

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

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

(представлено д-ром техн. наук Чубом И.А.)

Обоснован закон распределения «суммарных наработок» кабельных изделий (КИ) после ускоренных испытаний продолжительностью 0,25 часа. Обоснованный равномерный закон распределения «суммарных наработок» КИ и рекомендации по определению его параметров предлагается использовать для расчетов показателей надежности проектируемых КИ, а также для расчета показателей пожаробезопасного остаточного ресурса (ПОР) КИ, эксплуатируемых в составе кабельных линий (КЛ).

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

Постановка проблемы. КИ являются электротехническими изделиями, в которых одновременно могут присутствовать: горючее вещество (изоляционные материалы), окислитель (кислород воздуха) и источник зажигания (токопроводящая жила, нагреваемая сверхтоками при аварийных режимах работы). Это обуславливает их высокую пожарную опасность [1]. Ухудшение диэлектрических свойств изоляционных материалов приводит к постепенному увеличению токов утечки и замыканию токопроводящих жил.

Изоляционные материалы КИ имеют определенный пожаробезопасный срок эксплуатации (ресурс), который зависит от многих факторов и при определенных условиях может закончиться как раньше, так и позже нормативного срока (определяется маркой КИ и условиями эксплуатации).

В современных условиях для предупреждения пожароопасных режимов работы и, в свою очередь, повышения надежности электроснабжения актуальной является задача своевременного выявления (прогнозирования) участков КЛ с КИ, изоляция которых близка к выработке своего ресурса. Как следствие, становится обоснованным ремонт КЛ по их фактическому состоянию, что обеспечит пожаробезопасную эксплуатацию КЛ с минимально возможными материальными затратами.

Для этого необходимо решить задачу оценки показателей ПОР конкретного КИ по эксплуатационным данным, для чего, в свою очередь, необходимо решить задачу обоснования законов распределения суммарной наработки КИ за заданную календарную продолжительность эксплуатации изделия.

Анализ последних достижений и публикаций. Предложенные в работах [2, 3] математические модели позволяют проводить расчеты показателей ПОР конкретного КИ для календарных продолжительностей эксплуатации и соответствующих им законам распределения суммарной наработки КИ.

В работе [2] получены расчетные 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.

Проведем обоснование этих законов распределения суммарной наработки КИ за заданную календарную продолжительность эксплуатации изделия.

Постановка задачи и ее решение. Целью статьи является решение задачи предупреждения возникновения в КИ источников зажигания. Для решения этой задачи проведем обоснование законов распределения суммарной наработки конкретного КИ за заданную календарную продолжительность эксплуатации по эксплуатационным данным. Оценку суммарной наработки КИ проведем до момента достижения сопротивления изоляции КИ критического значения 0,5 МОм [4]. Анализ экспериментальных данных результатов измерений сопротивления изоляции КИ определенных марок (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 законов распределения «суммарных наработок» КИ проведем за следующие интервалы эксплуатации: 0,25 часа, 0,5 часа, 0,75 часа, 1 час и более. Обоснование закона распределения «суммарная наработка» КИ за фиксированные интервалы испытаний продолжительностью 0,25 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 0,25 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.

