

УДК 614.84

*А.Н. Катунин, к.т.н., с.н.с., доцент каф., НУГЗУ,
А.С. Кириллюк, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
О.В. Кулаков, к.т.н., доцент, профессор каф., НУГЗУ*

ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ НАРАБОТКИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ В НИХ ИСТОЧНИКОВ ЗАЖИГАНИЯ

(представлено д.т.н. Чубом И.А.)

Обоснован закон распределения Симпсона суммарных наработок кабельных изделий (КИ) после ускоренных испытаний продолжительностью 0,5 часа. Закон распределения и рекомендации по определению его параметров предлагается использовать для расчета показателей пожаробезопасного остаточного ресурса (ПОР) КИ, эксплуатируемых в составе кабельных линий (КЛ), а также расчета показателей надежности проектируемых КИ.

Ключевые слова: пожар, кабельное изделие, ресурс, закон распределения.

Постановка проблемы. КИ являются электротехническими изделиями, в которых могут присутствовать одновременно горючее вещество (изоляционные материалы) и источник зажигания (токопроводящая жила, нагреваемая сверхтоками при аварийных режимах работы). Окислителем является кислород воздуха. Это обуславливает их высокую пожарную опасность [1]. Изоляционные материалы КИ имеют определенный безопасный (в том числе, пожаробезопасный) срок эксплуатации (ресурс), который зависит от многих факторов и при определенных условиях может закончиться как раньше, так и позже нормативного срока (зависит от марки КИ, способа его прокладки и условий эксплуатации). В современных условиях для предупреждения пожароопасных режимов работы (достижение сопротивления изоляции КИ порогового значения, приводящее к возникновению источников зажигания электрического происхождения [1]), а также повышения надежности электроснабжения, актуальной является проблема своевременного выявления (прогнозирования) участков КЛ с КИ, изоляция которых близка к выработке своего ресурса.

Анализ последних исследований и публикаций. Для определения показателей ПОР конкретного КИ по эксплуатационным данным необходимо обосновать закон распределения суммарной наработки КИ за заданную календарную продолжительность его эксплуатации.

Математические модели, предложенные в работах [2, 3], позволяют проводить расчеты показателей ПОР конкретного КИ для календарных продолжительностей эксплуатации и соответствующих им законам распределения суммарной наработки КИ. В работе [2] получены расчет-

ные соотношения показателей ПОР для КИ при распределении суммарной наработки по равномерному закону. В работе [3] получены расчетные соотношения при распределении суммарной наработки по нормальному закону. В работе [4] проведено обоснование равномерного закона распределения суммарной наработки КИ после ускоренных испытаний продолжительностью 0,25 часа и сформулированы рекомендации по определению его параметров.

Не исследованным является закон распределения суммарной наработки КИ при большей продолжительности ускоренных испытаний.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является обоснование закона распределения суммарной наработки КИ по данным ускоренных испытаний КИ определенных марок продолжительностью 0,5 часа для предупреждения возникновения в них источников зажигания.

Анализ экспериментальных данных результатов измерений сопротивления изоляции КИ маркоразмеров АВВГ 4x10, ВВГ 4x95, АВБШв 3x70+1x35, ВБШв 4x185, полученных при проведении испытаний на ускоренное электрическое старение [5], показывает, что значения сопротивлений изоляции КИ за определенные интервалы эксплуатации характеризуется значительным разбросом. Их можно представить случайной величиной, характеризуемой определенным законом распределения. Обоснование закона распределения суммарной наработки КИ за фиксированные интервалы испытаний продолжительностью 0,5 часа проведем с использованием соответствующих экспериментальных данных в следующей последовательности [6]:

1) построим вариационный ряд x_1, x_2, \dots, x_n значений сопротивления изоляции КИ за фиксированный интервал испытаний продолжительностью 0,5 часа;

2) построим гистограмму значений сопротивления изоляции КИ по этому ряду;

3) примем гипотезу о виде функции распределения значений сопротивления изоляции КИ;

4) оценим точечные значения параметров для функции распределения предполагаемого типа;

5) проверим непротиворечивость экспериментальных данных принятой гипотезе о функции распределения значений сопротивления изоляции КИ.

Если исходить из равномерного закона распределения суммарной наработки изоляции КИ за 0,25 часа эксплуатации [4], то задачу можно свести к задаче свертки двух независимых одинаково распределенных случайных величин X и Y распределения $f_x(x) = \frac{1}{b-a}$ и $f_y(y) = \frac{1}{b-a}$.

В результате решения задачи получим:

$$q(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 2a, \\ \frac{z-2a}{(b-a)^2}, & 2a \leq z \leq a+b, \\ \frac{2b-z}{(b-a)^2}, & a+b \leq z \leq 2b, \\ 0, & z \geq 2b, \end{cases} \quad (1)$$

где $z = x + y$ – плотность распределения случайной величины $X + Y$.

На рис. 1 построено несколько вариантов гистограмм суммарных наработок изоляции КИ за 0,5 часа эксплуатации для различного числа равных интервалов. В качестве лучшей по критерию минимума числа инверсий принимаем гистограмму рис. 1.б).

