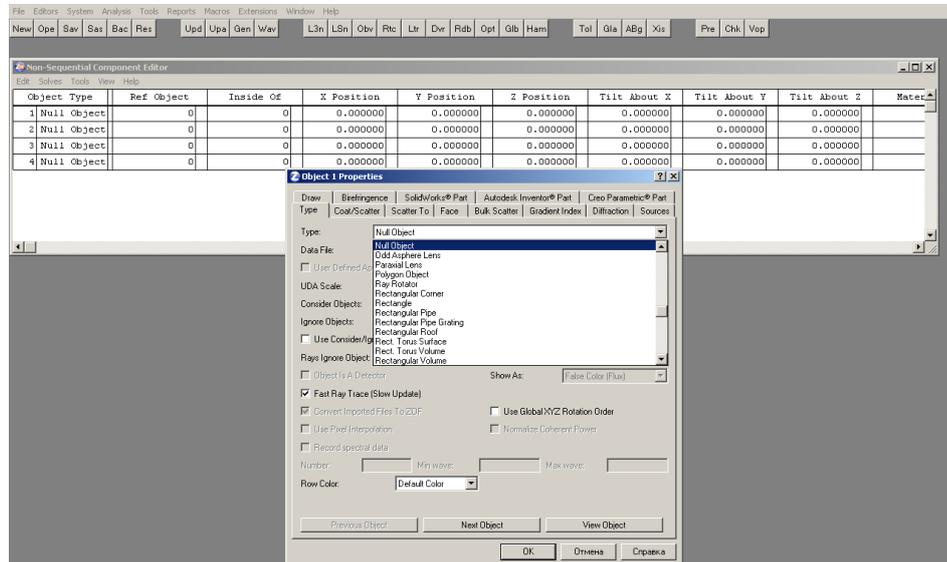


Рисунок 4.5 – Вставка встроенных объектов в программе Zemax

В редакторе непоследовательных компонентов (NSC Editor), для источника типа Source Radial задать количество лучей для отображения (от 10 до 20), количество лучей для расчёта (500 000 - 1 000 000), значение светового потока или оптической мощности, исходя из спецификации (DataSheet) выбранного источника излучения. Определить и задать геометрические размеры излучающей области. Задать распределение силы света или силы излучения источника по точкам, предварительно обработав графические данные из спецификации (DataSheet) выбранного источника излучения.

Таблица 4.1 – Параметры для задания источника типа Source Radial

Параметр	Описание
1	# Layout Rays: Количество лучей для отображения в окне просмотра.
2	# Analysis Rays: Количество лучей для расчёта в программе.
3	Power (units): Полная энергия излучения, выраженная либо в единицах оптическая мощность, либо в единицах светового потока.

Продолжение таблицы 4.1 – Параметры для задания источника типа Source Radial

4	Wavenumber: При значении, равном 0 производит расчёт (трассировку лучей) всех длин волн, заданных в редакторе длин волн. Для значений, отличных от 0, производит расчёт (трассировку лучей) для выбранной длины волны в редакторе длин волн.
5	Color #: Определяет условный цвет источника излучения для отображения в окне просмотра.
6	X Half Width: Половина ширины по направлению X в линейных единицах. Если значение меньше нуля, излучающая область будет эллиптической.
7	Y Half Width: Половина ширины по направлению Y в линейных единицах. Если меньше нуля, излучающая область будет эллиптической.
8	Minimum Angle in degrees. Минимальный угол в градусах. Значение должно быть от 0,0 до 89,9.
9	Maximum Angle in degrees. Максимальный угол в градусах. Значение должно быть между плюс 0,1 и 90.
10	Число точек, должно быть от 5 до 181 включительно.
11	Численные данные силы света или силы излучения в относительных единицах для каждого угла излучения, считая от нормали.

9. В редакторе непоследовательных компонентов (NSC Editor), создать новый объект – детектор типа Detector Rectangle. Определить геометрические размеры детектора (должны многократно превышать размер источника излучения), количество пикселей, местоположение относительно источника излучения.

Таблица 4.2 – Параметры для задания приёмника типа Detector Rectangle

Параметр	Описание
1	X Half Width: Ширина в направлении X, в линейной мере.
2	Y Half Width: Ширина в направлении Y, в линейной мере.
3	# X Pixels: Число пикселей в направлении X. Максимальное число 5000.
4	# Y Pixels: Число пикселей в направлении Y. Максимальное число 5000.

Продолжение таблицы 4.2 – Параметры для задания приёмника типа Detector Rectangle

5	Data type: Тип выводимых данных. 0 – освещенность для некогерентного излучения, 1 освещенность для когерентного излучения, 2 распределение фазы для когерентного излучения, 3 угловая интенсивность излучения (сила света или сила излучения), 4 светимость в пространственном распределении, 5 светимость в угловом пространстве.
6	Color: Цвет отображения данных. Если выбран 0 – серые цвета, 1 инверсия серых цветов, 2 фазовые цвета, 3 инверсия фазовых цветов.
7	Smoothing: Параметр сглаживания диаграмм.
8	Scale: Масштаб, при значении 0 - линейный, 1 логарифмический log -5, 2 логарифмический log -10, и 3 логарифмический log -15.
9	Plot Scale: Масштаб графика.
10	Front Only. Только с прямого направления. Если значение 0, то лучи могут проходить через детектор с передней или с задней стороны. Если это значение равно 1, лучи, идущие с обратной (задней) стороны, будут игнорироваться и будут проходить через детектор. «Обратная» сторона - это сторона, обращенная к положительной локальной оси z.
11	PSF Mode Wavenumber. Волновое число режима PSF.
12-15	Минимальные и максимальные углы направления по осям x и y в градусах. Эти настройки используются для управления чувствительностью детектора к лучам, падающим на детектор под углом при отображении интенсивности или светимости в угловом пространстве. Значение по умолчанию - от -90,0 градусов до +90,0 градусов в направлениях x и y, что позволяет отображать угловые данные для всех лучей, прошедших через детектор. Если угловой диапазон установлен для покрытия подмножества возможных углов падения, лучи, которые проходят через детектор под углами вне определенного диапазона, игнорируются только для интенсивности излучения и светимости в графиках углового пространства.
16	Polarization: Поляризация. Если значение 0, детектор игнорирует поляризацию падающих лучей и рассматривает все падающие лучи.
17	Mirroring: Зеркальная симметрия. Позволяет детектору использовать симметрию в падающих лучах.

10. Для запуска меню трассировки (расчёта хода) лучей выбрать пункт Analysis → Ray Tracing → Ray Trace...

