

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА
НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА****В. А. Кораблев^{1*}, Д. А. Минкин²**¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия² Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий им. Героя Российской Федерации
генерала армии Е. Н. Зиничева, Санкт-Петербург, Россия

* kvant1953@gmail.com

Аннотация. Представлена методика исследования зависимости параметров излучения светодиодных систем от температуры. Приведена конструкция разработанного экспериментального стенда. Выполнены измерения интенсивности излучения светодиодов при различных значениях температуры.

Ключевые слова: светодиод, тепловой режим, термостат, тепловая проводимость, освещенность

Ссылка для цитирования: Кораблев В. А., Минкин Д. А. Исследование влияния теплового режима на интенсивность излучения полупроводниковых источников света // Изв. вузов. Приборостроение. 2025. Т. 68, № 4. С. 328–332. DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-4-328-332.

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THERMAL CONDITION ON THE RADIATION INTENSITY
OF SEMICONDUCTOR LIGHT SOURCES****V. A. Korablev^{1*}, D. A. Minkin²**¹ ITMO University, St. Petersburg, Russia² Saint-Petersburg of State Fire Service of EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

* kvant1953@gmail.com

Abstract. A methodology for studying the dependence of LED system radiation parameters on temperature is proposed. The design of the developed experimental stand is presented. Measurements of LED radiation intensity at various temperature values are performed.

Keywords: light emitting diode, heat regime, thermostat, heat conductivity, illumination

For citation: Korablev V. A., Minkin D. A. Study of the influence of thermal condition on the radiation intensity of semiconductor light sources. *Journal of Instrument Engineering*. 2025. Vol. 68, N 4. P. 328–332 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-4-328-332.

Современные светоизлучающие диоды являются основой энергоэффективных световых приборов. Выбор в их пользу обусловлен сочетанием малого энергопотребления и высокой яркости, надежности и длительного срока службы в сравнении с другими источниками света. Эксплуатационные характеристики светодиодов существенно зависят от температуры активной зоны, электродов, мест паяных соединений, что влияет на срок их службы, величину создаваемого светового потока, вероятность внезапных отказов [1–4].

Для исследования теплового режима светодиодных систем и повышения их устойчивости к тепловым воздействиям разрабатываются экспериментальные установки. При этом необходимый уровень температуры исследуемых объектов обеспечивается с помощью климатических камер, термостатируемых полостей, элементов Пельтье [5–7]. Недостатками таких способов проведения исследований являются: влияние на результаты условий конвективно-лучистого теплообмена с воздухом в камере, элементами крепления и стенками, ограничение мощности

испытываемых светодиодов при использовании термоэлектрических охладителей, длительное время выхода на стационарный режим.

В настоящей работе представлена методика экспериментального исследования зависимости выходных характеристик светодиодов от температуры, когда тепловое воздействие реализуется с помощью жидкостного термостата.

Для проведения исследований используется алюминиевая печатная плата с припаянными к ней светодиодами и разъемом электропитания. Суть методики состоит в том, что светодиодная плата устанавливается на плиту, температура которой обеспечивается за счет интенсивного конвективного теплообмена с жидкостным теплоносителем. Для этого к плите припаяна металлическая трубка, по которой с помощью насоса термостата прокачивается жидкость требуемой температуры. В процессе эксперимента на светодиодную плату подается электропитание, а при наступлении стационарного режима фиксируются показания датчика светового потока и температуры компонентов системы — с помощью термопар.