Подберем по виду опытного распределения конкретный вид закона распределения. Из полученного соотношения (1) и по виду опытного распределения (рис. 1) принимаем закон Симпсона. На рис. 1.б) показаны гистограмма и выравнивающий ее закон Симпсона.

Обозначим в выражении (1) $A=2a$, $B=2b$. Тогда формула (1) примет вид:

$$q(z) = \begin{cases} 0, & z \leq A, \\ \frac{4(z-A)}{(B-A)^2}, & A \leq z \leq \frac{A+B}{2}, \\ \frac{4(B-z)}{(B-A)^2}, & \frac{A+B}{2} \leq z \leq B, \\ 0, & z \geq B. \end{cases} \quad (2)$$

Для распределения Симпсона с плотностью распределения (2) первый начальный и второй центральный моменты определяются выражениями [7]:

$$m = \frac{A+B}{2}, \quad S = \frac{(B-A)^2}{24}. \quad (3)$$

Для нахождения оценок \hat{A} и \hat{B} параметров распределения Симпсона составим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{A+B}{2} = m^*, \\ \frac{(B-A)^2}{24} = (S^*)^2. \end{cases} \quad (4)$$

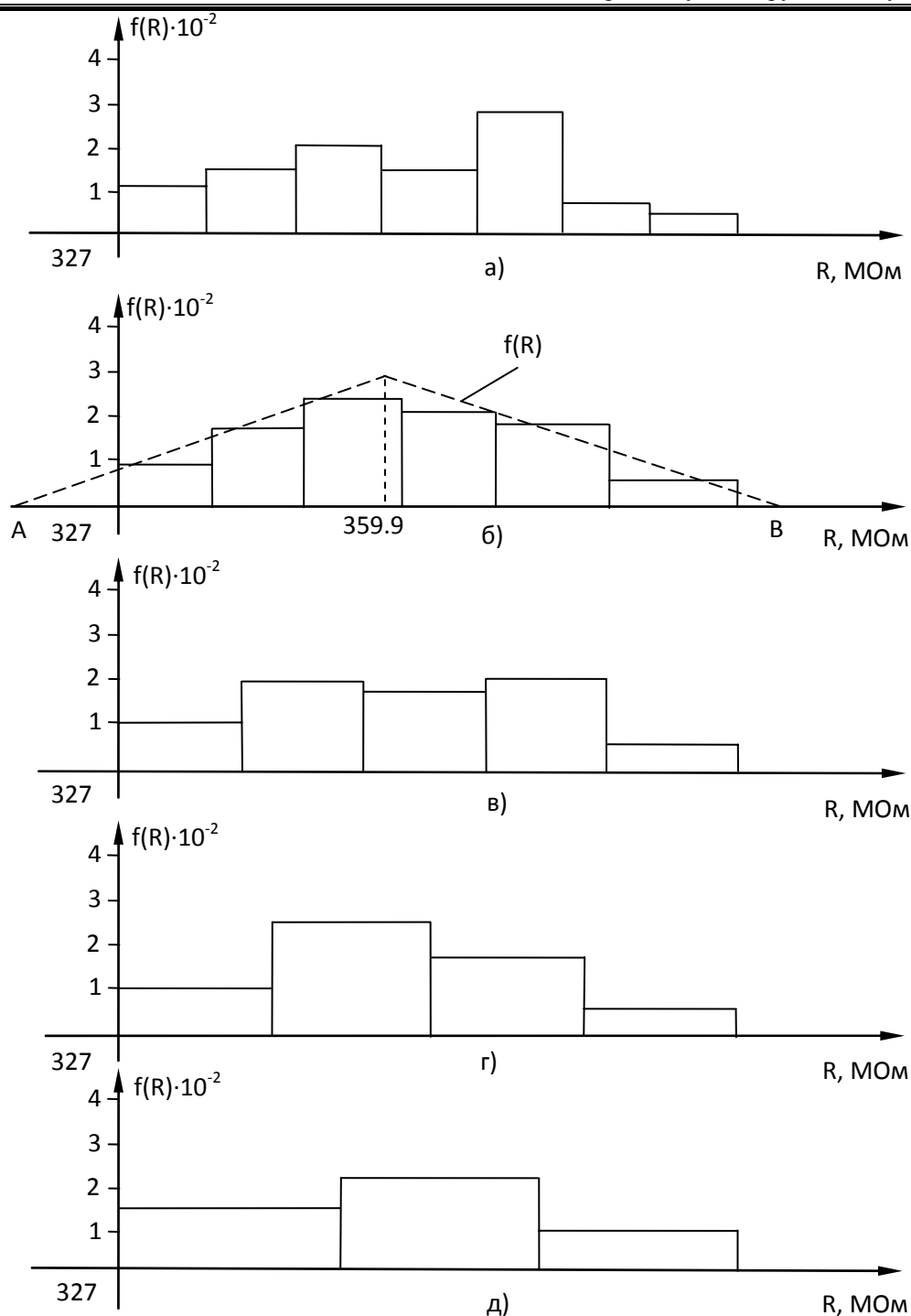


Рис. 1. Гистограммы распределения значений сопротивления изоляции при разных способах разбития вариационного ряда

Решая систему уравнений (4) относительно \hat{A} и \hat{B} , получим:

$$\begin{cases} A = m^* - \sqrt{6} \cdot S^*, \\ B = \sqrt{6} \cdot S^* + m^*. \end{cases} \quad (5)$$

Вычислены оценки значений этих параметров (рис. 1.б)): $A=320$ МОм; $B=404$ МОм.

