

5. Интеллектуальное обслуживание редукторов горных машин / В.И. Клишин, Б.Л. Герике, Е.Г. Кузин, А.А. Мокрушев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S38. – С. 369-392. – DOI 10.25018/0236-1493-2017-12-38-369-392.

6. Вострецова Е.В. Основы информационной безопасности: учебное пособие / Е.В. Вострецова – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. – 208 с. – ISBN 978-5-7996-2677-8.

7. Кузин, Е.Г. Современные подходы к многофункциональной системе безопасности для достижения целей устойчивого развития / Е.Г. Кузин, С.Ш. Одилов // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы: Материалы V международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 02-03 декабря 2021 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 54-57.

УДК.628.984

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕТИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Савкова Т.Н., Селиверстов Г.И., Колесник Ю.Н.
Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого

***Аннотация.** Рассмотрен алгоритм решение задачи расчета остаточного ресурса светодиодных осветительных устройств. Предложена формула для расчёта остаточного ресурса светодиодного осветительного устройства. Для двух режимов работы осветительного устройства представлен расчёт остаточного ресурса.*

***Ключевые слова:** светодиодное устройство, остаточный ресурс, температура «p-n» перехода.*

***Annotation.** An algorithm for solving the problem of calculating the residual life of LED lighting devices has been considered. A formula for calculating the residual life of LED lighting devices has been proposed. The calculation of the residual resource for two operation modes of the lighting device has been presented.*

***Key words:** LED device, residual life, "p-n" transition temperature.*

Подобно любым искусственным источникам света, надежность и срок службы светодиодных осветительных устройств зависит от различных факторов. К наиболее важным из них следует отнести влажность, температура, ток и напряжение питания, механическое и химическое воздействие, световое излучение. Эти и другие факторы могут непосредственно привести к полному отказу или повлиять на характеристики старения в долгосрочной перспективе и таким образом вызвать снижение надежности и срока службы светодиодных источников света.

Определение остаточного ресурса светодиодной осветительной установки в реальном времени могло бы повысить эксплуатационную надёжность систем освещения, а также позволило бы своевременно осуществлять их замену, что очень важно для промышленного производства, в том числе и для предприятий угольной отрасли, где предъявляются высокие требования к безопасности организации работ.

В основу методов прогнозирования остаточного ресурса положены зависимости ресурса оборудования от его наработки, установленные по конкретным видам деградационных процессов. Для прогнозирования остаточного ресурса оборудования существующими методами необходимо установить, что является основной причиной потери работоспособности, действующую нагрузку и выполнить расчеты по соответствующим зависимостям. Для определения остаточного ресурса

при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента исследования необходимо определить изменение параметра исследуемой установки, определенных при диагностировании, а также знать наработку устройства между проверками [1].

Одним из способов прогнозирования работы светодиодов (СД) является использование методов ускоренных испытаний, при котором расчет срока службы в ускоренном испытании умножается на коэффициент ускорения. Такой процесс включает определение измерения светового потока образцов светодиодных осветительных устройств за определенный интервал времени. Оценка окончания срока службы производится на основе снижения светового потока на 50% (L50) или 70% (L70) от первоначального значения [2-7].

В [8] разработана автоматизированная система проверки срока службы светодиодных устройств, которая управляется и контролируется с помощью графического интерфейса, что упрощает испытание и сводит к минимуму систематические ошибки во время процедуры.

При прогнозировании времени отказа исследователями [9] в качестве параметра отказа использовалось падение напряжения на СД и предполагается, что увеличение температуры «р-п» перехода СД приводит к увеличению напряжения на выводах СД. В работе были представлены результаты для двух экспериментов. В первом опыте увеличение прямого напряжения на 20% вызывает обрыв в цепи СД. Во втором – при увеличении напряжения на 20% на всех СД матрицы привело к отказу в работе светодиодного осветительного устройства при температуре окружающей среды 180°C.

