

*САПРЫКА А. В.*, д-р техн. наук, проф., ХНУГХ, Харків

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

В данной статье сделан анализ надежности осветительного комплекса. Современный комплекс наружного освещения города представляет собой сложную систему, надежность которой определяется способностью объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования.

**Ключевые слова:** надежность, наружное освещение, анализ, осветительная установка, базовым комплектом, энергопотребление, статистический ряд

**Введение.** В современных условиях одним из наиболее актуальных аспектов развития общества на перспективу являются проблемы мегаполисов и групповых систем расселения. Полученные данные показывают, что если в настоящее время только в одном городе мира численность населения превышает 20 млн. человек – Токио, то к 2025 г. их будет уже 5 (Сан-Паулу, Мунбайи, Москва и Мехико). Однако суперконцентрация людей, разрастание транспортных систем, развитие инженерной инфраструктуры оказались факторами, способствующими в современном виде к усугублению негативных кризисных ситуаций почти во всех развитых и развивающихся странах, что в свою очередь, выдвигает новые требования к электроснабжению и электросбережению. Одним из главных технико-экономических показателей качества технических устройств, в том числе и осветительных комплексов, является надежность. Проблема надежности электрических сетей и систем – одна из первоочередных проблем электроэнергетики [1].

Для перспективного развития наружного освещения необходимо внедрение нового поколения светотехнического оборудования, которое позволит значительно сократить энергопотребление и снизить затраты на обслуживание, а также повысить безопасность в работе. Как показано в работах [2,3], замена в Украине 30 % ламп накаливания на светодиодные источники света предоставит возможность сэкономить до 14 млрд. кВт. ч. электроэнергии. Надежная работа осветительных комплексов имеет немаловажное значение в общем балансе электропотребления, поэтому моделирование надежности работы излучающих устройств является актуальным.

**Анализ литературных данных и постановка проблемы.** В Украине специальные исследования, направленные на изучение надежности освещения особенно в современных осветительных приборах, проводились довольно редко. Известно, что оценка надежности базируется на обширном статистическом материале и моделях надежности, которые позволяют прогнозирование изменения уровня надежности во времени и оценивать влияние ремонтно-профилактических работ на показатели надежности. Анализ последних публикаций [2-10] выявил необходимость проведения исследования современных источников света.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является анализ надежности комплекса наружного освещения и светодиодных излучающих устройств с учетом графика циклической работы осветительных приборов и помесичной температуры.

**Исследование надежности осветительного комплекса.** Современный комплекс наружного освещения города представляет собой наиболее сложную систему, надежность которой определяется способностью объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования. Процесс изменения параметров рабочего режима в системе наружного освещения является, как правило, случайным. В соответствии с электрической схемой наружного освещения, из всей совокупности оборудования и элементов конструкции можно выделить технологическую цепь, которую условно назовем базовым комплектом (БК) системы наружного освещения (рис. 1). В процессе эксплуатации городских сетей были сделаны

наблюдения за временем восстановления освещения после отказов в работе БК.

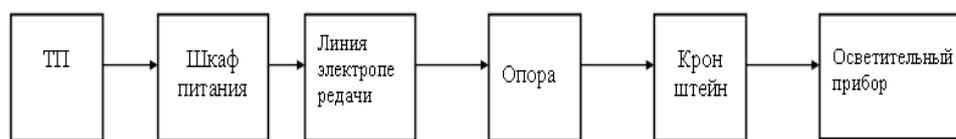


Рис. 1 – Структурная схема базового комплекта системы наружного освещения

#### Результаты

наблюдений приведены в табл. 1. Предварительный анализ показал, что длительность восстановления имеет широкий диапазон изменения, что соответствует ремонту различных по сложности элементов БК.

Длительность ремонта на трансформаторной подстанции существенно больше, чем ремонт остальных элементов БК, поэтому для выявления статистических закономерностей целесообразно исключить из совокупности наблюдений значения времени восстановления большие 5 часов. Таким образом, объем выборки составил 49 значений.

Для дальнейших исследований нами был построен статистический ряд. Диапазон изменения случайной величины разбит на шесть интервалов ( $k=6$ ). Статистический ряд оформлен в виде табл. 2.

В соответствии с данными статистического ряда была построена гистограмма и график статистической функции распределения.