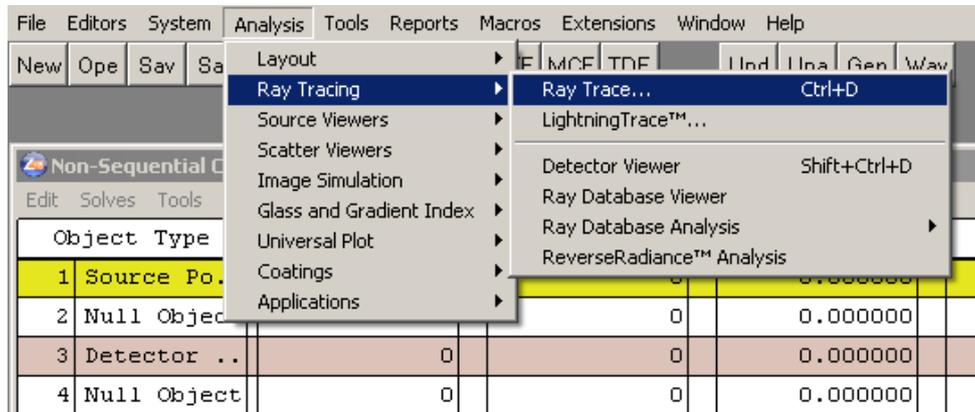


Рисунок 4.6 – Запуск меню трассировки (расчёта хода) лучей в программе Zemax

11. В появившемся окне, установить флаг Ignore Errors, затем запустить трассировку лучей, нажав кнопку Clear&Trace.

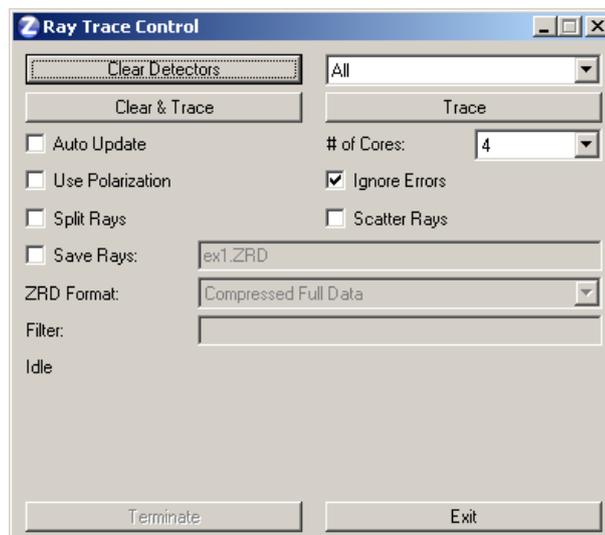


Рисунок 4.7 – Запуск трассировки (расчёта хода) лучей в программе Zemax

12. Вывести на просмотр данные трассировки лучей, прошедших через приёмную площадку приёмника Detector Rectangle. Меню Analysis → Ray Tracing → Detector Viewer.

Для вывода графика распределения силы света или силы излучения в окне Detector Viewer на приёмнике Detector Rectangle (одного из сечений двумерной картины распределения, показанной на рисунке 4.8), необходимо установить следующие значения из пункта меню Settings:

Show As: Cross section of rows/ columns

Show Data: Radiant Intensity

Для вывода значений распределения силы света или силы излучения в текстовом виде необходимо использовать меню Text в окне Detector Viewer.

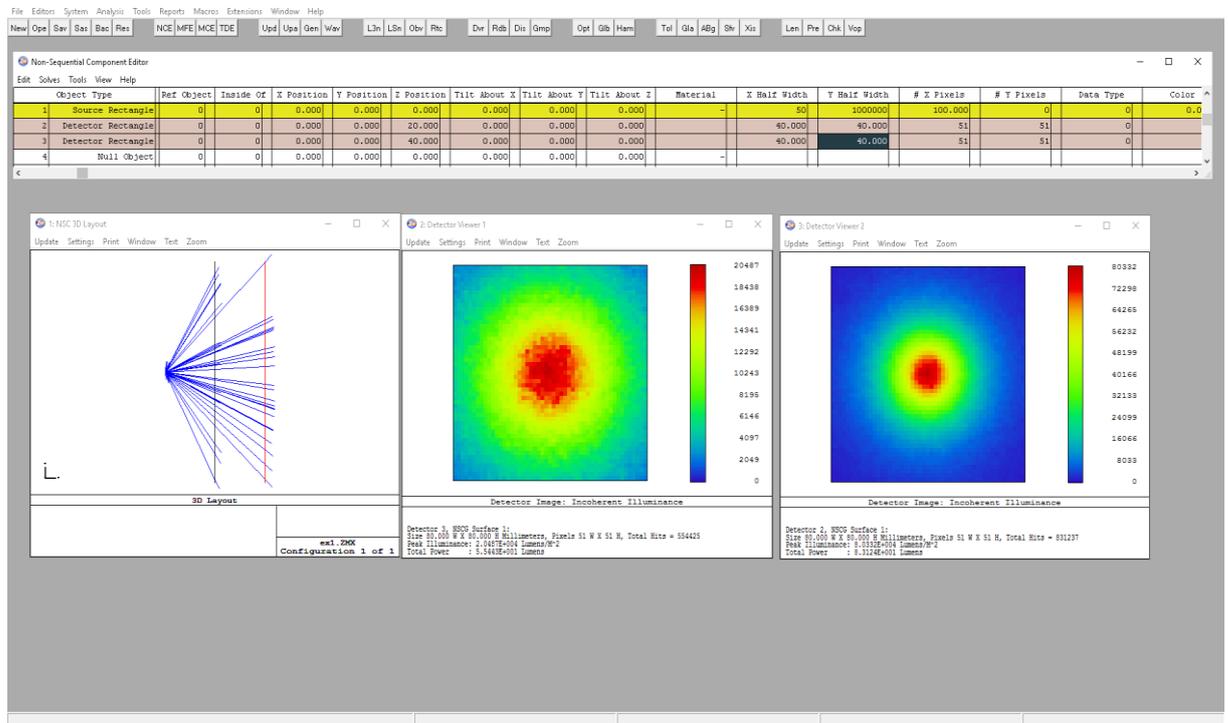


Рисунок 4.8 – Вывод данных трассировки лучей от источника излучения на приёмник Detector Rectangle в программе Zemax

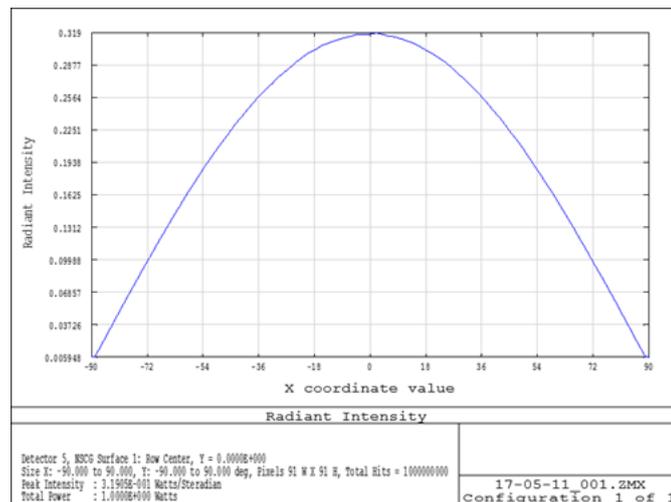


Рисунок 4.9 – Вывода графика распределения силы излучения в окне Detector Viewer на приёмнике Detector Rectangle в программе Zemax

13. Провести верификацию лучевой модели источника излучения путём сравнения полученных данных в результате расчёта хода лучей в программе Zemax модели источника с данными из спецификации:

а) Распределение силы света или силы излучения по данным Detector Viewer на приёмнике Detector Rectangle.

