

УДК 628.987 : 628.971

А.В.САПРЫКА, П.П.РОЖКОВ, кандидаты техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

В.П.ТАТЬКОВ

КП «Горсвет», г.Харьков

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Рассматривается надежность системы наружного освещения и повышение эффективности работы осветительного комплекса города.

Современная система наружного освещения города представляет собой сложный комплекс, состоящий из трансформаторных подстанций, шкафов питания, линий электропередач, осветительных установок. Сегодня система наружного освещения г.Харькова включает в себя более 65 тыс. световых приборов, из них осветительные установки с лампами ДНаТ составляют 45944 шт. и РВЛ – 19939 шт. Протяженность сетей составляет 3875,136 км, из них кабельных – 1150 км (422,58 км – кабельные в земле), шкафов – 707 шт., что обуславливает требования к надежности электроснабжения. Надежность определяется способностью объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования [1-3]. Процесс изменения параметров рабочего режима в системе наружного освещения является, как правило, случайным. Это связано прежде всего со случайным характером изменения нагрузок и соответствующим случайным характером изменения качества электроэнергии. Поэтому анализ надежности системы наружного освещения города является актуальным.

Целью настоящей работы является оценка показателей надежности системы наружного освещения г.Харькова.

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. Он содержит в себе последовательно включенные трансформаторную подстанцию, шкаф питания, линию электропередачи, опору, кронштейн и осветительный прибор (рис.1).

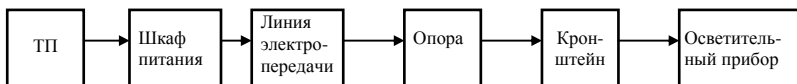


Рис.1 – Структурная схема базового комплекта системы городского освещения

В процессе эксплуатации городских сетей Харькова были сделаны наблюдения за временем восстановления освещения после отказов в работе БК. Результаты наблюдений приведены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты наблюдений за временем восстановления освещения

№	τ_i , мин.	№	τ_i , мин.	№	τ_i , мин.	№	τ_i , мин.	№	τ_i , мин.	№	τ_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		

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 больше 5 часов. Таким образом, объем выборки составил 49 значений.

Для дальнейших исследований построен статистический ряд (табл.2). Диапазон изменения случайной величины разбит на шесть интервалов ($k=6$).

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

В соответствии с данными статистического ряда построена гистограмма, представленная на рис.2, и график статистической функции распределения (рис.3).

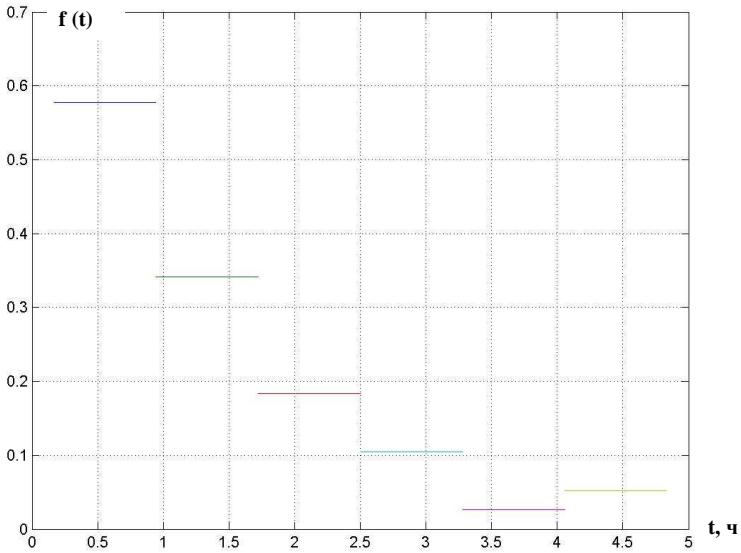


Рис.2 – Гистограмма распределения случайной величины

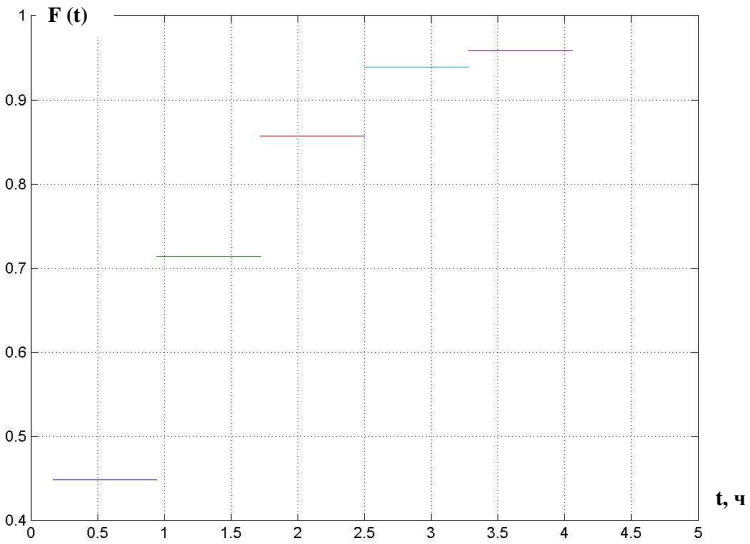


Рис.3 – График статистической функции распределения

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.