Выполнена проверка гипотезы о непротиворечивости экспериментальных данных гипотезе о распределении «суммарная наработка» изоляции КИ за 0,5 часа эксплуатации по закону Симпсона с использованием критерия согласия Пирсона. По результатам статистической проверки гипотезы на уровне значимости $\varepsilon = 0,10$ сделан вывод, что нет оснований отвергнуть принятую гипотезу о том, что суммарная наработка изоляции КИ за 0,5 часа эксплуатации распределена по закону Симпсона:

$$g(x, 0,5 \text{ ч}) = \begin{cases} 0, & x \leq 2a, \\ \frac{x - 2a}{(b - a)^2}, & 2a \leq x \leq a + b, \\ \frac{2b - x}{(b - a)^2}, & a + b \leq x \leq 2b, \\ 0, & x \geq 2b. \end{cases} \quad (6)$$

Построенные гистограммы значений сопротивлений изоляции за 0,5 часа ускоренных испытаний для других жил кабелей марок АВВГ 4x10, ВВГ 4x95, АВБШв 3x70+1x35, ВБШв и проверка согласия опытных данных с теоретическими на уровне значимости не ниже 0,10, позволяют сделать вывод о том, что нет оснований отвергнуть принятую гипотезу о том, что «суммарные наработки» этих изделий за 0,5 часа испытаний распределены по закону Симпсона (6).

Выводы. Предложенный подход по обоснованию закона распределения «суммарных наработок» КИ по результатам ускоренных испытаний (продолжительностью 0,5 часа) и рекомендации по определению его параметров предлагается использовать для расчетов показателей ПОР КИ (достижение сопротивления изоляции КИ порогового значения, приводящее к возникновению источников зажигания электрического происхождения), эксплуатируемых в составе КЛ, а также расчета показателей надежности проектируемых КИ, что позволит предупредить пожароопасные режимы работы и повысить надежность электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожежна безпека кабельної продукції: Практичний посібник / І.К. Домніч, Р.І. Кравченко, О.В. Кулаков, І.О. Солодовников, І.О. Харченко. – Харків: УЦЗУ, 2008. – 214 с.
2. Кирилук А.С. Модели показателей долговечности кабельных линий при определенных законах распределения наработки / А.С. Кирилук, О.В. Кулаков, А.Н. Катунин // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУГЗ Украины. – 2014. – Вып. 36. – С. 103-109. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol36/kiriljuk.pdf>.

3. Кирилюк А.С. Математические модели для расчета показателей надежности кабельных линий при определенных законах распределения наработки / А.С. Кирилюк, О.В. Кулаков, А.Н. Катунин // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУГЗ Украины. – 2015. – Вып. 37. – С. 81-84. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol37/kiriluk.pdf>.

4. Кирилюк А.С. Обоснование закона распределения суммарной наработки кабельных изделий для предупреждения возникновения в них источников зажигания / А.С. Кирилюк, О.В. Кулаков, А.Н. Катунин // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУГЗ Украины. – 2014. – Вып. 39. – С. 113-119. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/kiriluk.pdf>.

5. Пономарьов В.О. Побудова моделі залежності опору ізоляції кабельного виробу від часу експлуатації для профілактики виникнення джерела запалювання електричного походження / Пономарьов В.О., Григоренко О.М., Кулаков О.В. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2013. – Вып. 33. – С. 49-54.

6. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, Б.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – Москва: Наука, 1988. – 480 с.

Получено редколлегией 07.03.2017

А.М. Катунін, А.С. Кирилюк, О.В. Кулаков

Обґрунтування закону розподілу сумарного наробітку кабельних виробів з метою попередження появи в них джерел запалювання

Обґрунтований закон розподілу Сімпсона сумарних напрацювань кабельних виробів (КВ) після прискорених випробувань тривалістю 0,5 години. Закон розподілу і рекомендації щодо визначення його параметрів пропонується використовувати для розрахунку показників пожежобезпечного залишкового ресурсу КВ, що експлуатуються у складі кабельних ліній, а також розрахунку показників надійності проєктованих КВ.

Ключові слова: пожежа, кабельний виріб, ресурс, закон розподілу.

A. Katunin, A. Kirilyuk, O. Kulakov

Ground of law of distribution of total work of cable wares for warning of origin in them lighting sources

The law of distribution of Simpson of total works of cable wares (CW) is reasonable after speed-up tests by duration 0,5 of hour. Law of distribution and recommendation on determination of his parameters it is suggested to use for the calculation of indexes of пожаробезопасного remaining resource of CW, on-the-road in composition cable buses (КЛ), and also calculation of reliability of designed CW indexes.

Keywords: fire, cable, resource, law of distributing.