

И. Н. ИВУКИН, А. Ю. БЕЛОВ, В. Е. БУГРОВ, А. Р. КОВШ,
М. А. ОДНОБЛЮДОВ, А. Е. РОМАНОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАТОРА РЕТРОФИТНОЙ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ

Исследовано влияние формы радиаторов из теплопроводящих пластиков на теплоотвод ретрофитной лампы. Приведены результаты численного моделирования свободно-конвективного течения газа вокруг радиатора и теплообмена в частях системы теплоотвода.

Ключевые слова: светодиоды, тепловой режим, радиаторы, ретрофитные лампы.

Введение. Обеспечение теплового режима светодиодных ламп является ключевым фактором, позволяющим повысить их эффективность и увеличить долговечность. Это обусловлено тем, что повышение температуры активной зоны светодиода влечет за собой снижение его эффективности и сокращение времени службы.

Белые светодиоды содержат крайне уязвимый для высоких температур элемент — люминофор, который обладает эффектом термического гашения, что препятствует работе светодиода при повышении температуры. Эффект термического гашения наблюдается уже при 80—100 °С [1]. Высокие температуры приводят к ускоренной деградации люминофоров в белых светодиодах [2].

В настоящей статье представлены результаты работ по качественному и количественному исследованию влияния формы радиатора на теплоотвод ретрофитной лампы. В ходе исследований была проведена оценка эффективности теплоотвода пластиковых радиаторов ретрофитных ламп и разработаны предложения по его повышению.

Описание модели. Для корректного моделирования процесса теплообмена рассчитывалось свободно-конвективное течение газа в окрестности радиатора. Расчетная область соответствовала примерно 7 диаметрам радиатора в поперечном направлении и 20 — в продольном. Расчет параметров газовой среды осуществлялся с учетом объемных сил (сил плавучести), также был произведен совместный расчет теплообмена в твердых телах.

Ламинарное течение несжимаемой теплопроводной среды описывается системой трехмерных уравнений Навье — Стокса [3]. Для ее решения использовался метод конечных объемов, реализованный в программном комплексе ANSYS CFX. Для моделирования силы плавучести использовалось приближение Буссинеска — линейное замещение плотности газа его температурой: $\rho(T) = \rho_0(1 - \beta T)$, где β — коэффициент объемного расширения жидкости, ρ_0 — плотность газа при некоторой температуре $T_0 = 25$ °С, T — отклонение температуры от значения T_0 ; гравитационная постоянная $g = 9,8$ м/с² [4].

Расчетная область представляет собой двухкомпонентный радиатор и закрепленный на нем светодиодный модуль. Радиатор состоит из оребренного тела из теплопроводящего

пластика и алюминиевой пластины, соединяющей светодиодный модуль и радиатор (рис. 1). Значения теплопроводности λ используемых в радиаторе материалов представлены в таблице.



Рис. 1

Материал	λ , Вт/(м·К)
Алюминий	237
Теплопроводящий пластик	8
Материал светодиодного модуля	0,5

Граничное условие для величины теплового потока задается на поверхности алюминиевой пластины, расположенной под светодиодным модулем; суммарное значение теплового потока $Q=0,9$ Вт, что соответствует $Q'=3,6$ Вт для полной модели лампы. Расчет производился для одной четверти конструкции. Для плоскостей симметрии задавалось граничное условие симметрии; на выходных границах расчетной области были заданы „мягкие“ граничные условия для скорости течения газа при температуре 25 °С.

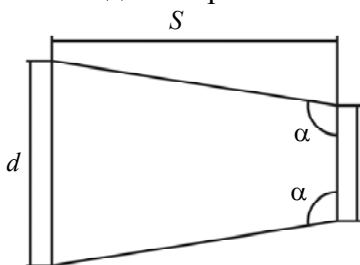


Рис. 2

Параметризация формы радиатора осуществлялась за счет изменения формы сечения межреберного пространства (см. рис. 1), имеющей вид трапеции (рис. 2).

При моделировании в качестве варьируемых были выбраны следующие параметры: d — ширина межреберного пространства на внешней границе радиатора; α — угол наклона стенок ребер радиатора; N — количество ребер радиатора.

Фиксированные геометрические параметры: $H=40$ мм — высота радиатора; $h=2$ мм — высота алюминиевой пластины; $R=29,5$ мм — радиус верхней части радиатора; $r=20,25$ мм — радиус алюминиевой пластины; $S=15,5$ мм — длина трапеции.

Огибающая радиатора представляла собой форму стандартной (60 Вт) лампы накаливания.

Результаты и их обсуждение. Максимальная разность температур в пластиковом радиаторе достигает 12 °С, при этом максимальная температура наблюдается в области, расположенной под алюминиевой пластиной, а минимальная — в наиболее удаленной от пластины части радиатора. Поперечный градиент температур в ребрах значительно меньше продольного (рис. 3).