Статистическая обработка результатов измерения и первичный анализ полученных результатов не позволяет в полной мере описать случайный процесс. Необходимо определить числовые характеристики случайных величин и подобрать соответствующий закон распределения.

Оценка гистограммы, графика статистической функции распределения и анализ статистических параметров совокупности случайных чисел позволяет выдвинуть гипотезу о принадлежности ее к экспоненциальному закону распределения, поэтому рассмотрим вопрос о согласовании теоретического и статистического распределения.

Проведем проверку гипотезы с помощью критерия Пирсона  $\chi^2$ . В результате получаем  $\chi^2=2,237$ , что с вероятностью 0,5 позволяет принять гипотезу. Кроме

того, анализ частичных значений  $\chi^2$  позволяет утверждать, что наибольшие расхождения приходятся на интервалы, содержащие незначительное количество точек. В результате получаем  $\chi^2=2,237$ , что с вероятностью 0,5 позволяет принять гипотезу. Кроме того, анализ частичных значений  $\chi^2$  позволяет утверждать, что наибольшие расхождения приходятся на интервалы, содержащие незначительное количество точек.

Таблица 1 – Результаты наблюдений за временем восстановления освещения

№	$\tau_i$ , мин.										
1	305	12	40	23	1370	34	90	45	25	56	25
2	270	13	40	24	210	35	15	46	75	57	145
3	590	14	1155	25	1230	36	30	47	55	58	40
4	80	15	165	26	95	37	130	48	20	59	885
5	80	16	1080	27	160	38	40	49	20	60	90
6	75	17	120	28	140	39	980	50	20	61	55
7	120	18	290	29	1000	40	325	51	20	62	70
8	60	19	140	30	165	41	10	52	40		
9	65	20	10	31	15	42	120	53	45		
10	20	21	1010	32	70	43	95	54	575		
11	20	22	1031	33	195	44	75	55	15		

Таблица 2 – Статистический ряд

Границы интервалов	0,1667; 0,944	0,944; 1,722	1,722; 2,5	2,5; 3,278	3,278; 4,056	4,056; 4,834
Количество точек	22	13	7	4	1	2
Частота	0,449	0,269	0,143	0,081	0,02	0,04

Результаты статистической обработки представлены в табл. 3.

В соответствии с проведенными расчетами, примем среднее время восстановления  $\tau$  равным среднему выборочному  $\tau=1,3639$  часов.

Таблица 3– Результаты статистической обработки наблюдений за временем восстановления

№	Наименование параметра	Значение
1.	Объем выборки N	49
2.	Минимальное значение $\tau_{\min}$ , час	0,1667
3.	Максимальное значение $\tau_{\max}$ , час	4,834
4.	Размах, час	4,6667
5.	Среднее выборочное, час	1,3639
6.	Дисперсия, час <sup>2</sup>	1,2407
7.	Среднеквадратическое отклонение, час	1,1138

В качестве параметра экспоненциального распределения восстановления используется интенсивность восстановления  $\mu$ , которая связана со средним временем восстановления  $\tau$  следующим соотношением и в рассматриваемом нами случае  $\mu=0,7332$ .

$$\mu = \frac{1}{\tau} \quad (1)$$

Тогда вероятность восстановления элемента за время от 0 до  $t$  вычисляется по формуле

$$G(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (2)$$

Вторым важным показателем надежности БК является частота отказов.

Опыт эксплуатации БК показывает, что частота отказов в рассматриваемый период для определенного типа осветительного прибора при одинаковой длине линии электропередачи, остается постоянной. Однако такого рода сочетания встречаются довольно редко и наблюдение за их отказами не может дать объективную оценку частоты отказов. Следовательно, частота отказов БК – это расчетная величина.

Определение частоты отказов БК для совокупности последовательно включенных элементов осуществляется по формуле

$$\omega_{БК} = \sum_{i=1}^5 \omega_i, \quad (3)$$

Наибольшую трудность вызывает оценка величины частоты отказов осветительного прибора  $\omega_5$ , поскольку она в значительной мере зависит от качества электрической энергии в городских осветительных сетях и не может быть принята в соответствии со справочными данными.

Поскольку показатели качества электрической энергии в городских сетях значительно отличаются от нормативных [3] и имеет место низкое качество источников света, применяемых в Украине, то опыт эксплуатации осветительных приборов в сетях наружного освещения коммунального предприятия “Горсвет” г. Харькова и исследования, проведенные профессором Кожушко Г.М. позволяют оценить величину частоты отказов осветительного прибора  $\omega_5=1,25 \text{ год}^{-1}$ .

