

УДК 621.311

О.Г. ГРИБ (д-р техн.наук, проф.), **О.Н. ДОВГАЛЮК** (канд.техн.наук, доц.),
А.В. САПРЫКА (канд.техн.наук, доц.)

Харьковская национальная академия городского хозяйства
dovgaljuk@mail.ru

ОЦЕНКА ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

The voltage deflection level in electric street illumination networks is measured, empirical histograms are built and the approximation is made by typical analytical relations for all the measurement time interval, daily and hourly intervals. Random character of voltage deflection changing in electric street illumination networks is confirmed quantitatively.

Современные электрические сети наружного освещения являются сложными техническими системами, состоящими из световых приборов, проводов и кабелей, пускорегулирующих и управляющих устройств. Целью их функционирования является создание световой среды, обеспечивающей комфортные и безопасные условия труда, передвижение пешеходов и транспортных средств, а также архитектурно-художественное восприятие окружающего пространства в темное время суток. Сети наружного освещения распределены на значительной территории и состоят из огромного количества взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, с вероятностным характером изменения параметров режимов. Так в народно-хозяйственном комплексе Украины эксплуатируется около 260 млн. световых приборов, десятки тыс. км проводов и кабелей [1]. Оптимальное управление режимами работы таких сетей не возможно без детального анализа существующих режимов их работы.

На сегодняшний день электропотребление, приходящееся на искусственное освещение в Украине, составляет более 15% электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями страны. При этом общая эффективность преобразования энергии топлива в световую энергию составляет около 3% [2]. В связи с необходимостью экономии электроэнергии в осветительных установках согласно [3] возникает вопрос о разработке мероприятий по экономии потребления электроэнергии осветительными установками. Снижение уровня потребляемой энергии наружным освещением невозможно без применения энергоэффективных осветительных приборов на полупроводниковых источниках света, а также оптимизации режимов напряжения в сетях наружного освещения, что приводит к снижению потерь электроэнергии и улучшению световых параметров.

Аналізу режимов напряжения в электрических сетях уделялось много внимания, так как решение данного вопроса имеет большое практическое значение. К наиболее существенным разработкам в данной области относятся работы Мельникова Н.А., Солдаткиной Л.А., Маркушевича Н.С., Фокина Ю.А., Яндульского А.С. и др. [4-7].

Исследования последних лет показали, что значения установившегося отклонения напряжения в сетях наружного освещения не соответствуют требованиям к качеству электрической энергии [8-10]. Это приводит к резкому сокращению срока службы разрядных ламп, используемых в сетях наружного освещения. Таким образом, вопросы исследования режимов напряжения и их оптимизация в сетях наружного освещения приобрели на сегодняшний день особую актуальность.

Целью проведенных исследований является выявление закономерностей изменения отклонения напряжения в сетях наружного освещения для разработки рекомендаций по оптимизации процесса регулирования напряжения для повышения эффективности работы осветительных комплексов.

Для оценки закона распределения отклонения напряжения в сетях наружного освещения г. Харькова и г. Полтавы было произведено более 20 измерений на шинах 0,4 кВ на вводе шкафов освещения городских трансформаторных подстанций. Длительность непрерывных измерений напряжения в указанных точках сети составляла от 3 до 7 суток. Измерения производились аттестованным прибором «АНТЭС АК-3Ф».

По результатам проведенных измерений для каждой точки сети значения отклонения напряжения были представлены в виде выборки, состоящей из n независимых наблюдений за случайной функцией $\delta U(t)$, вид которых показан на рис. 1.

Для всех исследуемых точек осветительной сети были определены интегральные вероятностные характеристики случайной функции отклонения напряжения: математическое ожидание $M[\delta U(t)]$, дисперсия $D[\delta U(t)]$, среднеквадратическое отклонение $\sigma[\delta U(t)]$.