б) Значение светового потока или оптической мощности излучения по данным Detector Viewer на приёмнике Detector Rectangle (значение показателя Total Power).

14. Для задания модели выбранного источника излучения вторым способом с использованием RayFiles – моделями (Optical Source Model), полученными с сайта производителя светодиодов.

На сайтах производителей светодиодов скачать CAD модель корпуса и лучевую модель источника излучения для использования в программе Zemax (рисунок 4.10).

Файл формата *.DAT содержит данные о лучевой модели источника излучения. Данный файл поместить в рабочую папку программы (...Zemax/Objects/Sources/Source files).

Файл формата *.STEP содержит данные о трёхмерной конструкции и габаритных размерах источника излучения. Данный файл поместить в рабочую папку программы (...Zemax/Objects/CAD Files).

15. В редакторе непоследовательных компонентов (NSC Editor), создать новый объект Imported или CAD Patr, выбрать задаваемую CAD модель из выпадающего списка с названием файла *.STEP.

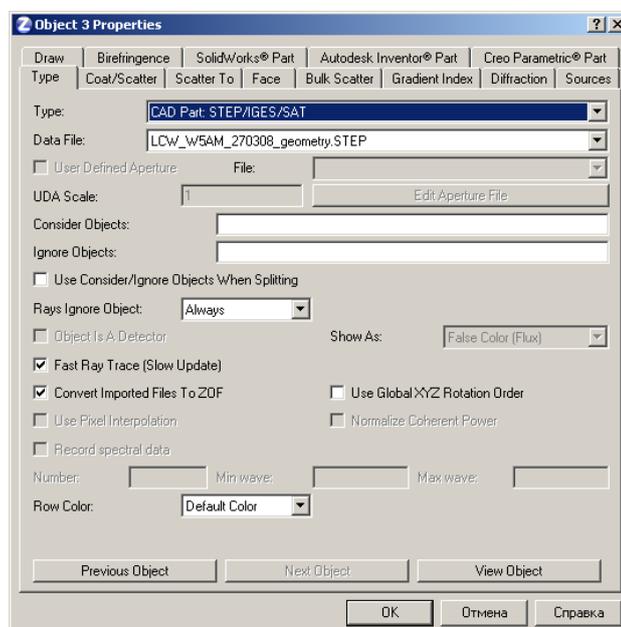


Рисунок 4.10 – Задание объекта – CAD модели

16. В редакторе непоследовательных компонентов (NSC Editor), создать новый объект - источник типа Source File.

Для источника типа Source File выбрать задаваемый источник излучения из выпадающего списка с названием файла *.DAT.

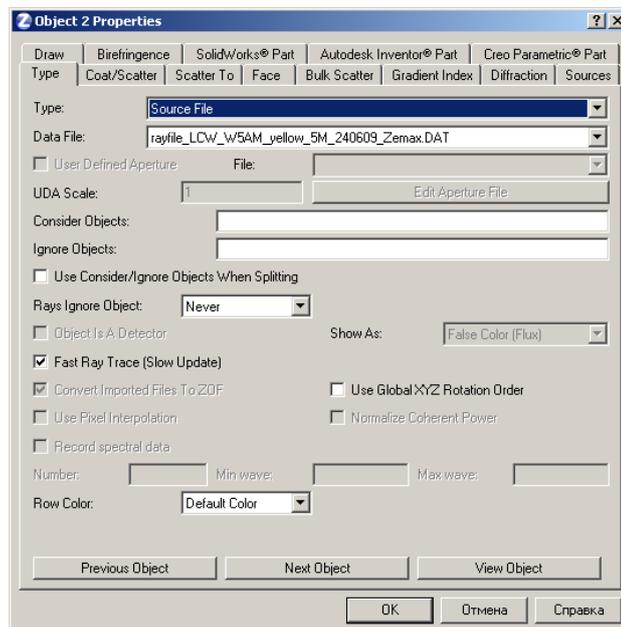


Рисунок 4.11 – Задание объекта - источника типа Source File

Для источника типа Source File задать необходимое количество лучей для отображения (от 10 до 20), количество лучей для расчёта определяется в названии файла (например, на рисунке 4.11, обозначение в названии 5M – пять миллионов лучей), определить значение светового потока или оптической мощности, исходя из спецификации (DataSheet) выбранного источника излучения.

В редакторе непоследовательных компонентов (NSC Editor), для объекта типа Source File необходимо указать признак того, что один объект (источник Source File) находится внутри другого (CAD объект). В столбце Inside of необходимо указать номер объекта, в котором задан CAD объект (геометрическая модель в формате *.STEP).

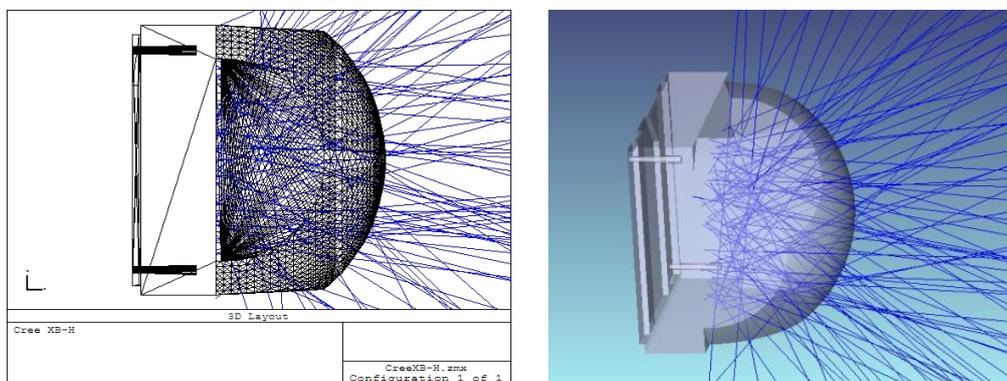


Рисунок 4.12 – Лучевая и CAD модель светодиода

Для того, чтобы вывести лучевую и CAD модели для отображения в программе, необходимо в верхнем меню выбрать кнопку «L3n» или «LSn» и открыть окно «NSC 3D layout» или, «NSC shaded model». Можно так же воспользоваться меню Analysis.