Поэтому при оценке надежности комплекса наружного освещения необходимо учитывать реально существующее качество электроэнергии.

Физические процессы, происходящие в полупроводниковых приборах наружного освещения, существенно зависят от температуры окружающей среды. Вследствие этого, надежность работы светодиодных излучающих устройств, также зависит от температуры окружающей среды.

Экспериментальные исследования, проведенные Щербаковым В.Н., по программе длительных испытаний (life time) позволили получить данные об интенсивности отказов  $\lambda$  светодиодов на основе  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{P}$  в стандартном пластмассовом корпусе Т-1  $\frac{3}{4}$ . Для получения аналитической зависимости интенсивности отказов  $\lambda$  от значений температуры окружающей среды проведем аппроксимацию данных методом наименьших квадратов и получим следующее аналитическое выражение

$$\lambda = 0,0000479e^{0,0381T} - 0,0000259 \quad (4)$$

Полученная аналитическая зависимость позволяет провести математическое моделирование и оценить вероятность отказа светодиодного излучающего устройства при различной температуре окружающей среды.

Будем полагать, что вероятность отказа светодиода подчиняется экспоненциальному закону распределения

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Для оценки вероятности безотказной работы светодиодных излучающих устройств при различной температуре окружающей среды в реальных условиях эксплуатации проведем моделирование на ПК работы этих устройств в течении

пяти календарных  $R(t)$

лет и определим вероятности безотказной работы для соответствующих периодов времени.

В результате моделирования получим на рис. 2 график зависимости вероятности безотказной работы от времени.

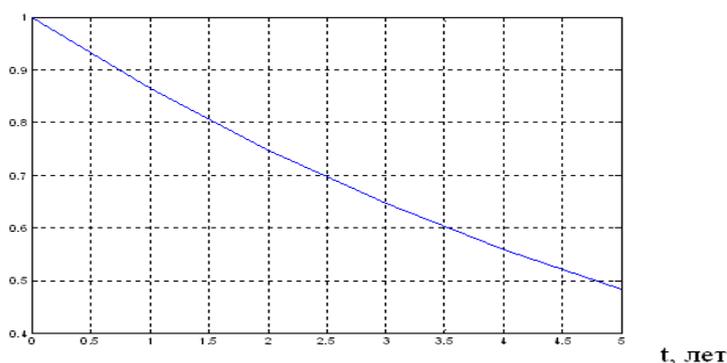


Рис. 2 – Зависимость вероятности безотказной работы от времени для среднегодовой температуры

Таким образом, модель с учетом графика циклической работы осветительных приборов и помесичной температуры дает возможность более точно оценить надежность работы светодиодных излучающих устройств.

**Выводы.** При оценке надежности комплекса наружного освещения мегаполиса необходимо учитывать реально существующее качество электроэнергии. Модель с учетом графика циклической работы осветительных приборов и помесичной температуры дает возможность более точно оценить надежность работы светодиодных излучающих устройств, научно-обоснованно организовать сроки технического обслуживания и прогнозировать уровни освещенности объектов в течение продолжительного промежутка времени.

**Список литературы:** 1. Гук, Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике [Текст] / Ю. Б. Гук - Л., Энергоатомиздат, 1990. - 207с. 2. Айзенберг, Ю. Б. Справочная книга по светотехнике [Текст] / Ю. Б. Айзенберг - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Знак, 2006. - 972 с. 3. Сапрыка, А. В. Современные технологии в осветительных системах мегаполиса [Текст] / А. В. Сапрыка - Харків, ХНУРЕ, 2010. -260с. 4. Рубцов, В. П. Моделирование в технике [Текст] / В. П. Рубцов, М. Я. Погребиский - М.: МЭИ, 2008. - 101с. 5. Коган, Л. М. Полупроводниковые светодиоды: современное состояние [Текст] / Л. М. Коган - Светотехника, 2000, №6. - С. 11-15. 6. Щербаков, В. Н. Исследование надежности и диагностика светодиодов на основе гетероструктур всех основных цветов [Текст] / В. Н. Щербаков // В сб. трудов 20 МНТК «Информационные технологии и моделирование приборов и техпроцессов в целях обеспечения качества и надежности». М: МГУПИ. 2006. Т. 3. - С. 65-74. 7. Сапрыка, А. В. Оценка экономического ущерба в осветительном комплексе мегаполиса с учетом качества электроэнергии [Текст] / А. В.