Коэффициент полезного действия светодиодов составляет порядка 35 % [8], поэтому значительная часть потребляемой электрической мощности не преобразуется в световой поток, а выделяется в виде теплоты в соответствии с законом Джоуля. Этот тепловой поток передается с корпуса светодиода за счет конвективно-лучистого теплообмена в окружающую воздушную среду и за счет кондукции — на термостатированную плиту. Тепловой процесс, протекающий в рассматриваемой системе, будем считать стационарным, что позволяет использовать для его описания соотношение [9]:

$$P = \sigma_{\text{кл}}(t_k - t_f) + \sigma_{\lambda}(t_k - t_{\text{ст}}), \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{кл}}$, σ_{λ} — тепловая проводимость от корпуса светодиода к окружающей среде и к термостатированной плите соответственно, Вт/К; t_k , t_f , $t_{\text{ст}}$ — температура корпуса светодиода, окружающей среды и термостатированной плиты, °С; P — мощность тепловыделений светодиода, Вт.

Проводимость $\sigma_{\text{кл}}$ может быть оценена по соотношению:

$$= \frac{1}{S}, \quad (2)$$

где S_{α} — площадь поверхности корпуса светодиода, участвующая в конвективном теплообмене, м²; для рассматриваемых условий эксперимента коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{кл}}$ в случае свободноконвективного и лучистого теплообмена не превышает 15 Вт/м²К [10, 11]. Проводимость σ_{λ} можно рассчитать по соотношению:

$$= \frac{1}{S}, \quad (3)$$

где $S_{\text{осн}}$ — площадь контакта основания корпуса светодиода с платой, м²; $\alpha_{\text{эф}}$ — эффективный коэффициент теплообмена, характеризующий интенсивность кондуктивного теплопереноса к плате и термостатированной плите (для условий контакта прижатых через термопасту [12] плоских металлических поверхностей $\alpha_{\text{эф}} = 5000\text{--}10\,000$ Вт/м²К [13]).

Учитывая, что коэффициент теплообмена $\alpha_{\text{эф}}$ превосходит $\alpha_{\text{кл}}$ более чем в 100 раз, следует отметить, что при использовании предлагаемой методики эксперимента кондуктивная проводимость σ_{λ} будет существенно превосходить $\sigma_{\text{кл}}$. В таком случае основное влияние на тепловой режим светодиода будет оказывать термостатированная плита. Поэтому теплообмен корпусов светодиодов с окружающей воздушной средой можно считать пренебрежимо малым. Кроме того, при постановке эксперимента на свободных от светодиодов поверхностях плиты и платы будет установлена теплоизоляция.

Для проведения экспериментальных исследований разработана установка, схема которой представлена на рис. 1.

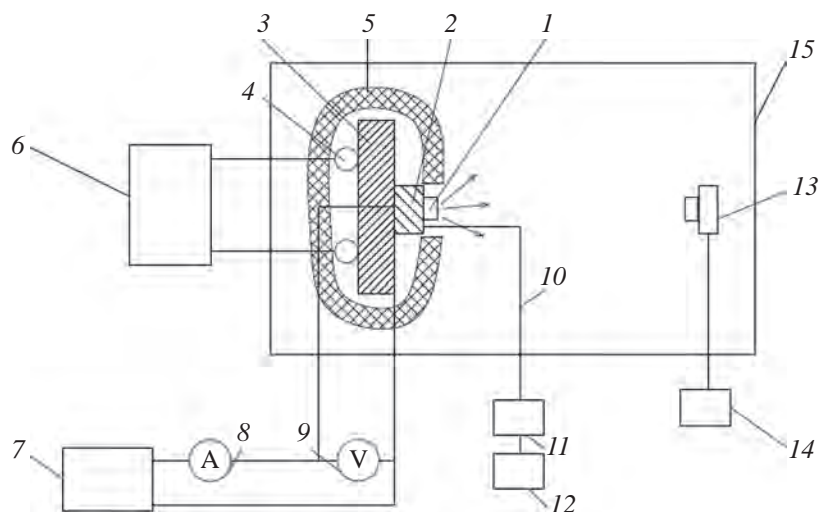


Рис. 1

Алюминиевая плата 2 с установленными на ней светодиодами 1 прижата с помощью винтов к термостатированной плите 3, изготовленной из высокотеплопроводного материала. С целью уменьшения воздействия окружающей среды установлена теплоизоляционная оболочка 5, выполненная из листового полиэтилена толщиной 5 мм. Припаянная к плите металлическая трубка 4 подключена к патрубкам жидкостного термостата 6 марки LOIP LT-100. Питание