Согласно методике [10] ускоренные испытания для определения срока службы светодиодов предусматривают форсирование, приводящее к интенсификации физико-химических процессов качественного изменения СД без учета основных механизмов отказов. Номинальное время наработки (срок службы СД) учитывает коэффициент форсирования и время испытания в ускоренном режиме. Коэффициент форсирования ускоренных операций определяется энергией активации отказов с учетом температуры «р-п» перехода в нормальных условиях эксплуатации и в ускоренном режиме испытаний. Следовательно, температура «р-п» перехода СД является ключевым фактором при определении остаточного ресурса.

Нами предложен алгоритм расчёта остаточного ресурса светодиодного светотехнического устройства в реальном времени.

Для прогнозирования остаточного ресурса светодиодной осветительной установки вводим коэффициент оптического и теплового износа f_i , который находится по выражению:

$$f_i = \frac{E_{\Delta t_i}}{E_{\text{норм}}},$$

где $E_{\text{норм}}$ – нормированное значение срока службы светодиода;

$E_{\Delta t_i}$ – значение срока службы светодиодной осветительной установки за период дискретизации по закону Аррениуса.

Тогда время выработки светодиодной осветительной установки за период дискретизации Δt_i равно:

$$E_{\text{выр}_i} = \frac{\Delta t_i}{f_i}.$$

Остаточный ресурс определяем по выражению:

$$E_{\text{ост}} = E_{\text{норм}} - E_{\text{выр}}.$$

Тогда формула для расчета остаточного ресурса светодиодной осветительной установки будет иметь окончательное выражение:

$$E_{\text{ост}} = E_{\text{норм}} - \sum_{i=1}^n E_{\text{выр}_i} = E_{\text{норм}} - \frac{\Delta t_i \cdot E_{\text{норм}}}{A} \cdot \sum_{i=1}^n e^{B \cdot T_i},$$

где n – количество периодов дискретизации.

Пример расчета. Для определения остаточного ресурса светодиодной осветительной установки воспользуемся законом Аррениуса. Из системы уравнений:

$$\{E_1 = A \cdot e^{-B \cdot T_1}\}$$

находим A и B – коэффициенты, характеризующие скорость теплового износа светодиода. Для значений $E_1 = 250000$ ч и $E_2 = 75000$ ч – срока службы СД по уровню снижения светового потока на 50% при температурах «р-п» перехода кристалла СД $T_1 = 61^\circ\text{C}$ и $T_2 = 84^\circ\text{C}$ получим: $A = 6091240$ ч и $B = 0.052359$ $1/^\circ\text{C}$.

Воспользовавшись расчётами [11] мощности тепловых потерь – 0,67 и 1,65 Вт; температуры «р-п» перехода кристалла СД – 85 и 149°C и теплового сопротивления «р-п» переход кристалла – окружающая среда (84 и $73^\circ\text{C}/\text{Вт}$) для токов $I_1=0,35\text{A}$ и $I_2=0,7\text{A}$ для СД ARPL-3W6000 определяем значения остаточного ресурса светодиодной осветительной установки (таблица 1).

Таблица 1

Результаты расчета остаточного ресурса

За время t , ч	Остаточный ресурс светодиодной осветительной установки, ч	
	$E_{\text{ост1}}$ при $I_1 = 0,35$ А и $T_{j1} = 85^\circ\text{C}$	$E_{\text{ост2}}$ при $I_2 = 0,7$ А и $T_{j2} = 149^\circ\text{C}$
2000	50000	9926,6
2500	50000	0
5000	46486,53	-
10000	42973,06	-
15000	39459,59	-
20000	35946,12	-
25000	32432,65	-
30000	28919,18	-
35000	25405,71	-
40000	21892,25	-
45000	18378,78	-
50000	14865,31	-

Расчитанные режимы работы светодиодного осветительного устройства подтверждают гарантированный срок службы, равный 50000 часов при температуре перехода $T_{j1}=85^\circ\text{C}$ и выход из строя через 2000 ч при температуре $T_{j2}=149^\circ\text{C}$.

Система контроля остаточного ресурса светодиодных осветительных устройств [12] может быть реализована следующим образом. Блок светодиодов, питающийся постоянным током от блока питания, формирует требуемый уровень светового потока. Значения потребляемого светодиодами тока и температура измеряются с помощью соответствующих датчиков. Далее, значения измеренных величин поступают в оперативную память микроконтроллера, программное обеспечение которого выполняет необходимые расчёты остаточного ресурса светодиодов по алгоритмам, описанным выше. Результаты расчётов через встроенный радиомодем по радиоканалу передаются в компьютер или другое принимающее устройство. При достижении критического значения остаточного ресурса светодиодов осветительного устройства может быть включен звуковой сигнал.