17. Для данной модели источника излучения, вставить приёмник излучения, провести трассировку и последующий анализ данных, аналогично пунктам с 9 по 13.

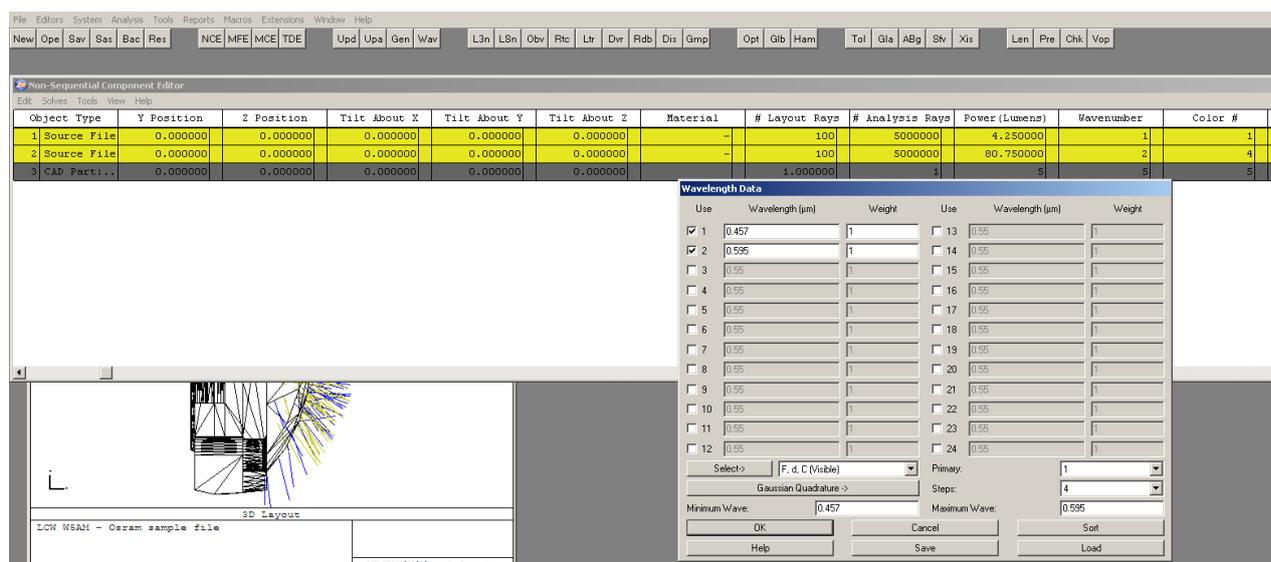


Рисунок 4.13 – Задание лучевой и CAD модели светодиода в программе Zemax

Обработка результатов

В состав отчёта необходимо включить:

1. Описание выбранного источника излучения:
 - внешний вид, конструкция;
 - обозначение / маркировка;
 - рабочие электрические характеристики (рабочий ток I_f , напряжение при подключении в прямом направлении U_f , потребляемую электрическую мощность P_f);
 - значение светового потока Φ_v или оптической мощности излучения Φ_e ;
 - спектральные параметры излучения;
 - распределение силы света или силы излучения для выбранной плоскости или плоскостей;
 - габаритный чертёж.
2. Описание задания модели источника в программе Zemax.

3. Сравнение параметров модели источника, полученной в программе Zemax, с приведенными в спецификации характеристиками выбранного источника излучения:

- светового потока;
- распределение силы света или силы излучения для выбранной плоскости или плоскостей (на одном графике данные с приёмника и снятые со спецификации);
- спектральные характеристики;
- габаритные размеры и конструкция.

4. Расчёт освещённости или энергетической освещённости от выбранного источника на расстоянии 1 метр.

Контрольные вопросы

1. Световые и энергетические параметры источника света – определение, обозначение, формулы, единицы измерения.
2. Спектральные параметры излучения источника - определение, обозначение, формулы, единицы измерения.
3. Задание источника излучения в непоследовательном режиме в программе Zemax, контроль параметров излучения.
4. Основные характеристики светоизлучающих диодов.

Список литературы

1. Zemax. Optical Design Program. User's manual.
2. Сайт компании Cree. Светодиоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.cree.com/led-components/>.
3. Сайт компании Osram Opto Semiconductors. Светодиоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.osram.com/os/products/index.jsp>.

Программируемый источник питания LED300E

Передняя панель

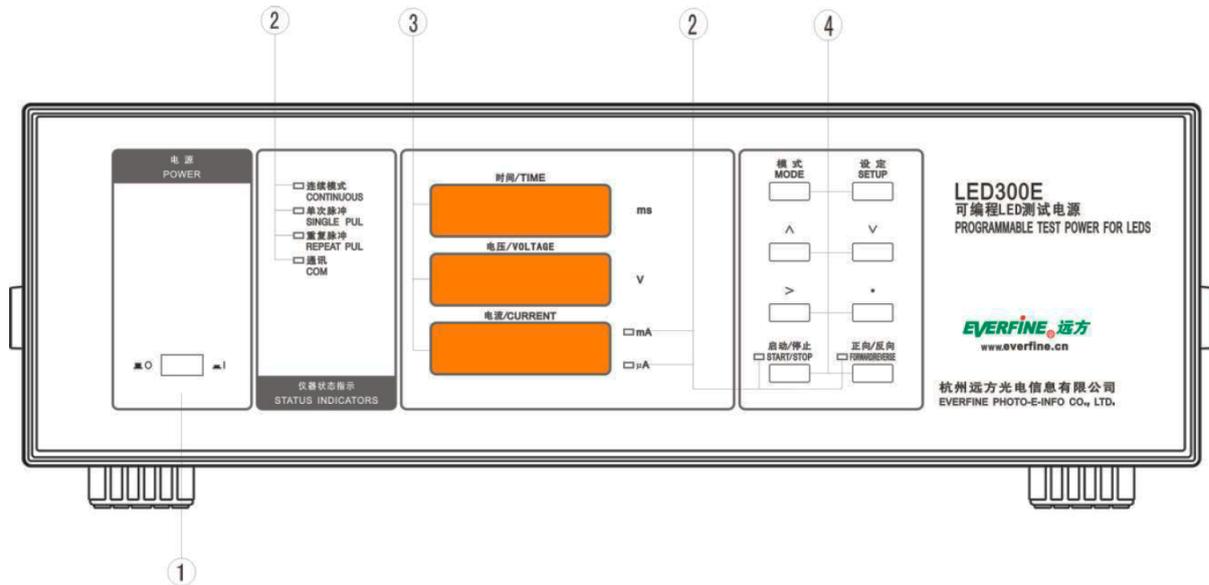


Рисунок 1 – Программируемый источник питания. Передняя панель

1. Выключатель питания: включает и отключает питание.

2. Световой индикатор:

«CONTINUOUS» («НЕПРЕРЫВНЫЙ»): включается для обозначения того, что прибор работает в непрерывном режиме.