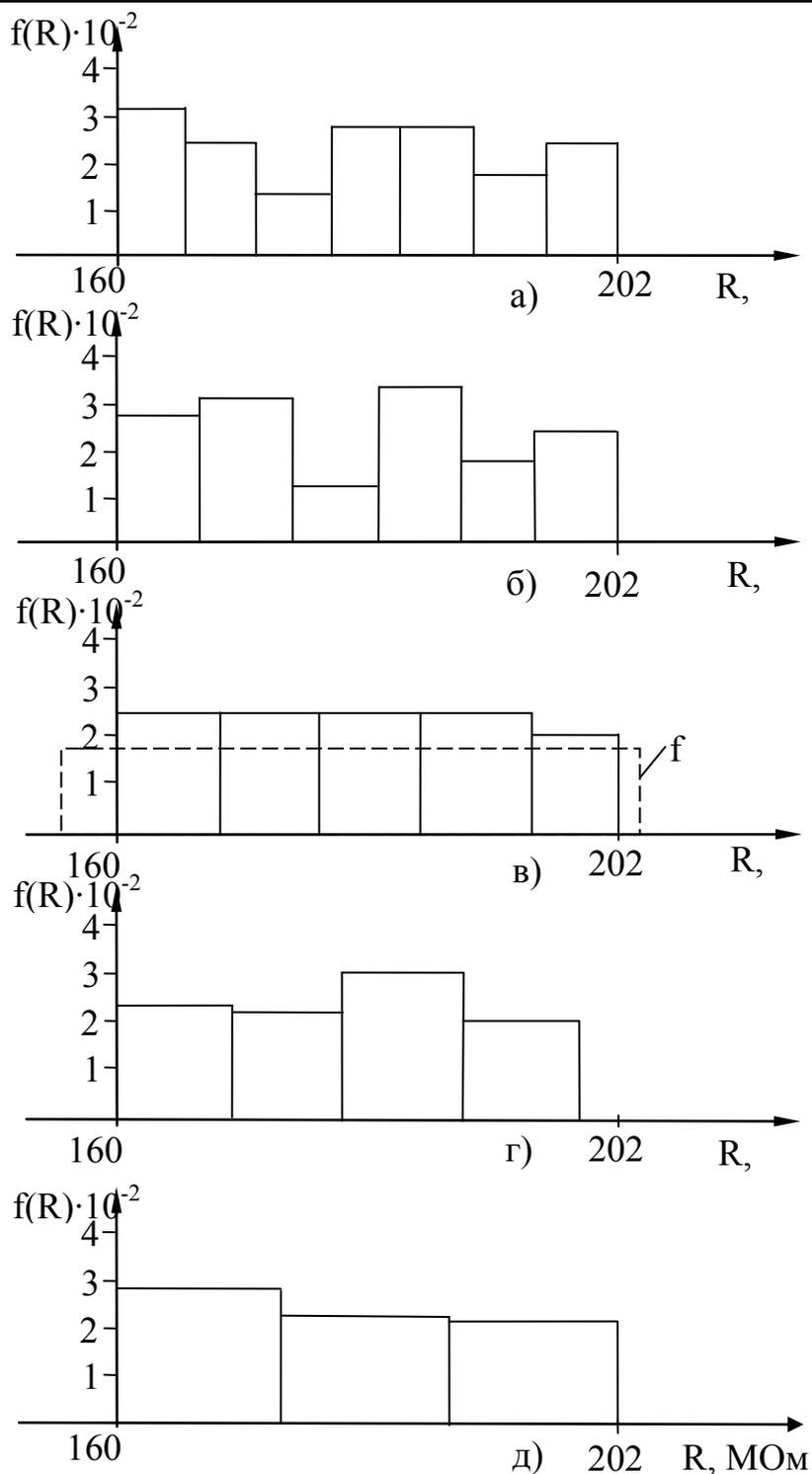


Рис. 1. Гистограмма распределения значений сопротивления изоляции при различных способах разбиения вариационного ряда

Так, по статистическим данным о значениях сопротивления изоляции при продолжительности ускоренных испытаний 9 часов для жилы № 1 кабеля марки АВВГ 4x10 объем выборки составляет $n=36$. На рис. 1 построено несколько вариантов гистограмм для различного числа равных интервалов значений сопротивления изоляции кабеля с целью получения наилучшего приближения по критерию минимума числа инверсий.

Начальное число интервалов найдем по формуле [6]

$$k = 1 + 3,3 \cdot \lg n, \quad (1)$$

где n – объем выборки. В качестве лучшей принимаем гистограмму с одной инверсией и имеющей большее число интервалов (рис 1).

После построения опытного (выборочного) закона распределения $f(R)$ подбираем плавную теоретическую кривую $f'(R)$, которая выражает существенные черты выборочного распределения, сглаживает случайности, связанные с недостаточным объемом статистических данных. Конкретный вид закона распределения подбираем по виду опытного распределения или исходя из предполагаемого механизма образования случайной величины. В данном случае в качестве гипотезы по виду опытного распределения (рис. 1) можно принять равномерное распределение значений сопротивления изоляции для жилы № 1 кабеля марки АВВГ 4x10 за 0,25 часа испытаний изделия.

Параметры равномерного распределения значений сопротивления изоляции подберем так, чтобы теоретическая функция наилучшим образом описывала данный статистический материал. Для этого применим метод моментов [7], что обусловлено простотой его реализации и приемлемой точностью проводимых расчетов. Тогда для нахождения оценок \hat{a} и \hat{b} параметров равномерного распределения можно составить следующую систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{\hat{a} + \hat{b}}{2} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \\ \frac{(\hat{b} - \hat{a})^2}{12} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - m)^2}{n - 1} \end{cases}, \quad (2)$$

где R_i – значение сопротивления изоляции; n – объем выборки; $m = M[x]$ – статистическое среднее.