Результаты статистической обработки представлены в табл.3.

Таблица 3 – Результаты статистической обработки наблюдений за временем восстановления

№	Наименование параметра	Значение
1	Объем выборки N	49
2	Минимальное значение $\tau_{\text{мин}}$, ч	0,1667
3	Максимальное значение $\tau_{\text{макс}}$, ч	4,834
4	Размах, ч	4,6667
5	Среднее выборочное, ч	1,3639
6	Дисперсия, ч ²	1,2407
7	Среднеквадратическое отклонение, ч	1,1138

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

Проведем проверку гипотезы с помощью критерия Пирсона χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i},$$

где m_i – количество точек, которые фактически попали в i -й интервал; np_i – количество точек, которые теоретически должны попасть в i -й интервал; k – количество интервалов разбиения.

Результаты проверки гипотезы приведены в табл.4.

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

Таким образом, будем полагать, что время восстановления БК подчиняется экспоненциальному распределению.

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

Таблица 4 – Результаты проверки гипотезы

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 фактическое	22	13	7	4	1	2
Частота фактическая	0,449	0,269	0,143	0,081	0,02	0,04
Количество точек теоретическое	24,48	10,16	6,02	3,41	1,93	1,09
Частота теоретическая	0,4996	0,217	0,123	0,0695	0,0393	0,022
Члены суммы χ^2	0,252	0,516	0,158	0,104	0,445	0,762

В качестве параметра экспоненциального распределения восстановления используется интенсивность восстановления μ , которая связана со средним временем восстановления τ соотношением

$$\mu = 1/\tau$$

и в рассматриваемом случае $\mu = 0,7332$.

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

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

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

$$\omega_{БК} = \sum_{i=1}^5 \omega_i,$$

где ω_1 – частота отказов шкафа питания; ω_2 – частота отказов линии электропередачи; ω_3 – частота отказов опоры; ω_4 – частота отказов кронштейна; ω_5 – частота отказов осветительного прибора.

Следует отметить, что частота отказов линии электропередачи зависит от длины кабеля ℓ и способа его прокладки

$$\omega_2 = \omega_2^0 \cdot \ell,$$

где ω_2^0 – удельная частота отказов линии электропередачи, приходящаяся на 1 км (выбирается из справочника в соответствии с типом кабеля).

Величины ω_1 , ω_3 , ω_4 вычисляются по результатам наблюдений в процессе эксплуатации городских сетей Харькова и составляют $\omega_1=0,0028$ 1/год; $\omega_3=0,0008$ 1/год; $\omega_4=0,0004$ 1/год.

Наибольшую трудность вызывает оценка величины частоты отказов осветительного прибора ω_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.

Проведем анализ влияния качества электрической энергии на показатели надежности осветительного прибора.

Проведенный анализ показывает, что современные высокоинтенсивные источники света имеют срок эксплуатации до 25 тыс. часов. Во второй половине срока эксплуатации 50% ламп выходят из строя в результате повышенного напряжения $U_{\text{д}}$; 14% – не загораются, другие выходят из строя по различным причинам, присущим всем разрядным лампам высокого давления [4].

Эти факторы приводят к резкому сокращению срока службы разрядных ламп, типа ДНаТ или ДРИ, особенно тех, которые работают в начале линии. Анализ характеристик нагрузки с разными типами балластов показал, что значения светового потока в течение срока эксплуатации для системы “лампа - ПРА” отличаются от соответствующих данных, которые обычно приводятся в каталогах для номинальной лампы [5]. Степень отличия определяется отклонением мощности лампы от номинальной, которое в свою очередь определяется характеристикой кривой балласта и характером изменения напряжения на лампе в течение срока эксплуатации. Срок эксплуатации ламп в светильниках меньше в 1,5-2 раза, чем при испытаниях на стенде. Увеличение U_c до 240 В ведет к увеличению мощности ДНаТ на 28% и необоснованному использованию электроэнергии в 1,28 раза больше, чем надо. А снижение напряжения на 10% уменьшает световой поток до 22%.