«SINGLE PULSE» («МОНОИМПУЛЬСНЫЙ»): включается для обозначения того, что прибор работает в моноимпульсном режиме.

«REPEAT PULSE» («РЕЖИМ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ИМПУЛЬСОВ»): включается для обозначения того, что прибор работает в режиме повторяющегося импульса.

«COM» («КОММУНИКАЦИЯ»): включается для обозначения того, что прибор находится в тестовом состоянии, управляемом дистанционно.

«mA»: включается для обозначения того, что прибор находится в состоянии испытания прямым током, и единица измерения — mA.

«μA»: включается для обозначения того, что прибор находится в состоянии испытания обратным током, и единица измерения — μA.

«START/STOP» («СТАРТ/СТОП»): включается для обозначения того, что прибор находится в режиме подачи питания, удаленные испытания не проводятся. При отключении прибор находится в режиме ожидания, можно проводить удаленные испытания.

«**FORWARD/REVERSE**» («**ПРЯМОЙ/ОБРАТНЫЙ**»): включается/выключается для обозначения того, что прибор находится в состоянии испытания прямыми/обратными величинами.

3. Окна дисплея:

Отображают длительность импульса, прямое/обратное напряжение и прямой/обратный ток.

4. **Клавиши:** всего имеется 8 клавиш. Ниже приведено описание функциональных клавиш.

КЛАВИША «MODE» («РЕЖИМ»): выбор одного из режимов: непрерывного, моноимпульсного или режима повторяющегося импульса (данная КЛАВИША прибора модели **NP** не функционирует).

КЛАВИША «SETUP» («НАСТРОЙКИ»): настройка электрических параметров и длительности импульса.

КЛАВИША «Λ»: увеличение значения электрических параметров, или выбор функции измерительных приборов, или проверка установленных значений прямых электрических параметров.

КЛАВИША «V»: уменьшение значения электрических параметров, или выбор функции прибора, или проверка установленных значений обратных электрических параметров.

КЛАВИША «>»: перемещение курсора слева направо.

КЛАВИША «•»: перемещение десятичной точки слева направо.

КЛАВИША «START/STOP» («СТАРТ/СТОП»): запуск или прекращение измерения.

КЛАВИША «FORWARD/REVERSE» («ПРЯМОЙ/ОБРАТНЫЙ»): переключение между функциями измерения прямых и обратных величин.

Задняя панель

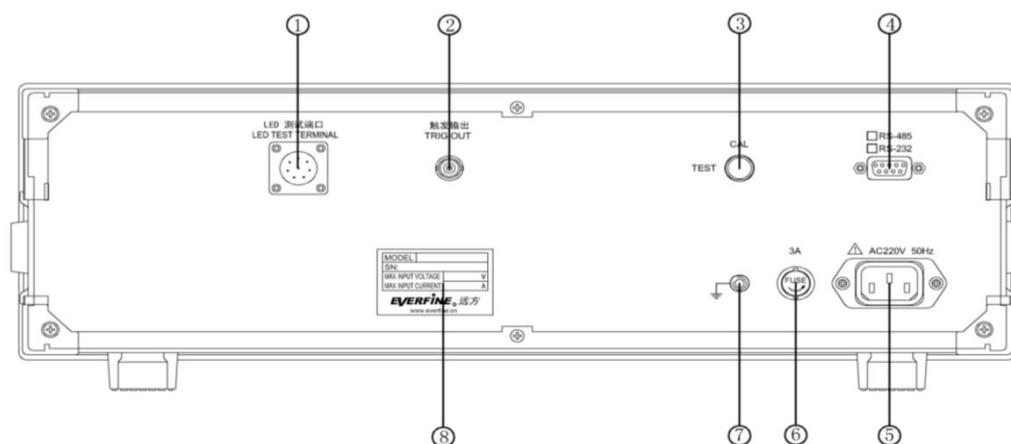


Рисунок 2 – Программируемый источник питания. Задняя панель

1. Разъём подключения СД: разъем, соединяющий проверяемый СД и внешний триггерный выключатель. Для подключения СД используется круглый 8-контактный разъем. Определение контактов указано ниже. Контакты 1 и 7 подсоединяются к полюсу «-» СД, контакты 5 и 6 подсоединяются к полюсу «+» СД. Лучше проводить испытания СД четырехполюсным методом, т.е. подключать СД четырьмя проводами. Контакты 3 и 4 подсоединяются к внешнему триггерному переключателю (принцип работы контура показан на Рис. 4) При замыкании цепи производится разовое измерение. Пользователи могут подключить испытательное оборудование и триггер к 8-контактному разъему.

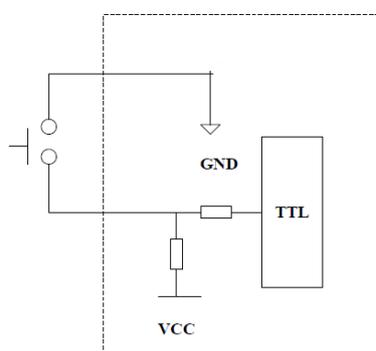


Рисунок 3 – Схема работы программируемого источника питания

2. TRIGOUT («ВЫХОД ТРИГГЕРА»): выход триггера используется для передачи пускового сигнала, например, на спектрометр.

3. Блокировка переключателя: Когда клавиша переключена на значение CAL («Калибровка»), хранящиеся в приборе данные установок разрешается менять. Когда клавиша переключена на значение TEST («Испытание»), прибор находится в состоянии общего испытания, и запрещается менять данные настроек.

4. Порт RS232: используется для подключения порта COM («Коммуникация») к компьютеру.

5. Розетка питания: используется для подключения прибора к источнику питания.

6. Держатель предохранителя: встроенный предохранитель 3 А для защиты прибора.

7. Вывод заземления: рекомендуется подключать этот вывод к земле для защиты прибора и операторов.

8. Маркировка продукции: содержит номер и тип продукции.

