

# Исследование электрических и тепловых режимов работы светодиодов в светильнике<sup>1</sup>

С.С. КАПИТОНОВ, А.В. КАПИТОНОВА

ФГУ ВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск  
E-mail: kapss88@mail.ru

## Аннотация

Исследованы электрические и тепловые процессы, протекающие в светильнике со светодиодами (СД). Измерены напряжение на всех СД в светильнике, их ток и мощность в номинальном режиме работы. По результатам измерений с помощью разработанной тепловой модели СД в программной среде «*Multisim*» установлен значительный разброс СД в светильнике по температуре кристалла, что повышает вероятность преждевременного выхода этих СД из строя.

**Ключевые слова:** светодиод (СД), светильник, напряжение, ток, мощность, вольт-амперная характеристика, кристалл, температура.

Обеспечение высокой надёжности и заявленного производителем срока службы СД модулей (СДМ) и светильников с ними – одна из важных задач современной светотехники. На данный момент реальный срок службы этих изделий не превышает 50 тыс. ч [1, 2]. С одной стороны, это связано с надёжностью управляющего устройства (УУ), а с другой – с обеспечением надёжности самих СД даже при идеальном УУ.

В связи с нестабильностью процесса производства электрические и тепловые параметры СД могут варьироваться в пределах 10 % [1]. Чтобы установить силу влияния этой вариации на режимы работы и срок службы СДМ, нами проведено исследование отечественного светильника номинальной мощности 50 Вт с заявленным сроком службы 70 тыс. ч, содержащего СДМ с 40 синими СД компании *SemiLEDs*, номинальные ток и мощность которых равнялись 350 мА и 1 Вт соответственно [3]. Диапазон рабочих

температур окружающей среды лежал в пределах от  $-20$  до  $+50$  °С. При этом все СД располагались на одной печатной плате из стеклотекстолита и соединялись параллельно-последовательно в виде 4 ветвей по 10 СД в каждой [3].

Исследование светильника проводилось в номинальном режиме его работы при токе 1,4 А и показало, что:

- СД в двух ветвях работают в режимах, отличных от номинального (рис. 1);
- максимальный разброс значений прямого напряжения – в ветви № 2 и составляет 0,25 В (рис. 2);
- максимальная мощность выделяется в кристалле СД № 6 и составляет 1,16 Вт: на 16 % больше номинальной (рис. 3).

Для оценки тепловых режимов работы была разработана электротепловая модель светильника [4, 5]. На рис. 4 представлены результаты моделирования с её помощью временной зависимости температуры  $p-n$ -перехода  $T_j$  СД №№ 6, 5 и 15, в которых выделяются максимальная (1,16 Вт), средняя (1,08 Вт) и минимальная (0,99 Вт) мощности соответственно (рис. 3). При этом начальная  $T_j = 20$  °С, а КПД СД равен 30 % [1].

Как видно из рис. 4, через 100 с горения  $T_j$  СД №№ 6, 5 и 15, соответственно, достигает 91, 86 и 80,6 °С. Максимальный разброс составляет 10,4 °С.

Известно [6], что срок службы синего СД при  $T_j = 80$  °С на 25 тыс. ч больше, чем при  $T_j = 90$  °С. Кроме того, из-за разброса значений  $T_j$  увеличивается вариация параметров СД, приводя к ещё большему расхождению значений  $T_j$  [3]. Соответственно, вероятность того, что данный светильник проработает заявленные (производителем) 70 тыс. ч крайне мала.

Для обеспечения одинаковых электрических и тепловых режимов работы СД в светильнике, максимально близких к номинальным, необходимо на стадии производства СД осуществлять их биновку по комплексу элек-

Рис. 1. Распределение прямого тока ( $I_F$ ) по параллельным электрическим ветвям светильника

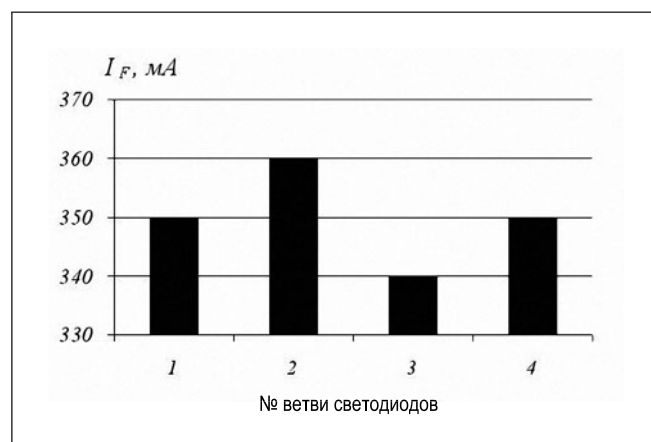
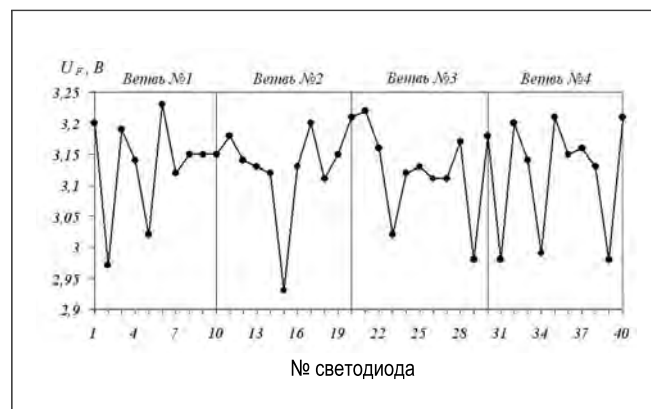


Рис. 2. Распределение значений прямого напряжения ( $U_F$ ) на светодиодах светильника