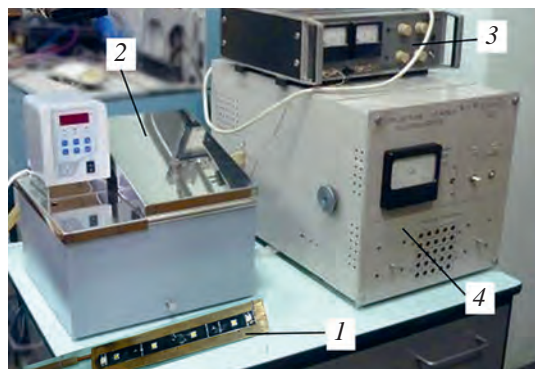


Рис. 2

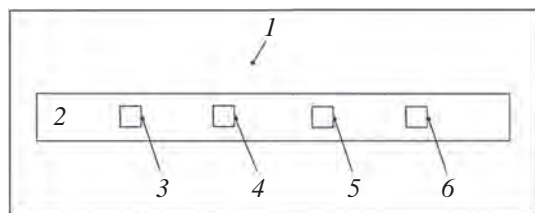


Рис. 3

светодиодов осуществляется от стабилизированного источника постоянного тока 7. Параметры электропитания, подаваемого на светодиоды, измеряются с помощью амперметра 8 и вольтметра 9. Температура элементов измеряется с помощью термоэлектрических термометров 10 типа хромель-копель, коммутатора 11 и цифрового вольтметра 12 марки В7-78/1, а температура подаваемой жидкости — с помощью термометра термостата. Для проведения светотехнических измерений плата со светодиодами размещается в специальной камере 15, где создаваемая ими освещенность регистрируется фотодатчиком 13 люксметра ТКА-люкс 14. Внешний вид установки представлен на рис. 2 (1 — термостатируемая плата с установленными на ней светодиодами; 2 — жидкостный термостат; 3 — источник питания; 4 — камера для светотехнических измерений).

На рис. 3 представлена схема расположения термометров на корпусе светодиодов 3–6, алюминиевой плате 2 и термостатируемой плите 1.

В ходе эксперимента на светодиоды подавалось электропитание напряжением 20 В и ток 200 мА, температура плиты изменялась в пределах 25–90 °С с помощью теплоносителя (дистиллированная вода), измерялась освещенность, создаваемая светодиодами, и снимались показания датчиков температуры. Результаты представлены на рис. 4.

Освещенность, обеспечиваемая светодиодами, уменьшалась с ростом температуры и к концу эксперимента составляла порядка 80 % от начального значения. При температуре выше 93 °С светодиоды считались неработоспособными, так как создаваемый световой поток не удовлетворял минимально допустимым значениям [14].