Сапрыка, Г. М. Кожушко, Ю. А. Басова, В. И. Римшин, С. В. Марков - «Естественные и технические науки», № 9-10(77) 2014. - С. 474-476. 8. Васильченко, В. И. Основные направления развития современных систем учета электроэнергии [Текст] / В. И. Васильченко, О. Г. Гриб, А. В. Сапрыка, А. В. Лелека - Матеріали I Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» 11-12 грудня 2014 р. Харків, НТУ «ХП», 2014. - С. 23-24. 9. Сапрыка, А. В. Обеспечение экологической безопасности городской среды на основе концепции энергосбережения в наружном освещении [Текст] / А. В. Сапрыка, Л. Ю. Ступишин - Известия Юго-Западного государственного университета. Серия «Техника и технологии». №2. 2012. - С 320-322. 10. Гриб, О. Г. Средства измерительной техники в электроэнергетике [Текст] / О. Г. Гриб и др. - Харьков, «Типография Мадрид», 2014. - 744 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Guk, Y. B. (1990) Theory of reliability in the power. L. Energoatomizdat. 207. 2. Eisenberg, J. B. (2006). Handbook for Lighting. 3rd ed., Rev. and add. Moscow: Mark. 972. 3. Sapryka, A. V. (2010). Modern technology in lighting systems metropolis. Kharkov: KhNURE. 260. 4. Rubtsov, V. P., Pogrebissky M. M. (2008). Simulation in Engineering - M. MEI. 101. 5. Kogan, L. M. (2000). Semiconductor LEDs: current state of. Light, № 6, 11-15. 6. Shcherbakov, V. N. (2006). Reliability research and diagnostic LEDs based on heterostructures of primary colors. Proc. works 20 IRTC "Information technology and simulation of devices and technological processes to ensure quality and reliability." M: MGUPI. T. 3. Pp. 65-74. 7. Sapryka, A. V., Kozhushko, G. M., Bass, Y. A., Rymshyn, V.I., Markov, S. V. Damage to the Economic Evaluation in osvetytelnom complex mehapolysa with uchetom qualities electricity. "Estestvennye and tehnycheskye science», № 9-10 (77) 2014. 474-476. 8. Vasil'chenko, V. I., The fungus, O. H., Sapryka, A. V., Stork, A. V. (2014). Main direction of development of account sovremennh electricity. Proceedings of the I All-Ukrainian scientific conference "Actual problems of automation and instrumentation". Kharkiv, NTU "KPI", 2014, 23-24. 9. Sapryka, A. V., Stupyshyn, L. Y. (2012) Obespechenye ekolohycheskoy horodskoy security environment based on a concept Energy Saving Lighting naruzhnej. Proceedings of the South-West state-owned University. Series "Technique and Technologies". №2, 320-322. 10. Mushroom, O. H. and others. (2014). Sredstva yzmerytelnoy technics in Electricity. Kharkiv, "Madrid Tipografiya", 744.

Надійшла (received) 25.02.2015

## УДК 37.046

**Л. М. МАЛЯРЕЦ**, д-р економ. наук, проф., зав. каф., ХНЭУ, Харьков;  
**Е. А. КОВАЛЕВА**, канд. техн. наук, доц., преп., ХНЭУ, Харьков

### СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕСТОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА. ЛИНЕЙНАЯ АЛГЕБРА»

Статья посвящена созданию интерактивных тестов, сущностью которых является сравнительно большая заинтересованность учащихся осуществлять тестирование в режиме диалога с компьютером и сразу получать результат, а не ждать, когда учитель проверит бумажные тесты. Процесс создания интерактивных тестов разделен на несколько этапов, каждый из которых подробно описан в данной статье.

**Ключевые слова:** высшая математика, линейная алгебра, интерактивный тест, оценивание, Adobe Captivate.

**Введение.** Линейная алгебра является одним из основных разделов учебной дисциплины «Высшая математика». После изучения данного раздела студент должен знать и оперировать следующими понятиями: матрица, определитель, системы линейных алгебраических уравнений и способы их решения.

© Л. М. МАЛЯРЕЦ, Е. А. КОВАЛЕВА, 2015