Существенное влияние на срок эксплуатации имеют колебание

сети питания и вибрации. В [4] приведены сравнительные данные испытаний ДНаТ мощностью 400 Вт в лабораторных условиях при стабилизированном напряжении питания и в условиях эксплуатации при колебаниях в сети питания 5%. При стабилизированной сети питания срок эксплуатации составил 20 тыс. часов, а при колебаниях $\pm 5\%$ – 14 тыс. часов.

Наличие резких изменений напряжения более 4 В может привести к гашению отдельных ламп. Угасание ламп приводит к повторной с длительным периодом подаче импульса воспламенения на горячую горелку, что сокращает срок работы лампы и импульсного зажигающего устройства.

В осветительной системе с натриевыми лампами высокого давления необходимо учитывать целый ряд переменных величин, которые влияют на ее характеристики. Главные из них: диапазон напряжения на лампе (за счет допусков конструкции и технологии производства); диапазон полного сопротивления ПРА; колебания напряжения питания; изменение напряжения на лампе в процессе его работы; изменение напряжения на лампе в результате отбивания световой энергии на горелку.

Поскольку показатели качества электрической энергии в городских сетях значительно отличаются от нормативных [6] и имеет место низкое качество источников света, применяемых в Украине, то опыт эксплуатации осветительных приборов в сетях наружного освещения КП “Горсвет” г.Харькова позволяет оценить величину частоты отказов осветительного прибора $\omega_3 = 1,25$ 1/год.

Таким образом, при оценке надежности системы наружного освещения города необходимо учитывать реально существующее качество электроэнергии электросети и источников света.

1. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 207 с.

2. Зорин В.В., Тисленко Р.В. и др. Надежность систем электроснабжения. – К.: Вища школа, 1984. – 192 с.

3. Найманов А.Я., Насонкина Н.Г., Маслак В.Н., Зотов Н.И. Основы надежности инженерных систем коммунального хозяйства. – Донецк, 2001. – 151 с.

4. Сапрыка А.В. Исследование эксплуатационных характеристик современных энергосберегающих осветительных установок // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.84. – К.: Техніка, 2008. – С.265-270.

5. Гриб О.Г., Сапрыка А.В., Овчинников С.С., Таряник М.М. Режимы работы осветительных установок и качество электроэнергии // Труды IV Междунар. науч.-практ. конф. «Город и экологическая реконструкция жилищно-коммунального комплекса XXI века». – М., 2006. – С.49-51.

6. Гриб О.Г., Сапрыка А.В., Бородин Д.В., Жданов Р.В. Анализ качества электрической энергии в сетях общего пользования 0,4 кВ // Світлотехніка та електроенергети-

УДК 621.313

Г.В.КАПУСТІН, канд. техн. наук, В.Б.ФІНКЕЛЬШТЕЙН, д-р техн. наук,
Я.Б.ФОРКУН, канд. техн. наук

Харківська національна академія міського господарства

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ У РЕЖИМІ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Експериментально досліджуються фізичні процеси, що протікають у режимі короткого замикання в асинхронних двигунах різних типорозмірів з різною технологією виготовлення котокзамкнених роторів.

Огляд математичних моделей асинхронних двигунів (АД) свідчить, що всі уточнення існуючої математичної моделі АД зі скосом пазів якимось чином поліпшують збіжність за певними параметрами і характеристиками, але достатньої точності розрахунку АД у цілому, що задовольнила б проєктантів і розрахівників, не досягнуто [1, 2].

Аналіз енергетичного балансу потужності (АД) [3] у режимі короткого замикання (КЗ) показав, що на ряді АД потужність, визначена за пусковим моментом, суттєво (до 2,1 разів) перевищує потужність, зосереджену в білячій клітці ротора (табл.1).

Таблиця 1 – Енергетичний баланс потужності в АД 200L2 ($P_n=30$ кВт) у режимі КЗ

Потужність, що забирається, P_1 , кВт	Потужність, що передається через повітряний зазор, P_{12} , кВт	Потужність у клітці ротора, P_2 , кВт	Потужність, визначена за пусковим моментом, P_M , кВт	Відношення потужності, визначеної за пусковим моментом, до потужності у клітці ротора
111	76,32	28,18	61,54	2,18

У результаті виникло припущення, що ще в якомусь контурі ротора виділяється значна потужність [4]. Оскільки в роторі, крім магнітопроводу та короткозамкненої алюмінієвої клітки нічого немає, впливає, що в магнітопроводі крім поперечних струмів протікають поздовжні, які суттєво діють на пусковий момент АД [5].

Для перевірки цього припущення відповідним чином був препарований ротор досліджуваного АД (рис.1). Були просвердлені отвори, що дозволили за допомогою повітряних струмових трансформаторів (поясів Роговського) безпосередньо виміряти струми у короткозами-