Решая систему уравнений (2) относительно \hat{a} и \hat{b} получим

$$\begin{cases} \hat{a} = m - \sqrt{3} \cdot S \\ \hat{b} = \sqrt{3} \cdot S + m \end{cases}, \quad (3)$$

где S – статистическое среднее квадратичное отклонение. Найдены оценки значений этих параметров: $\hat{a} = 160$ Мом; $\hat{b} = 202$ Мом (рис. 1).

Выполним проверку гипотезы о непротиворечивости экспериментальных данных принятой гипотезе о равномерном законе распределения «суммарной наработки» КИ за фиксированные интервалы испытаний

продолжительностью 0,25 часа с использованием критерия согласия Пирсона. По этому критерию находим значение меры расхождения между теоретическим и эмпирическим распределениями $H=0,3333$. Тогда по таблице [8] находим величину $P=0,90$, т.е. вероятность того, что полученные расхождения между теоретическим и стохастическим распределениями возникли за счет чисто случайных причин. Следовательно, по результатам статистической проверки гипотезы на уровне значимости $\varepsilon = 0,10$, можно признать, что нет оснований отвергнуть принятую гипотезу о том, что «суммарная наработка» КИ за фиксированные интервалы испытаний продолжительностью 0,25 часа распределена по равномерному закону с параметрами (a, b)

$$g(x, 0,25_{\text{ч}}) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases} \quad (4)$$

Построенные гистограммы значений сопротивлений изоляции за 0,25 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 0,25 часа испытаний распределены по равномерному закону (4).

В дальнейшем планируется обоснование закона распределения «суммарных наработок» изделий за 0,5, 0,75, 1 час испытаний и более.

Выводы. Предложенный подход по обоснованию закона распределения «суммарных наработок» КИ по результатам ускоренных испытаний продолжительностью 0,25 часа и рекомендации по определению его параметров предлагается использовать для расчетов показателей надежности проектируемых КИ, а также для расчетов показателей ПОР КИ, эксплуатируемых в составе КЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожежна безпека кабельної продукції: Практичний посібник / І.К. Домніч, Р.І. Кравченко, О.В. Кулаков, І.О. Солодовніков, І.О. Харченко. – Харків: УЦЗУ, 2008. – 214 с.

2. Кирилук А.С. Расчет показателей пожаробезопасного остаточного ресурса кабельных линий при разных законах распределения наработки/ А.С. Кирилук, О.В. Кулаков, А.Н. Катунин // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУГЗ Украины. – 2013. – Вып. 34. – С.78-82. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol34/kiriljuk.pdf>.

3. Кирилюк А.С. Расчет показателей пожаробезопасного остаточного ресурса кабельных линий при определенных законах распределения наработки/ А.С. Кирилюк, О.В. Кулаков, А.Н. Катунин // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУГЗ Украины. – 2014. – Вып. 35. – С. 88-92. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol35/kiriluk.pdf>.

4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджені Наказом № 2588 Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 зі змінами, що затверджені Наказом № 91 Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 13.02.2012. Зареєстровані в Міністерстві юстиції України 02.04.2012 за № 350/20663 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/z0350-12>.

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.

8. РД 50-690-89. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным: Методические указания.– Москва: Изд. Стандартов, 1990. – 132 с.

А.С. Кирилюк, О.В. Кулаков, А.Н. Катунин

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

Обґрунтований закон розподілу «сумарних напрацювань» кабельних виробів (КВ) після прискорених випробувань тривалістю 0,25 години. Обґрунтований рівномірний закон розподілу «сумарних напрацювань» КВ і рекомендації за визначенням його параметрів пропонується використати для розрахунку показників надійності нових КВ, а також для розрахунку показників пожежобезпечного залишкового ресурсу КВ, експлуатованих у складі кабельних ліній.

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

A.C. Kirilyuk, O.V. Kulakov, A.M. Katunin

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

The law of distribution of «total works» of cable wares (CW) is reasonable after speed-up tests by duration 0,25 of hour. Reasonable even law of distribution of «total works» of CW and recommendations on determination of his parameters it is suggested to use for the calculations of reliability of new CW indexes, and also for the calculation of indexes of, fire-safety remaining resource of CW, on-the-road in composition cable lines.

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