Таким образом, предложен алгоритм учета остаточного ресурса светодиодных осветительных устройств, отличающийся непрерывным контролем электрических и тепловых па-

раметров светодиодов в процессе эксплуатации и использованием существующей зависимости срока службы светодиодов от этих параметров, что обеспечивает своевременное выявление износа светодиодов и предотвращение ущерба от несвоевременного выхода из строя светодиодных осветительных устройств.

Список литературы:

1. Швед, И.М. Прогнозирование остаточного ресурса машин и оборудования в животноводстве : учебное пособие / И.М. Швед, Д.Ф. Кольга. – Минск : БГАТУ, 2020. – 120 с
2. ОСТ 11-336.938-83. Приборы полупроводниковые. Методы ускоренных испытаний на безотказность и долговечность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.1b-m.ru/techdocs/kgs/ost/1065/info/23239/> (дата обращения: 30.06.2020).
3. Caswell Greg. The Transition to High Brightness LEDs [Electronic resource]. – 2012. – Mode of access: <http://www.researchgate.net/publication/26792023>. – Date of access: 21.02.2022).
4. ГОСТ Р 54814–2018 Светодиоды и светодиодные модули для общего освещения и связанное с ними оборудование. Термины и определения. М., Стандартиформ, 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200160560>(дата обращения: 29.06.2020).
5. ГОСТ Р 54815–2011/IEC/PAS 62612:2009 Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжения свыше 50 В. М.: Стандартиформ, 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [1200095085.pdf](http://docs.cntd.ru/document/1200095085.pdf) (дата обращения: 29.06.2020).
6. Факторы срока службы светодиодов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vdmais.ua/news/factory-sroka-sluzhby-svetodiiodov/>(дата обращения: 30.06.2020).
7. Yang Xi., An Alternative Lifetime Model for White Light Emitting Diodes under Thermal–Electrical Stresses / Xi Yang, Bo Sun ID , Zili Wang, Cheng Qian ID , Yi Ren ID , Dezhen Yang and Qiang Feng // Materials 2018, 11, 817/[Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <http://www.mdpi.com/journal/materials>. – Date of access : 26.01.2022.
8. Chang, M. Light emitting diodes reliability review/ Moon-Hwan Chang, Diganta Das, P.V. Varde, Michael Pecht / [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access : <http://www.doi.org/10.1016/j.microrel.2011.07.063>. – Date of access : 26.01.2022.
9. Thotagamuwa D., Remote monitoring of LED lighting system performance/Dinusha R. Thotagamuwa, Indika U. Perera, Nadarajah Narendran/ Fifteenth International Conference on Solid State Lighting and LED-based Illumination Systems, edited by Matthew H. Kane, Nikolaus Dietz, Ian T. Ferguson, / [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access : <http://https://www.lrc.rpi.edu/> – Date of access : 26.01.2022.
10. Mangalagiri V., Digital Automation in Monitoring of Life Test setup of LED lamps using Embedded Systems//Vinay Kumar Mangalagiri, Nikhil S. Gujar, P. Srinivasa Varma/International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075, Volume-8 Issue-6, April 2019 / [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access : https://www.researchgate.net/publication/333134105. – Date of access: 26.01.2022.
11. Савкова, Т.Н., Калориметрический способ определения температуры активной области мощных светодиодов // Т.Н. Савкова, А.И. Кравченко, С.Н. Кухаренко, Ю.Н. Колесник / Датский научный журнал. – 2018. – №18/ 2018, – С.32-36.
12. Савкова, Т.Н. Автоматическая система контроля остаточного ресурса светодиодного светильника / Т.Н.Савкова [и др.] // Современные проблемы машиноведения: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. 125-летию со дня рождения П. О. Сухого), Гомель, 22 окт. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О.Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого»; под общ. ред. А.А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П.О.Сухого, 2020. – С. 198-200.