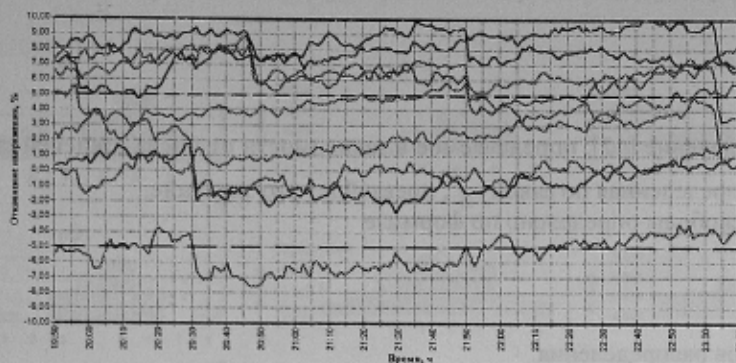


Рисунок 1 - Значения отклонения напряжения в сетях наружного освещения

Далее для них были построены эмпирические гистограммы с усреднением экспериментальных данных по всему периоду измерений [11]. Для построения группированного ряда вся область измерения случайной величины $\delta U(t)$ была разбита на q интервалов, величина которых h определялась по формуле Стёрджеса. Вид полученных эмпирических гистограмм в исследуемой сети представлен на рис.2.

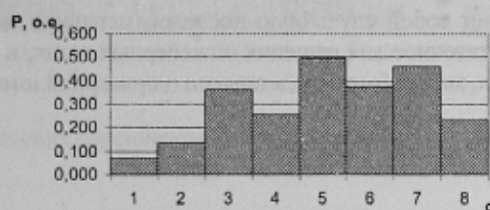


Рисунок 2 - Гистограмма отклонения напряжения в сетях наружного освещения

Произведена аппроксимация построенных гистограмм аналитическими зависимостями по методу наименьших квадратов [12]. По внешнему виду гистограмм были выбраны аналитические функции, которые наиболее точно описывают исследуемые законы распределения: нормальный, равномерный, Эрланга, гамма-распределения, полиномиальный, логистический.

Для всех рассматриваемых аналитических функций в соответствии с [12] были найдены значения среднеквадратической ошибки Σ^2 и индекса корреляции I_k :

$$\Sigma^2(\delta U) = \sum_{i=1}^q (\delta U_{\text{эксп}i} - \delta U_{\text{теор}i})^2, \quad (1)$$

$$I_k(\delta U) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^q (\delta U_{\text{эксп}i} - \delta U_{\text{теор}i})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^q (\delta U_{\text{эксп}i} - \overline{\delta U_{\text{эксп}i}})^2}}, \quad (2)$$

где q – количество интервалов разбиения группированного статистического ряда в зависимости от длительности интервала разбиения h и вариационного размаха случайной величины $(\delta U_{\text{max}} - \delta U_{\text{min}})$, $\delta U_{\text{эксп}}$, $\delta U_{\text{теор}}$ – значения функции, полученные экспериментальным путем и теоретическим по соответствующему аналитическому выражению, $\overline{\delta U_{\text{эксп}i}}$ – среднее выборочное функции, полученное по экспериментальным данным.

Наиболее точно исследуемый процесс описывает та из рассматриваемых зависимостей, которой соответствует наименьшее значение функции среднеквадратической ошибки Σ^2 и наибольшее значение индекса корреляции I_k .

Критерий согласия Пирсона позволил оценить степень согласованности экспериментальной и каждой из теоретических функций плотности распределения отклонения напряжения [12]. Значение критерия определялось по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^q \frac{(\delta U_{\text{эксп}i} - \delta U_{\text{теор}i})^2}{\delta U_{\text{теор}i}}. \quad (3)$$

Гипотеза о законе распределения принималась, если выполнялось условие

$$\chi^2 \leq \chi_{\mu, \lambda}^2, \quad (4)$$

где $\chi_{\mu, \lambda}^2$ – табличное значение [12], определяемое в зависимости от числа степеней свободы μ и вероятности λ того, что величина, распределенная по закону χ^2 , превзойдет это значение.

Число степеней свободы определено по формуле

$$\mu = q - \psi - 1, \quad (5)$$

где ψ – число параметров распределения.

Результаты расчета критерия χ^2 приведены в табл.1, из которой видно, что условие (4) не выполняется и, следовательно, ни одна из рассматриваемых зависимостей не описывает закон распределения исследуемой случайной величины с требуемой достоверностью. Таким образом, для исследуемой величины отклонения напряжения не существует единой плотности вероятностей на рассматриваемом интервале.

Для более детального анализа отклонений напряжения в сетях наружного освещения был определен закон распределения случайной величины отклонения напряжения на суточном интервале. Исследования показали, что на суточном интервале для отклонения напряжения также не существует единой плотности вероятностей.