Для оценки эффективности конвективного теплоотвода использовалось число Нуссельта, характеризующее отношение интенсивностей конвективного q_k и диффузионного q_d теплообмена, рассчитанное по следующей формуле:

$$Nu = \frac{q_k}{q_d} = \frac{qL}{(T_{ст} - T_0)\lambda_B},$$

где q — тепловой поток, $T_{ст}$ — температура стенки, L — характерный размер, $\lambda_{в}$ — теплопроводность воздуха; $T_0 = 25$ °С.

В рассматриваемой задаче число Нуссельта отражает интенсивность теплоотвода в газовую среду.

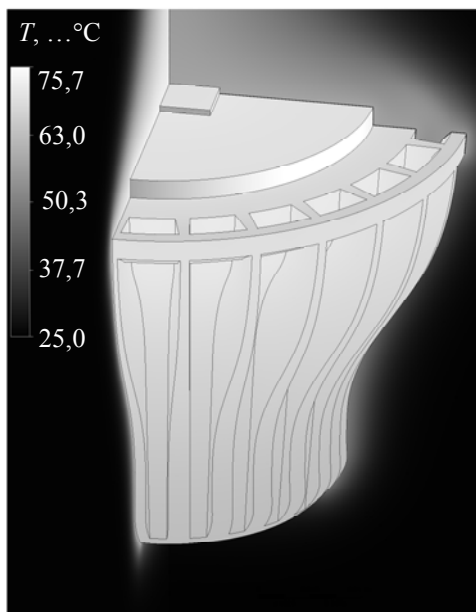


Рис. 3

Интенсивность теплоотвода с поверхности лампы, согласно числу Нуссельта, показывает, что наиболее интенсивный конвективный теплоотвод наблюдается на внешней части поверхности ребер радиатора (рис. 4).

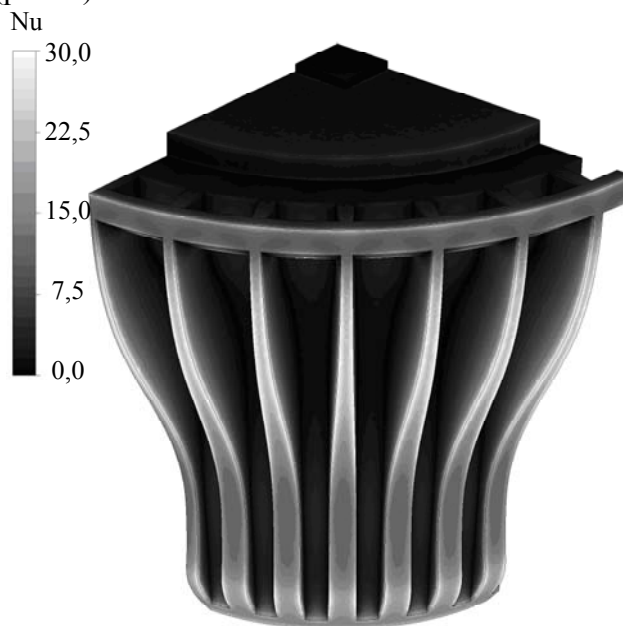


Рис. 4

Как показал сравнительный анализ распределения чисел Нуссельта при различных геометрических параметрах радиатора, определяющим фактором в свободно-конвективном теплоотводе является ширина межреберного пространства. Для обеспечения необходимого теплообмена внутри ребер достаточной является толщина ребра, равная ≈ 1 мм. (Ребра меньшей толщины не были рассмотрены ввиду сложности их изготовления в массовом производстве.)

На рис. 5 представлен график зависимости максимальной температуры радиатора от угла α наклона его ребер при $N=24$ и различной ширине межреберного пространства.

Как следствие из вышеизложенного, а также из анализа рис. 5, можно сделать вывод о том, что уменьшение межреберного пространства ведет к ухудшению конвективного теплоотвода и, следовательно, к увеличению температуры алюминиевой пластины, где расположен светодиодный модуль. Данный эффект не компенсируется увеличением теплопроводности ребер радиатора за счет увеличения их толщины.