Мультифотометр PHOTO-2000Z

Передняя панель

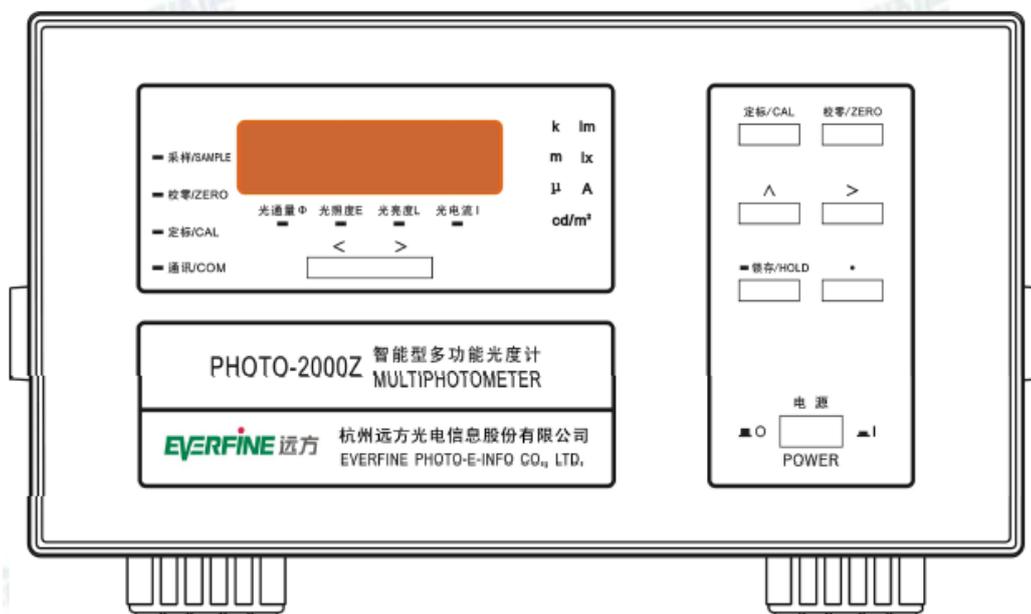


Рисунок 4 – Мультифотометр. Передняя панель

POWER - выключатель питания: управление подачей питания к прибору («0» — питание выключено, «1» — питание включено);

Окно дисплея: пятиразрядный ЖК-дисплей для отображения результатов измерений;

Семисегментные индикаторы, показывающих рабочее состояние прибора и единицы и порядок величины результатов измерений.

SAMPLE («Измерение образца»): мигание означает, что прибор проводит измерение образца. Данные на дисплее обновляются один раз при каждом мигании. Частота обновления — 5 Гц.

ZERO («Ноль»): включение индикатора означает, что прибор находится в режиме регулировки нуля;

CAL («Калибровка»): включение индикатора означает, что прибор находится в режиме калибровки;

COM («Компьютер»): включение индикатора означает, что прибор подключен к компьютеру;

HOLD («Блокировка»): включение индикатора означает, что дисплей прибора заблокирован;

если индикатор не горит, значит, прибор продолжает измерения;

Φ: включение индикатора означает, что прибор выполняет измерение светового потока;

E: включение индикатора означает, что прибор выполняет измерение

освещенности;

L: включение индикатора означает, что прибор выполняет измерение яркости;

I: включение индикатора означает, что прибор выполняет измерение фототока;

lm (люмен): включение индикатора означает, что единицей измерения отображенных на дисплее данных является люмен;

lk (люкс): включение индикатора означает, что единицей измерения отображенных на дисплее данных является люкс;

A (ампер): включение индикатора означает, что единицей измерения отображенных на дисплее данных является ампер;

cd/m² (кд/м²): включение индикатора означает, что отображенные на дисплее данные указаны в канделах на квадратный метр;

k, m, μ: буквы используются вместе с четырьмя вышеперечисленными индикаторами единиц измерения для обозначения тысячи основных единиц, одной тысячной основной единицы и одной миллионной основной единицы.

Клавиши: на передней панели прибора имеется 8 клавиш. Это клавиши «<>» и «>» под окном дисплея и клавиши CAL («Калибровка»), ZERO («Ноль»), «^», «>», «•» и HOLD («Блокировка») в правой части клавиатуры.

Функции клавиш:

«<>» и «>»: переключение измеряемых характеристик (световой поток Ф, освещенность E, яркость L и фототок I).

CAL («Калибровка»): клавиша используется для калибровки прибора. Методика калибровки описана в главе 5. Если горит индикатор HOLD («Блокировка»), клавиша заблокирована.

ZERO («Ноль»): клавиша используется для настройки прибора на нуль. Методика регулировки нуля описана в главе 4. Если горит индикатор HOLD («Блокировка»), клавиша заблокирована.

«^», «>», «•»: эти три клавиши используются вместе с клавишей CAL («Калибровка») для установки эталонного значения и эталонного коэффициента. В режиме калибровки эти клавиши активны. Мигающий разряд указывает на положение курсора. «^» — прибавление 1 к значению от 0 до 9, на котором установлен курсор, в цикле (результатом прибавления 1 к 9 будет 0). «>» позволяет перемещать курсор слева направо в цикле; «•» — клавиша перемещения десятичной точки слева направо в цикле.

HOLD («Блокировка»): используется для фиксации данных измерений. При нажатии на нее в ходе последовательных измерений фотометра дисплей будет заблокирован. При повторном нажатии процесс измерений возобновится, а индикатор погаснет. Если нажать на эту клавишу во время калибровки или регулировки нуля, фотометр возобновить измерения, а предыдущая операция будет отменена.

Задняя панель

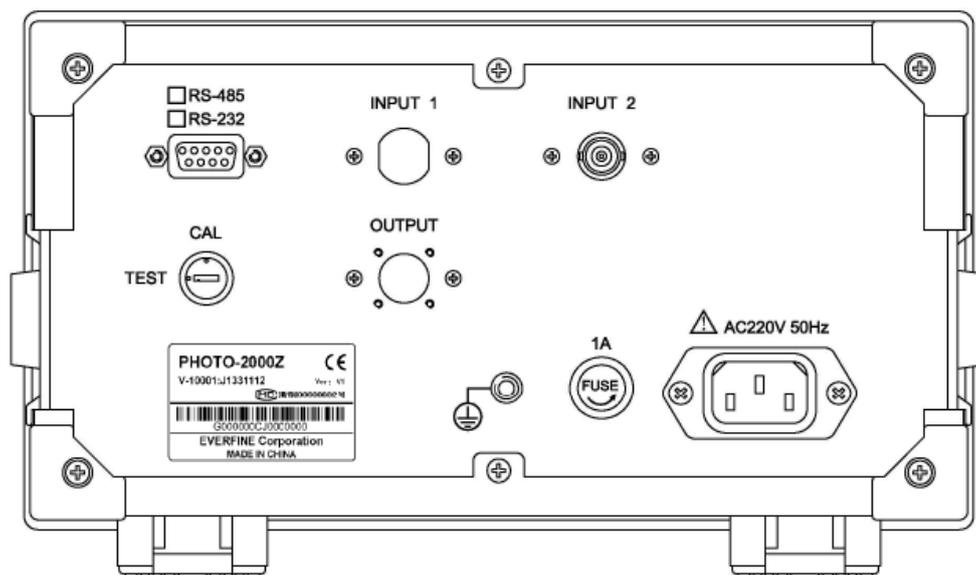
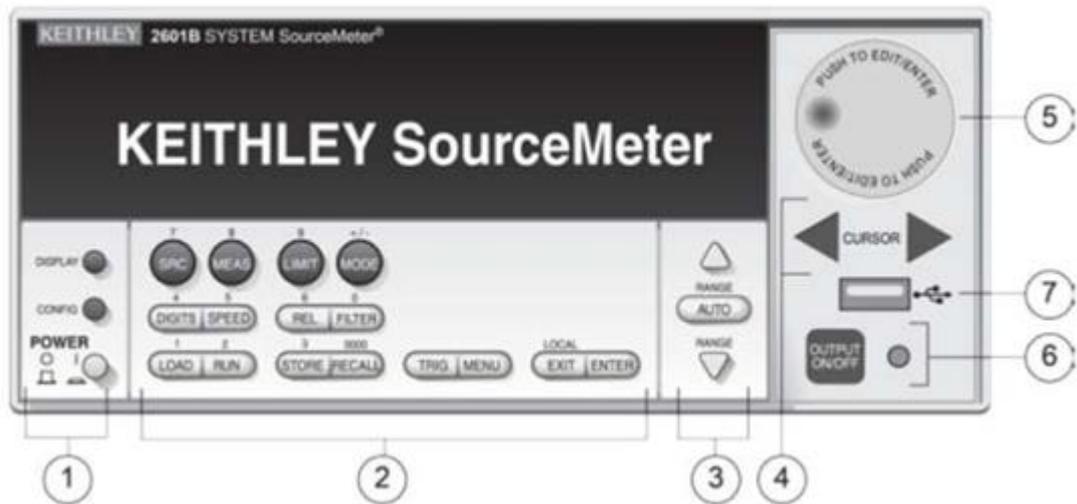