Это позволяет сделать вывод, что величина отклонения напряжения для всех исследуемых точек сетей наружного освещения представляет собой случайную последовательность, которая близка к процессам марковского типа. Её частичное описание, достаточное для решения инженерных задач, в том числе и анализа режима отклонения напряжения в осветительных сетях, может быть представлено одномерной интегральной функцией распределения вида

$$F(\delta U, t) = \int_{-\infty}^{\delta U} p(\delta U, t) d\delta U, \quad (6)$$

где δU – отклонение напряжения на элементе сети, t – текущее время.

Таблица 1 – Результаты расчета критерия Пирсона для сетей наружного освещения

Закон распределения случайной величины	Режим максимальных нагрузок					
	Σ^2	I_k	χ^2	λ	$\chi_{\mu, \lambda}^2$	
Нормальное	3,547	0,792	1,98	6	0,95	1,64
Равномерное	3,624	0,657	1,72	6	0,95	1,64
Эрланга	3,367	0,682	3,76	6	0,95	1,64
Гамма-распределение	3,241	0,637	2,05	6	0,95	1,64
Полиномиальное	1,259	0,954	1,27	3	0,95	0,352
Логистическое	2,928	0,627	2,35	6	0,95	1,64

Для достоверного описания такого процесса может быть использована только последовательность мгновенных плотностей вероятностей, построенных для каждого момента времени отдельно. Для каждого из таких интервалов были построены гистограммы, вид которых показан на рис. 3, и определен закон распределения отклонения напряжения для каждого часа суток. Анализ данных гистограмм показал, что они аппроксимируются нормальным законом распределения.

Таким образом, вероятностным описанием исследуемого процесса изменения отклонения напряжения в сети наружного освещения может служить только последовательность мгновенных плотностей вероятностей, построенных для каждого момента времени.

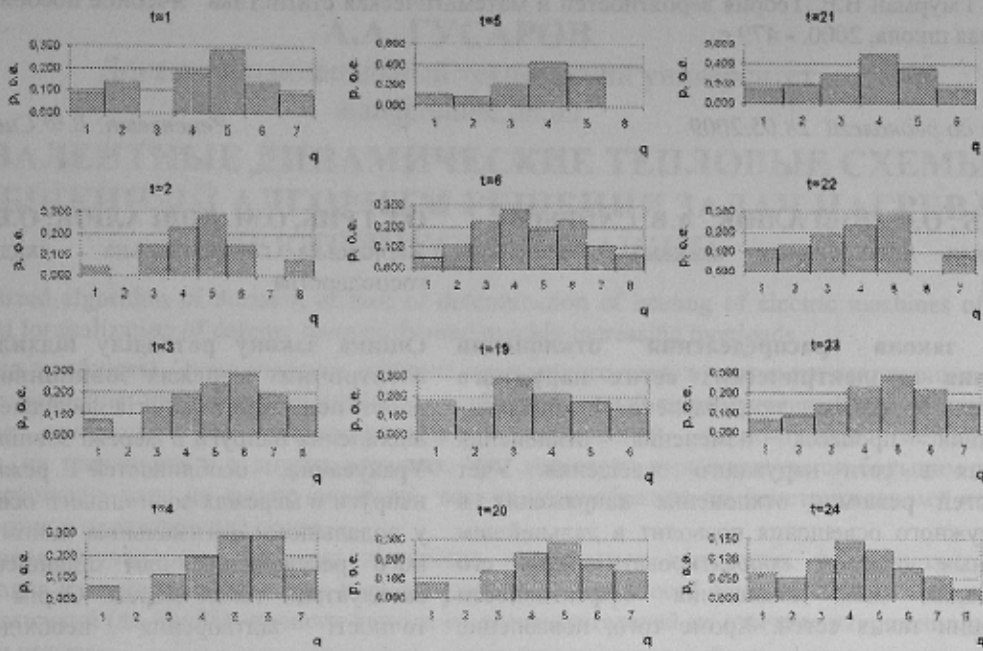


Рисунок 3 - Гистограммы распределения отклонения напряжения по часам суток (t) для сетей наружного освещения

Выводы:

1. Оценка закона распределения отклонения напряжения в сетях наружного освещения показала, что для исследуемой случайной величины на суточном интервале не существует единой плотности вероятностей.