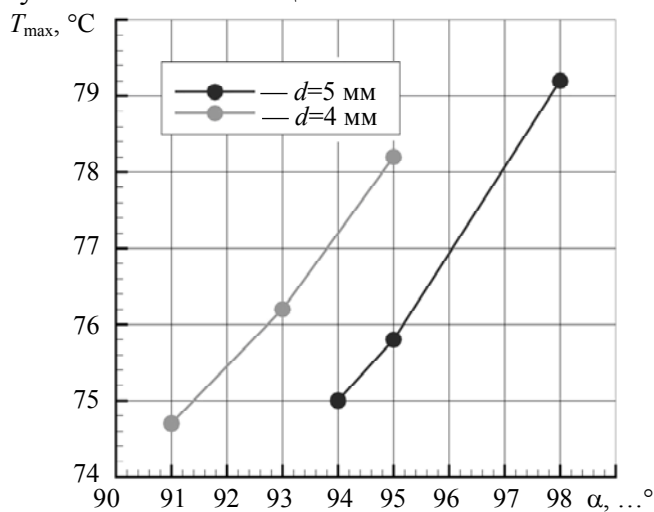


Рис. 5

Заключение. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

— ширина межреберного пространства является ключевым фактором свободно-конвективного теплоотвода с ребер радиатора и имеет более существенное влияние на теплоотвод, чем толщина ребер;

— создание тонких ребер (≈ 1 мм) из теплопроводящего пластика не приводит к возникновению в них избыточного термического сопротивления, что позволяет использовать данные пластики для производства эффективных радиаторов;

— в радиаторах, выполненных из теплопроводящих пластиков, возникает проблема избыточного термического сопротивления вдоль радиатора, что значительно снижает качество работы его компонентов, удаленных от источника тепла; возможным решением данной проблемы может быть включение в конструкцию радиатора распределителей тепла.

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при финансовой поддержке Министерства образования Российской Федерации в рамках комплексного проекта „Интеллектуальные системы энергоэффективного сельскохозяйственного производства в закрытом грунте с использованием светодиодного освещения“.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lakshmanan A., Satheesh Kumar R., Sivakumar V., Jose M. T. Synthesis, photoluminescence and thermal quenching of YAG:Ce phosphor for white light emitting diodes // Indian J. of Pure & Applied Physics. 2011. Vol. 49. P. 303—307.
2. Шуберт Ф. Е. Светодиоды. М.: Физматлит, 2008.
3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003.
4. Versteeg H. K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics. Harlow, UK: Pearson Education Limited, 2007.

Иван Николаевич Ивукин

Сведения об авторах

- аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра светодиодных технологий; ЗАО „Оптоган“, Санкт-Петербург; E-mail: ivan.ivukin@optogan.com

- Александр Юрьевич Белов** — д-р физ.-мат. наук, профессор; Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН, Москва
- Владислав Евгеньевич Бугров** — д-р физ.-мат. наук; ЗАО „Оптоган“, Санкт-Петербург; исполнительный вице-президент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра светодиодных технологий; заведующий кафедрой
- Алексей Русланович Ковш** — д-р физ.-мат. наук; ЗАО „Оптоган“, Санкт-Петербург; исполнительный вице-президент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра светодиодных технологий; профессор
- Максим Анатольевич Одноблюдов** — канд. физ.-мат. наук; ЗАО „Оптоган“, Санкт-Петербург; генеральный директор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра светодиодных технологий; профессор
- Алексей Евгеньевич Романов** — д-р физ.-мат. наук; ООО „Оптоган. Новые технологии света“, Санкт-Петербург; гл. науч. сотрудник; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра светодиодных технологий; профессор; Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург; вед. науч. сотрудник

Рекомендована кафедрой
светодиодных технологий НИУ ИТМО

Поступила в редакцию
07.02.13 г.

УДК 628.9.03

К. А. Виноградова, В. Е. Бугров, А. Р. Ковш, М. А. Одноблюдов,
В. И. Николаев, А. Е. Романов

ДЕГРАДАЦИЯ БЕЛЫХ И СИНИХ СВЕТОДИОДОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ

Исследованы временные зависимости прямого падения напряжения на светодиодах, излучающих синий и белый свет, работающих длительное время, до 21 тыс. ч, на постоянном токе 20, 25 и 30 мА. Показано, что в белых светодиодах на основе силикатного люминофора с коррелированной цветовой температурой 4500 К наблюдается ускоренная деградация по сравнению со светодиодами синего света.

Ключевые слова: синий светодиод, белый светодиод, люминофор, деградация.

Понимание механизма деградации светодиодов является крайне важным для разработки новых высокоэффективных экономичных источников света. Обеспечение надежности светодиода — комплексная задача, которая включает в себя обеспечение требуемых характеристик всех элементов прибора: полупроводникового чипа, инкапсулянта, люминофора, электрических соединений. В условиях реальной эксплуатации светодиодов особенно важно обеспечить длительный срок службы всех его элементов с учетом протекающих в них физико-химических процессов, вызывающих постепенную деградацию характеристик, в частности, снижение светового потока и эффективности, а также изменение электрических параметров [1—6].

В настоящей статье представлены результаты исследований по оценке влияния концентрации люминофора в белом светодиоде на изменение электрических характеристик синего светоизлучающего чипа при длительной работе.