

Рисунок 3 – Внешний вид 3D-модели спектрометра без верхней крышки

В процессе юстировки спектрометра будут применены бленды и диафрагмы специальной

формы, полученные путем 3D печати, используемые для поглощения нежелательных порядков дифракции, рассеянного излучения и коррекции формы аппаратной функции.

Итоговая масса макета спектрометра составляет 660 г, а габариты: 162×100×73 мм.

**Заключение.** Разработан спектрометр изображения на спектральный диапазон в 306–380 нм со спектральным разрешением не хуже 0,4 нм. Расчетное угловое поле зрения составляет  $0,03 \times 6^\circ$ . Спектрометр предназначен для установки на борту малых космических аппаратов формата CubeSat и позволяет производить регистрацию рассеянного атмосферой солнечного излучения для последующего восстановления содержания малых газовых составляющих.

УДК 535.317.2

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ ФАРЫ (ПРОЖЕКТОРА)

Град Д.В.<sup>1</sup>, Лишик С.И.<sup>1</sup>, Челябин А.Е.<sup>1</sup>, Фан Ц.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Фуданьский университет

Шанхай, Китайская Народная Республика

**Аннотация.** Разработана оптическая система лазерной фары (прожектора) и проведено ее моделирование. Определены оптимальные параметры оптической системы лазерной фары, обеспечивающие формирование узкоградусного светового пучка ( $3\text{--}5^\circ$ ) при минимальных габаритных размерах оптической части фары и люминесцентного преобразователя 3–5 мм, толщина 1,2 мм.

**Ключевые слова:** лазерная фара, прожектор, эллиптический рефлектор, оптическое моделирование.

### SIMULATION OF THE OPTICAL SYSTEM OF A LASER HEADLIGHT (SPOTLIGHT)

Hrad D.V.<sup>1</sup>, Lishik S.I.<sup>1</sup>, Chaliapin A.E.<sup>1</sup>, Fan J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Center of LED and Optoelectronic Technologies of the NAS of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Fudan University

Shanghai, People's Republic of China

**Abstract.** An optical system for a laser headlight (spotlight) was developed and its simulation was carried out. The optimal parameters of the optical system of the laser headlight were determined, ensuring the formation of a narrow-degree light beam ( $2\text{--}5^\circ$ ) with minimal overall dimensions of the optical part of the headlight and the luminescent converter 3–5 mm, thickness 1.2 mm.

**Key words:** laser headlight, spotlight, elliptical reflector, optical simulation.

Адрес для переписки: Лишик С.И., Логойский тракт, 20, г. Минск, 220090, Республика Беларусь  
e-mail: rnd@ledcenter.by

Целью настоящего исследования является определение посредством моделирования оптимальных параметров оптической системы лазерной фары (прожектора), обеспечивающих формирование узкоградусного светового пучка при минимальных габаритных размерах фары и ее основных внутренних элементов.

Оптическая система лазерной фары (прожектора) состоит из лазерного диода накачки ( $\lambda = 450$  нм), люминесцентного преобразователя, рефлектора и линзы (рисунок 1).

Люминесцентный преобразователь представляет собой стеклолюминофорную пластинку, конвертирующую лазерное излучение накачки в желто-

красный свет, которые в совокупности воспринимаются наблюдателем как белый свет. В рамках моделирования рассмотрены люминесцентные преобразователи квадратной формы со стороной квадрата  $\beta$ , равной 0,5–10 мм и толщиной 1,2 мм.

В качестве рефлектора использовалась упрощенная модель, представляющая собой фрагмент поверхности эллипсоида с большой  $a$  и малой  $b$  полуосями, соответственно. Такая форма рефлектора больше подходит для точечных, чем протяженных источников света [1], каковым является люминесцентный преобразователь, но значительно проще с точки зрения изготовления и моделирования. Внутренняя поверхность рефлектора покрыта

светоотражающим материалом с коэффициентом отражения, значение которого принято равным 1. Люминесцентный преобразователь располагается в фокусе  $F_1$  эллиптического рефлектора.