Рисунок 5 – Мультифотометр. Задняя панель

1. Сетевая розетка: используется для подключения питания.
2. Предохранитель: для защиты прибора.
3. Сигнальный вход (INPUT2) гнездо RCA для подключения сигнального вывода фотоприемника.
4. Последовательный порт RS-232: 9-контактный разъем для порта RS-232 для подключения прибора к компьютеру.
5. Вывод заземления: рекомендуется подсоединить прибор к заземляющему устройству при помощи этого порта для обеспечения защиты прибора и безопасности оператора.
6. Блокировка переключателя: Когда переключатель находится в положении CAL («Калибровка»), Вы можете изменить данные калибровки и регулировки нуля, сохраненные в памяти прибора. Если переключатель установлен в положении TEST («Проверка»), данные калибровки и регулировки нуля, сохраненные в памяти прибора, не могут быть изменены. Поэтому по окончании калибровки убедитесь, что переключатель переведен в положение TEST («Проверка»). Это позволит избежать изменения данных калибровки по ошибке. Если рукоятка переключателя утеряна, на ее место необходимо установить другую такую же рукоятку.

Калибратор-измеритель Keithley SourceMeter 2611B

Передняя панель



1. Специальные клавиши и выключатель питания.

POWER Выключатель питания. Перевод выключателя в положение I включает прибор; перевод выключателя в положение O выключает прибор.

DISPLAY Переключение между различными экранами измерителя-калибратора и пользовательским режимом сообщений.

CONFIG Используется для конфигурирования функции или операции.

2. Настройка, управление работой, ввод числовых данных.

SRC Выбор функции воспроизведения сигнала («напряжение» или «ток») и установка курсора в поле воспроизведения сигнала для выполнения редактирования

MEAS Поочередное отображение функций измерения (V, A, Ω или W)

LIMIT Установка курсора в поле ограничения допустимых значений для выполнения редактирования. Также выбор значения ограничения для последующего редактирования (V, A или W).

MODE Выбор режима измерителя (тока, напряжения, сопротивления или мощности)

DIGITS Поочередное отображение возможных настроек разрешения (4-1/2, 5-1/2 или 6-1/2 знаков)

SPEED Настройка скорости измерения (FAST (быстрая), MED (средняя), NORMAL (нормальная), HIACCURACY (высокая точность) или OTHER (другое значение)). Скорость и точность измерения устанавливаются посредством управления апертурой измерения.

REL Управление относительными измерениями, позволяющее вычлениТЬ из полученного результата измерения опорное значение.

FILTER Включение/выключение цифрового фильтра. Фильтр может использоваться для снижения шума считывания.

LOAD Загрузка теста для его выполнения (фабричные (FACTORY), пользовательские (USER) или сценарии (SCRIPTS))

RUN Выполнение последних выбранных фабричных или пользовательских тестов.

STORE Обращение к буферам и снятие показаний. TAKE_READINGS: используется для снятия показаний и сохранения их в буфере. SAVE: используется для сохранения буфера в энергонезависимую память или на пользовательское устройство (USB1) в формате CSV или XML. Показания включают в себя измерения, величины воспроизводимого сигнала и метки времени, если это указано в настройках.

RECALL Вызов информации (DATA (данные) или STATISTICS (статистика)), сохраненной в буфере. «Данные» включают сохраненные показания, а также при соответствующих настройках величины воспроизводимого сигнала и метки времени. «Статистика» включает следующие данные: MEAN (среднее), STD DEV (стандартное отклонение), SAMPLE SIZE (размер выборки), MINIMUM (минимум), MAXIMUM (максимум), PK-PK (от пика до пика).

TRIG Запуск процесса снятия показаний.

MENU Вход в главное меню. Главное меню позволяет сделать настройки многих аспектов функционирования прибора.

EXIT Отмена выбранного пункта и возврат в предыдущее меню. Также используется в качестве клавиши LOCAL для выхода из режима дистанционного измерения.

ENTER Подтверждение выбранного пункта и переход к следующему пункту или выход из меню.

3. Клавиши настройки диапазона.

RANGE Выбор следующего большего/меньшего диапазона воспроизводимого сигнала или измерения.

Помимо выбора диапазона клавиши расширения или сужения диапазона служат для изменения формата недиапазонных чисел (например, при редактировании значения ограничения).

AUTO Включение/выключение автоматической установки диапазона воспроизводимого сигнала или измерения.

4. Клавиши управления курсором.

CURSOR Клавиши управления курсором позволяют перемещать курсор влево или вправо. Когда курсор находится на нужном символе, нажмите колесо управления для входа в режим редактирования. Поворот колеса управления позволяет изменить редактируемое значение. После завершения редактирования нажмите колесо управления еще раз. Для

просмотра пунктов меню используйте клавиши управления курсором или колесо управления. Чтобы просмотреть значение меню, используйте клавиши управления курсором для установки курсора в нужное место, а затем нажмите колесо управления, чтобы просмотреть значение или вызвать пункт подменю.

5. Колесо управления.

Поворот колеса управления используется для выполнения следующих операций:

- Перемещение курсора влево и вправо (курсор указывает на выбранное значение или пункт)

- При нахождении в режиме редактирования увеличение или уменьшение выбранного значения воспроизводимого сигнала или допустимых значений

Нажатие колеса управления используется для выполнения следующих операций:

- Включение/выключение режима редактирования для выбранного значения воспроизводимого сигнала или допустимых значений

- Открытие меню и пунктов подменю

- Выбор пункта меню или значения.