<sup>1</sup> Полный текст статьи депонирован в редакции журнала «Светотехника»

Рис. 3. Вариация мощности ( $P$ ), выделяющейся в кристаллах светодиодов светильника

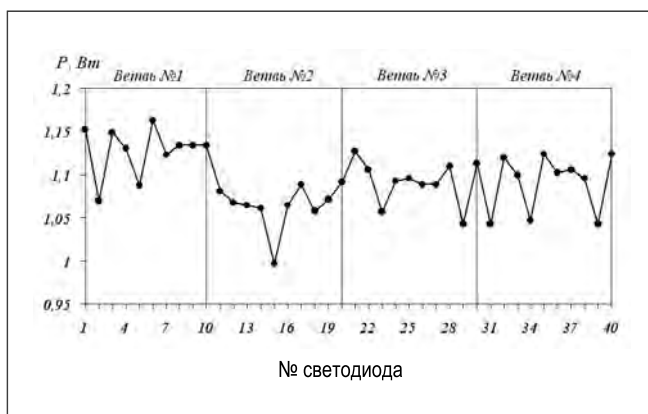
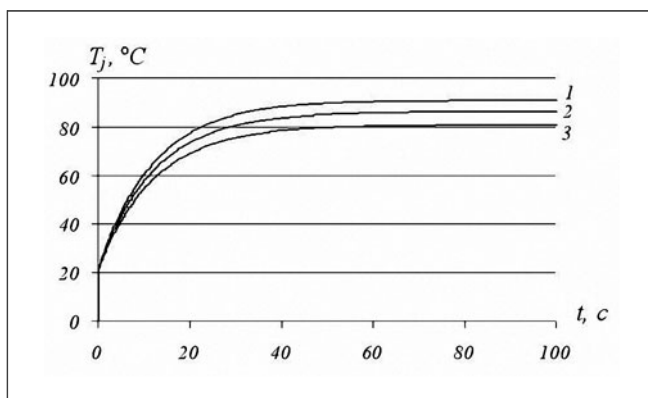


Рис. 4. Временные зависимости температуры  $p-n$ -перехода ( $T_j$ ) светодиодов светильника: 1 – светодиод № 6; 2 – светодиод № 5; 3 – светодиод № 15



трических и тепловых параметров. Основным электрическим параметром биновки считают прямое падение напряжения на СД. Однако наше исследование выявило вариативность этого параметра СД в светильнике. Между тем биновка по тепловым параметрам не ведётся совсем, и потому в каждой ветви СДМ светильника могут оказываться СД с равными световыми параметрами, но разными электрическими и тепловыми. Соответственно, в кристаллах таких СД будет выделяться разная энергия. А вследствие вариативности тепловых параметров СД, наиболее важный из которых – тепловое сопротивление кристалл-корпус в установившемся режиме, тепло от кристалла в разных СД светильника будет отводиться с разной интенсивностью, создавая различие тепловых режимов этих СД [6, 7].

Проведённое исследование показало, что вариативность параметров СД в светильниках создаёт вариативность тепловых режимов работы СД, что неминуемо ведёт к сокращению срока службы светильников с ними [6]. Степень этого сокращения в основном зависит от степени различия между тепловыми режимами СД в светильнике. И, соответственно, заявленные производителем 70 тыс. ч данный светиль-

ник мог бы и «продержаться» лишь при работе всех его СД в одинаковых номинальных режимах (электрических и тепловых), что пока реально недостижимо.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров С.Г. Светодиоды с кристаллами от SemiLEDs «под микроскопом» // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – Вып. № 3. – С. 10–16.
2. Никифоров С.Г. Актуальность изучения и необходимость совершенствования методик исследования деградации параметров светодиодов на основе твердых растворов AlGaInP и AlGaInN // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – Вып. № 15. – С. 36–37.
3. Беспалов Н.Н., Капитонов С.С., Капитонова А.В. Исследование процессов в светильнике со светодиодами при вариации температурного коэффициента напряжения отдельных светодиодов // Светотехника, 2016. – № 2. – С. 4–6; *Bespalov N.N., Kapitonov S.S., Kapitonova A.V.* Research of processes in the LEDs luminaire in case of the voltage temperature coefficient of separate LEDs variation // *Light & Engineering*. 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 72–75.

4. Капитонов С.С., Беспалов Н.Н., Капитонова А.В., Ащрятов А.А., Кильмямятов Денис Р., Кильмямятов Диас Р. Разработка электрической модели светодиода в среде Multisim // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – Вып. № 1. – С. 99–102 (Казань).

5. *Bespalov Nikolai N., Kapitonov Sergei S., Ilyin Michael V., Evishev Alexei V., Volkov Alexander G.* Development of electro-thermal model of led in the Multisim / Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 El-ConRus). – St. Petersburg: IEEE, 2017. – С. 221.

6. Васильев А. Светодиоды-долгожители: правда или мистификация? // Новости электроники+Светотехника. – 2010. – № 0(1). – С. 10–12.

7. *Kapitonov Sergei S., Kapitonova Anastasia V., Grigorovich Sergei Y.* Temperature dependence modeling for powerful LED characteristics in Multisim // *ARNP J. Eng. Appl. Sci.* – 2017. – Vol. 12, No. 10. – P. 3328–3334.



**Капитонов Сергей Сергеевич**, кандидат техн. наук. Окончил в 2010 г. Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. Доцент кафедры «Электроника и нанoelek-

троника» ФГУ ВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: исследование и разработка систем управления светодиодными источниками света



**Капитонова Анастасия Владимировна**, инженер. Окончила в 2013 г. Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. Аспирант кафедры «Источники света»

ФГУ ВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: исследование и разработка светодиодных источников света и систем управления ими