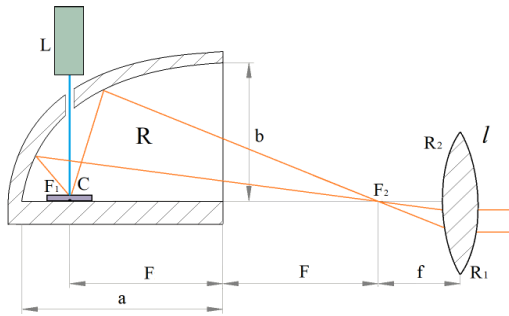


Рисунок 1 – Оптическая система лазерной фары:  $L$  – лазер;  $C$  – люминесцентный преобразователь;  $R$  – рефлектор,  $l$  – линза

В качестве линзы использовалась двояковыпуклая или вогнуто-выпуклая собирающая линза. Фокусы  $F_1$  и  $F_2$  эллиптического рефлектора и линзы  $f$  располагаются на одной оси, причем один из них ( $F_2$ ) совпадает с фокусом линзы  $f$ . Благодаря вышеописанной конфигурации, лучи света, излучаемые люминесцентным преобразователем, вначале собираются во втором фокусе эллиптического рефлектора, а затем преломляются линзой, формируя узконаправленный пучок.

Подготовка 3D моделей выполнялась в ПО SolidWorks, а оптическое моделирование – в ПО TracPro.

Для оценки эффективности оптической системы лазерной фары определялись угловые расхождения светового пучка в горизонтальной  $X^\circ$  и вертикальной  $Y^\circ$  плоскостях, соответственно, а также отношение  $\mu$  количества лучей, достигших виртуального экрана размерами  $2 \times 2$  м, расположенного на расстоянии 5 м от лазерной фары, к общему количеству испущенных лучей.

Результаты оптического моделирования представлены на рисунках 2–4.

Из анализа рисунка 2 следует, что при увеличении ширины люминесцентного преобразователя  $\beta$  и приближении формы рефлектора к фрагменту сферы (т. е. чем меньше параметр  $\Delta = a - b$ ) расходимость светового пучка  $Y^\circ$  увеличивается (аналогично  $X^\circ$ ).

Из анализа рисунка 3 следует, что с ростом размеров люминесцентного преобразователя  $\beta$ , при значении  $\Delta = 7,5$  мм, коэффициент эффективности  $\mu$  лазерной фары (прожектора) уменьшается, в то время как при  $\Delta < 2,5$  мм незначительно растет.

Исходя из вышеприведенных закономерностей можно выделить два варианта реализации оптической системы лазерной фары (прожектора): 1) с большей и 2) меньшей расходимостью светового пучка (рисунок 4).

В первом варианте (рисунок 4, а) оптическая система характеризуется следующими параметрами:

размеры рефлектора  $a \times b = 84,5 \times 60$  мм ( $F = 59,5$  мм), радиусы кривизны линзы  $R_1 = 140$  мм,  $R_2 = 60$  мм,  $\beta = 3-5$  мм,  $\mu \approx 0,5$ . Угол расхождения светового пучка составляет около  $5^\circ$ , при этом, а габаритные размеры оптической части фары –  $250 \times 90$  мм.

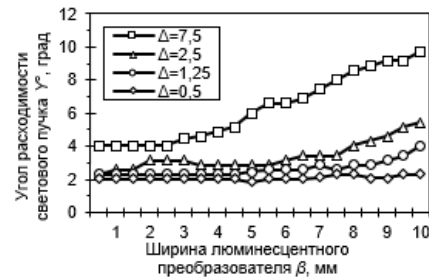


Рисунок 2 – Зависимость расходимости светового потока от ширины люминесцентного преобразователя  $\beta$  и степени эллиптичности рефлектора  $\Delta$

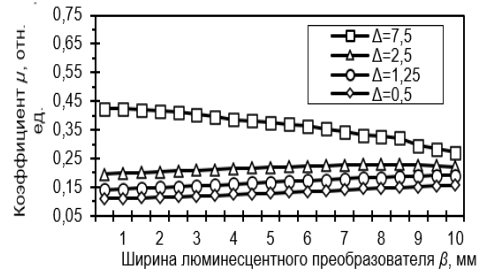


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента эффективности оптической системы  $\mu$  от ширины люминесцентного преобразователя  $\beta$  и степени эллиптичности рефлектора  $\Delta$

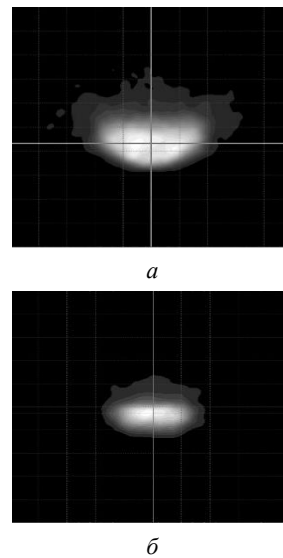


Рисунок 4 – Световое пятно, создаваемое лазерной фарой № 1 (а) и № 2 (б) на экране размерами  $2 \times 2$  м

Во втором варианте (рисунок 4, б) параметры оптической системы следующие:  $a \times b = 36,4 \times 35$  мм ( $F = 10$  мм),  $R_1 = 90$  мм,  $R_2 = -90$  мм,  $l = 105$  мм,  $\beta = 3-5$  мм,  $\mu \approx 0,18$ . Угол расхождения светового пучка уменьшается вплоть до  $2-4^\circ$ , при этом, однако, максимальная яркость светового пятна также уменьшается в 1,5 раза, а габаритные размеры оптической части фары составляют до  $141,4 \times 52,5$  мм.