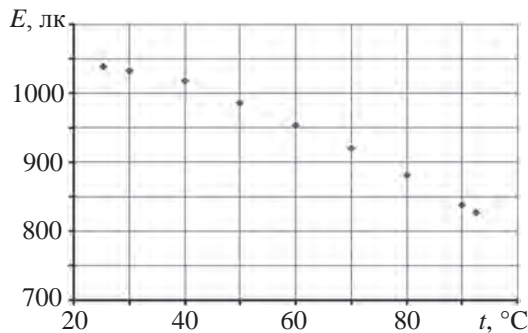


Рис. 4

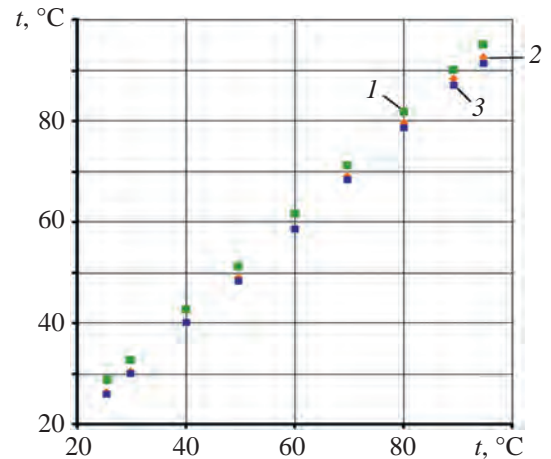


Рис. 5

Зависимость температуры компонентов экспериментальной установки от температуры жидкости приведена на рис. 5 (1 — корпус светодиодов; 2 — плата; 3 — термостатируемая плита). Обусловленная наличием контактных тепловых сопротивлений разность температуры корпусов светодиодов и платы составляла порядка 3 °C, оставаясь неизменной во всем исследованном диапазоне температур. Это подтверждает принятое допущение о пренебрежимо малом влиянии окружающей среды.

Разработанная методика проведения эксперимента была использована для оценки влияния температуры на работоспособность светодиодов повышенной мощности и надежности. Представленная в работе экспериментальная установка может быть рекомендована для исследований светодиодных систем с плотностью тепловыделений до нескольких десятков киловатт на квадратный метр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухерджи А., Сони А., Розовский Е. И. О влиянии повышения температуры окружающей среды на срок службы светодиодов // Светотехника. 2016. № 1. С. 31–34. EDN VOSQEV.
2. Смирнов С. В., Саврук Е. В., Гончарова Ю. С. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2011. № 2-2(24). С. 55–58. EDN OUWBKH.
3. [Электронный ресурс]: <<https://russianelectronics.ru/srok-sluzhby-svetodiodnyh-svetilnikov-rekomendaczii-po-testirovaniyu/>>.
4. Годовицын И. В. Срок службы сверх ярких светодиодов. Причины отказов [Электронный ресурс]: <<http://www.ledsvet.ru>>.
5. Беринцев А. В., Новиков С. Г. Исследование InGaN и AlGaInP светодиодов при малых токах и высоких температурах // Радиоэлектронная техника. 2012. № 1(5). С. 59–65. EDN UEAFOV.
6. Ефремов А. А., Бочкарева Н. И., Горбунов Р. И. и др. Влияние джоулевого разогрева на квантовую эффективность и выбор теплового режима мощных голубых InGaN/GaN светодиодов // Физика и техника полупроводников. 2006. Т. 40, № 5. С. 621–627. EDN RCZKWX.
7. Ашратов А. А., Микаева С. А., Мышонков А. Б. Измерение температуры кристалла маломощного светодиода // Приборы. 2010. № 5(119). С. 56–61. EDN МЕННХВ.
8. Грушко Н. С., Хайрулина А. С. Оптические характеристики белых светодиодов InGaN/AlGaIn/GaN: световая эффективность, КПД, координаты цветности // Естественные и технические науки. 2008. № 6(38). С. 45–49. EDN JXQPWT.
9. Дюльнев Г. Н. Теория тепло- и массообмена. СПб: НИУ ИТМО, 2012. 195 с.
10. Клейменов Е. П., Кузнецов М. М., Беляев В. В., Нессемон К. Д. Расчет отвода тепла от основания светодиодного светильника при свободно конвективном теплообмене // Вестник Московского энергетического института. 2018. № 1. С. 86–90. DOI 10.24160/1993-6982-2018-1-86-90. EDN YOJLV.
11. Герасимов Д. Н., Моргунова С. М. Теплообмен излучением: учебник для вузов. СПб: Лань, 2023. 156 с.