2. Для достоверного описания характера изменения отклонения напряжения может быть использована только последовательность мгновенных плотностей вероятностей, построенных для каждого момента времени и аппроксимируемых нормальным законом распределения. Выявленные особенности режимов отклонения напряжения в сетях наружного освещения позволят в дальнейшем оптимальным образом корректировать закон его регулирования для повышения эффективности эксплуатации таких сетей. Кроме того, повышение точности воспроизведения необходимых параметров освещения позволит снизить затраты на создание заданных условий работы зрительного анализатора и повысить срок службы источников света.

Список литературы

1. Сапрыка А.В. Повышение энергоэффективности осветительных комплексов с учетом качества электрической энергии. / Сапрыка А.В. - Харьков: ХНАГХ, 2009. - 126 с.
2. Пилипчук Р.В. Проблема энергосбережения в осветительных установках / Пилипчук Р.В., Яремчук Р.Ю. // Світлолюкс. - 2003. - № 2. - С. 10-13.
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 жовтня 2008 р. №1334-р «Про схвалення пріоритетних напрямів діяльності у сфері енергоефективності та енергосбереження на 2008-2009 роки».
4. Мельников Н.А. Регулирование напряжения в электрических сетях. / Мельников Н.А., Солдаткина Л.А. - М.: Энергия, 1968. - 152 с.
5. Маркушевич Н.С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии. / Маркушевич Н.С. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 104 с.
6. Лежнюк П.Д. Оптимизация режимов электрических сетей с учетом ущерба, вызываемого отклонениями напряжения / Лежнюк П.Д., Аль-Хайтмер Абдалла. // Энергетика. - 1991. - №11. - С. 27-31.
7. Яндульский А.С. Вопросы регулирования напряжения в электрических сетях / Яндульский А.С., Головатюк Н.Ф., Хлыстов В.М. // Энергетика и электрификация. - 1996. - №4. - С. 36-38.
8. Емельянов Н.И. Об отклонениях напряжения в осветительных сетях городов / Емельянов Н.И., Шаборкин В.Г., Черткова И.И. // Электричество. - 1987. - №5. - С. 55-59.
9. Сапрыка А.В. Экспериментальные исследования качества электрической энергии в осветительных сетях г. Харькова / Сапрыка А.В. // Коммунальное хозяйство городов: Межвед. науч.-техн. сб. - К.: «Техника» - 2007. - Вып. 74. - С. 365-368.
10. Сапрыка А.В. Анализ современного состояния системы наружного освещения г. Полтавы / Сапрыка А.В. // Вестник национального технического университета «ХПИ». - 2008. - № 31. - С. 145-148.

11. Математическая статистика / Иванова В.М., Калинина В.Н., Нешумова Л.А., Решетникова И.О. - М.: Высшая школа, 1975. - 398 с.
 12. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика Учебное пособие. / Гмурман В.Е. - М.: Высшая школа, 2000. - 479 с.

Надійшла до редколегії 28.05.2009

Рецензент: В.Ф.Сивокобиленко

О.Г. ГРИБ, О.Н. ДОВГАЛЮК, А.В. САПРЫКА
 Харьковская национальная академия городского хозяйства

О.Г.ГРИБ, О.М. ДОВГАЛЮК, О.В.САПРИКА
 Харківська національна академія місцевого господарства

Оценка закона распределения отклонения напряжения в электрических сетях наружного освещения. В работе представлена методология исследования процесса изменения отклонения напряжения в сети наружного освещения. Учет особенностей режимов отклонения напряжения в сетях наружного освещения позволит в дальнейшем оптимальным образом корректировать закон его регулирования для повышения эффективности эксплуатации таких сетей. Кроме того, повышение точности воспроизведения необходимых параметров освещения позволит снизить затраты на создание заданных условий работы зрительного анализатора и повысить срок службы источников света.
Закон распределения, отклонение напряжения, электрическая сеть, наружное освещение

Оцінка закону розподілу відхилення напруги в електричних мережах зовнішнього освітлення. В роботі подана методологія дослідження процесу зміни відхилення напруги в мережі зовнішнього освітлення. Урахування особливостей режимів відхилення напруги в мережах зовнішнього освітлення дозволить у подальшому оптимальним чином корегувати закон його регулювання для підвищення ефективності експлуатації таких мереж. Крім того, підвищення точності відтворення необхідних параметрів освітлення дозволить зменшити витрати на створення заданих умов роботи зірцевого аналізатора і підвищити термін служби джерел світла.
Закон розподілу, відхилення напруги, електрична мережа, зовнішнє освітлення