В общем случае первое решение будет более выгодным для использования его в таких случаях как автомобильная фара дальнего света, однако, если необходимым является малое расхождение лучей, то второй вариант имеет большее преимущество.

**Литература**

1. Jannick, P. Rolland Freeform: Reflector Design With Extended Sources / P. Jannick / Electronic Theses and Dissertations, 2004–2019.

УДК 628.9.037

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CdS/CdSe КВАНТОВЫХ СТЕРЖНЕЙ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ**

**Острецов Е.Ф., Цвирко В.И., Лишик С.И.**

*Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Разработаны и изготовлены люминесцентные композиции на основе CdS/CdSe квантовых стержней, которые наносились в виде пленок на защитное стекло светильника. Показана возможность коррекции и получения стабильных во времени спектров излучения светодиодного светильника.

**Ключевые слова:** квантовые стержни, светодиодный светильник, спектр излучения, полимерная матрица.

**USING CdS/CdSe QR TO CORRECT THE EMISSION SPECTRUM OF LED DEVICES**

**Ostretsov E.F., Tsvirko V.I., Lishik S.I.**

*Center of LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** Luminescent compositions based on CdS/CdSe quantum rods were developed and manufactured, which were then deposited in the form of films on the protective glass of an LED lamp. This made it possible to obtain stable emission spectra of an LED lamp with the required characteristics.

**Key words:** quantum rods, LED lamp, radiation spectrum, polymer matrix.

*Адрес для переписки: Острецов Е.Ф., Логойский тракт, 20, г. Минск, 220090, Республика Беларусь  
e-mail: rnd@ledcenter.by*

Как известно, использование люминесцентных наночастиц (квантовые точки, стержни (КС) и т. п.) позволяет корректировать спектральные характеристики излучения светодиодных устройств в соответствии с заданными техническими требованиями. Вместе с тем наночастицы характеризуются низкой термостабильностью [1], поэтому их нанесение непосредственно на тепловыделяющие светодиоды не целесообразно. Альтернативным способом является расположение пленок на основе наночастиц на определенном удалении от светодиодов. Апробации данного подхода посвящена настоящая работа.

В качестве образца использовался светодиодный светильник (рисунок 1), конструкция которого позволяла варьировать высоту установки защитного стекла с КС-пленкой над светодиодной платой: 5, 12,5 или 20 мм. Спектр светильника близок к солнечному спектру, что позволяет также оценить эффективность использования КС-пленок, нанесенных на остекление теплиц.

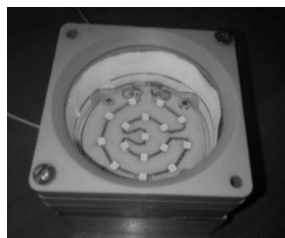


Рисунок 1 – Светодиодный светильник с КС-пленкой, нанесенной на защитное стекло светильника

В качестве полимерной матрицы для получения композиции была выбран прозрачный эластомер Sylgard 182 (Dow Corning), в который вводился раствор красных (626 нм) CdS/CdSe КС, производства компании Planck Innovations (Китай). Приготовленная композиция содержала 0,26 % КС. Пленки формировались методом трафаретной печати на поликарбонатных подложках диаметром 58 мм и толщиной 1 мм. Для получения пленок разной толщины использовались сита № 15, 36 (номер – количество нитей на сантиметр).

Спектры излучения и характеристики светильника измерялись с помощью спектрометрической системы тестирования светодиодных источников света CAS140СТ № 1 при токе питания 100 мА.

В таблице 1 приведены характеристики образцов КС-пленок.

Таблица 1. Характеристики образцов КС-пленок

№ образ	№ сита	Вес компо- зити,	Толщ ина пленк	Конце нтра- ция КС, %	Колич ество КС на стекле
1	15	436	165	0,26	1,134
2	36	122	45	0,26	0,317

На рисунке 2 и в таблице 2 приведены спектры излучения и характеристики исходного светильника (без КС-пленки) при различном удалении защитного стекла от светодиодной печатной платы. Из анализа представленных данных следует, что по мере удаления защитного стекла от светодиодной платы выходная мощность светильника и коррелированная цветовая температура (КЦТ)