6. Органы управления выводом мощности.

Включение/выключение вывода воспроизводимого сигнала.

7. Порт USB

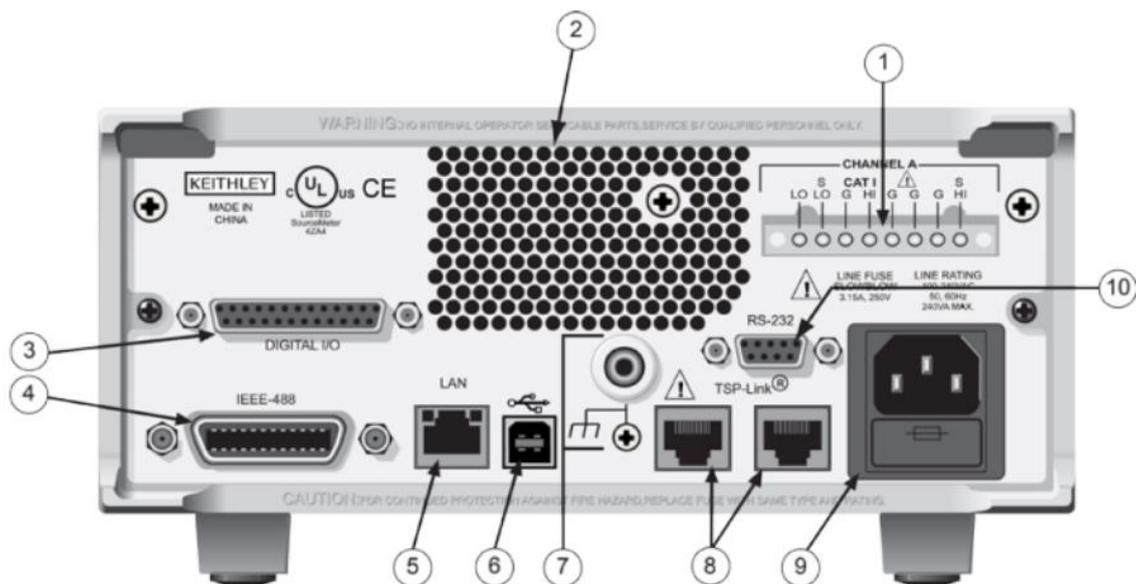
Используется для подключения носителя USB. Носитель USB может использоваться для хранения снятых показаний, сценариев, пользовательских настроек, а также для обновления встроенного ПО.

8. Индикаторы на экране (не показаны).

Ниже перечислены возможные индикаторы, отображаемые на экране, и их значение.

Индикатор	Значение
EDIT:	Прибор находится в режиме редактирования
ERR:	Сомнительное показание или недействительный этап калибровки
REM:	Прибор находится в дистанционном режиме управления
TALK:	Прибор в режиме передатчика
LSTN:	Прибор в режиме приемника
SRQ:	Запрос на обслуживание подтвержден
REL:	Включен относительный режим.
FILT:	Цифровой фильтр включен
AUTO:	Включен автоматический режим настройки диапазона воспроизводимого сигнала или измерения
*(звездочка)	Идет процесс сохранения показаний в буфер

Задняя панель



1. Разъемы калибратора-измерителя.

Данный разъем служит для подключения ввода/вывода для сигналов HI и LO, Sense (S HI/S LO) и Guard (G).

2. Охлаждающие вентиляционные отверстия.

3. Цифровой вход/выход.

Разъем DB-25, гнездо. Контакты: 14 контактов для ввода или вывода цифрового сигнала, 7 контактов заземления, 3 контакта +5 В.

4. Разъём IEEE-488.

Разъем для работы по шине IEEE-488 (GPIB).

5. Подключение по локальной сети.

Данный разъем RJ-45 используется для подключения прибора к локальной сети.

6. Порт USB.

Данный разъем USB-2.0 (тип B) на задней панели используется для подключения прибора к компьютеру. Данное подключение может использоваться для отправки команд прибору.

7. Заземление.

Разъем заземления для подсоединения вывода HI или LO к корпусному заземлению. Винт заземления для подключения к корпусному заземлению.

8. Подключение TSP.

Интерфейс расширения, позволяющий прибору серии 2600В и другим приборам с установленным TSP запускать и взаимодействовать друг с другом.

9. Модуль питания.

Имеет в своем составе розетку для подключения прибора к сети переменного тока и сетевые предохранители. Прибор может работать от

сетевых напряжений в диапазоне от 100 В до 240 В переменного тока на частоте 50 Гц или 60 Гц.

10. Разъём RS-232.

Разъём DB9, гнездо.

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА СВЕТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра световых технологий и оптоэлектроники была создана в 2015 году объединением кафедры твердотельной оптоэлектроники (ТТОЭ) и базовой магистерской кафедры светодиодных технологий. С момента основания кафедры до настоящего времени ее заведующим является доцент, д.ф.-м.н. Владислав Евгеньевич Бугров.

Сотрудники кафедры СТО — ведущие специалисты в области физики и технологии полупроводниковых наногетероструктур и приборов, физического материаловедения, а также производства светодиодов и светодиодных устройств. Они обладают большим опытом научной, преподавательской и производственной деятельности, а кафедра располагает оснащенными учебными и научными лабораториями.

На кафедре проводится обучение магистров по направлению 16.04.01 «Оптоэлектроника» по программе 12.04.02 «Светодиодные технологии» и аспирантов по специальностям: 01.04.05 «Оптика», 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», 05.11.07 «Оптические и оптоэлектронные приборы и комплексы», 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела». Целью обучения является подготовка высококвалифицированных специалистов, обладающих компетенциями и навыками для работы в инновационной сфере оптоэлектронных технологий.

Основными направлениями научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ студентов и аспирантов на кафедре световых технологий и оптоэлектроники являются:

- Элементная база устройств фотоники, включая создание новых источников, преобразователей и приемников оптического излучения;
- Конструирование и технологии производства элементов и узлов оптической техники;

– Техническое зрение и управление производственными процессами лазерно-оптических измерений и диагностики;

– Фотонные технологии нанодиапазона, включая получение нанообъектов, их диагностику и манипулирование ими;

– Фотонные технологии обеспечения безопасности, включая распознавание образов, детектирование следовых количеств веществ, скрытые наблюдения;

– Энергоэффективное освещение с использованием светодиодов;

– Фотометрия и колориметрия.

Более подробную информацию о кафедре световых технологий и оптоэлектроники вы можете получить на сайте кафедры <http://sto.ifmo.ru/>.

Сергей Александрович Щеглов
Екатерина Ильинична Котова
Арина Валерьевна Кремлева
Алексей Евгеньевич Романов
Владислав Евгеньевич Бугров

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Часть 2

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Лицензия ИД №
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49