12. Колпаков А. Возвращаемся к термопасте // Силовая электроника. 2015. Т. 3, № 54. С. 90–95.
13. Герасютенко В. В., Кorableв В. А., Шарков А. В., Минкин Д. А. Исследование методов интенсификации контактного теплообмена между элементами электронной аппаратуры // Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ: Сб. тр. V Междунар. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург, 23–24 мая 2019 года. СПб: Университет ИТМО, 2019. С. 185–197. EDN HSTEBP.
14. Байнева И., Байнев В. Программная модель для оценки эффективности и надежности светодиодных источников света и приборов // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 3. С. 40–42.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Владимир Антонович Кorableв** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, образовательный центр „Энергоэффективные инженерные системы“; ст. науч. сотр.; E-mail: kvant1953@gmail.com
- Дмитрий Алексеевич Минкин** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, кафедра физико-технических основ обеспечения; E-mail: mindim-spb@mail.ru

Поступила в редакцию 10.07.24; одобрена после рецензирования 16.10.24; принята к публикации 27.02.25.

REFERENCES

1. Mukkherdzhii A., Soni A., Rozovskiy E.I. *Svetotekhnika*, 2016, no. 1, pp. 31–34. (in Russ.)
2. Smirnov S.V., Savruk E.V., Goncharova Yu.S. *Proceedings of the TUSUR University*, 2011, no. 2-2(24), pp. 55–58. (in Russ.)
3. <https://russianelectronics.ru/srok-sluzhby-svetodiodnyh-svetilnikov-rekomendaczii-po-testirovaniyu>. (in Russ.)
4. <http://www.ledsvet.ru>. (in Russ.)
5. Berintsev A.V., Novikov S.G. *Radioelektronnaya tekhnika*, 2012, no. 1(5), pp. 59–65. (in Russ.)
6. Efremov A.A., Bochkareva N.I., Gorbunov R.I., Lavrinovich D.A., Rebane Yu.T., Tarkhin D.V., Shreter Yu.G. *Semiconductors*, 2006, no. 5(40), pp. 605–610.
7. Ashryatov A.A., Mikayeva S.A., Myshonkov A.B. *Pribery*, 2010, no. 5(119), pp. 56–61. (in Russ.)
8. Grushko N.S., Khayrulina A.S. *Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, 2008, no. 6(38), pp. 45–49. (in Russ.)
9. Dul'nev G.N. *Teoriya teplo- i massoobmena* (Theory of Heat and Mass Transfer), St. Petersburg, 2012, 195 p. (in Russ.)
10. Kleymenov E.P., Kuznetsov M.M., Belyaev V.V., Nessemmon K.D. *Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute*, 2018, no. 1, pp. 86–90, DOI 10.24160/1993-6982-2018-1-86-90. (in Russ.)
11. Gerasimov D.N., Morgunova S.M. *Teploobmen izlucheniym* (Radiation Heat Exchange), St. Petersburg, 2023, 156 p. (in Russ.)
12. Kolpakov A. *Silovaya elektronika*, 2015, no. 3(54), pp. 90–95. (in Russ.)
13. Gerasyutenko V.V., Korablev V.A., Sharkov A.V., Minkin D.A. *Sovremennyye metody i sredstva issledovaniy teplofizicheskikh svoystv veshchestv* (Modern Methods and Means of Studying the Thermophysical Properties of Substances), Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, May 23–24, 2019, pp. 185–197. (in Russ.)
14. Bayneva I., Baynev V. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*, 2011, no. 3, pp. 40–42. (in Russ.)

DATA ON AUTHORS

- Vladimir A. Korablev** — PhD, Senior Researcher; ITMO University, Educational Center „Energy-Efficient Engineering Systems“; E-mail: kvant1953@gmail.com
- Dmitry A. Minkin** — PhD, Associate Professor; Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Department of Physical and Technical Fundamentals of Fire Safety; E-mail: mindim-spb@mail.ru

Received 10.07.24; approved after reviewing 16.10.24; accepted for publication 27.02.25.