

УДК 621.314

ФОРМИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИ ОДНОРОДНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯЦИИ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ

А. А. Загайнова

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: zagaynova@gmail.com

Результаты периодических измерений показателей качества изоляции конденсаторного типа высоковольтных вводов рассматриваются как временные ряды, содержащие информацию об изменении значения данного показателя с момента установки вводов и по текущий момент. Задача формирования массива статистически однородных временных рядов сводится к отысканию такой комбинации временных рядов показателя, которая бы обеспечивала максимальное значение корреляционного отношения на заданном временном интервале. Для формирования групп вводов с одинаковой скоростью дрейфа показателей качества изоляции использован критерий максимума эмпирического корреляционного отношения. Были сформированы несколько массивов данных по каждому показателю качества изоляции, для которых в результате проверки получено максимальное значение корреляционного отношения. Для оценки эффективности проведенной процедуры выделения статистически однородных временных рядов был выполнен анализ тесноты стохастической связи между показателями качества изоляции высоковольтных вводов и временем эксплуатации.

Ключевые слова: высоковольтный ввод, изоляция, временной ряд, корреляционное отношение.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В энергосетях Украины большинство вводов силовых трансформаторов отработали свой срок службы или приближаются к его окончанию. Для оценки степени старения изоляции конденсаторного типа высоковольтных вводов необходимо иметь информацию о поведении показателей качества изоляции на длительных интервалах эксплуатации. Одним из способов получения такого рода информации является использование результатов периодического контроля состояния изоляции вводов. Результаты периодических измерений показателей качества изоляции вводов можно рассматривать как временные ряды, содержащие информацию об изменении значения данного показателя с момента установки и по текущий момент. Причем наибольший интерес представляют ряды, содержащие максимальное число результатов измерений, т.е. те объекты, которые проработали порядка 25 лет и более. В качестве исходной выборки анализировались результаты профилактических испытаний изоляции вводов по Харьковской, Сумской и другим областям Украины.

В работах [1, 2] предложены процедуры для оценки статистической однородности временных рядов показателей качества масла. Поэтому вопросы, связанные с формированием однородных массивов показателей качества изоляции высоковольтных вводов, требуют дальнейшего рассмотрения.

Целью данной работы является описание метода формирования однородных массивов временных рядов показателей качества изоляции конденсаторного типа высоковольтных вводов и оценки эффективности процедуры выделения статистически однородных временных рядов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. С точки зрения математики задача формирования статистически однородных временных рядов сводится к нахождению регрессионного уравнения, которым можно описать все временные ряды, содержащиеся в массиве данного показателя качества

изоляции вводов. При этом следует отметить, что вид подбираемой функциональной зависимости неизвестен. В таких случаях, когда неизвестны ни количественные уровни воздействия факторов, ни вид функциональной зависимости, целесообразней всего решать обратную задачу, т.е. подбирать временные ряды таким образом, чтобы они обеспечивали минимальный разброс относительно предполагаемой линии тренда. Поскольку вид этой кривой неизвестен, нужно подобрать такую статистическую характеристику, которая, с одной стороны, давала бы информацию о тесноте стохастической связи между показателем и временем эксплуатации, а с другой – не была бы привязана к кривой определенного вида [2]. Такой характеристикой может являться выборочное корреляционное отношение [3].

Выборочное корреляционное отношение служит для оценки тесноты нелинейной корреляционной связи между величинами X и Y и определяется как отношение межгруппового среднего квадратичного отклонения к общему среднему квадратичному отклонению величины Y :

$$\eta_{yx} = \frac{\sigma_{\text{межгр}}}{\sigma_{\text{общ}}} = \frac{\bar{\sigma}_{yx}}{\bar{\sigma}_y}. \quad (1)$$

Межгрупповое среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma_{\bar{y}_x} = \sqrt{\frac{\sum n_x (\bar{y}_x - \bar{y})^2}{n}}. \quad (2)$$

Общее среднее квадратичное отклонение:

$$\bar{\sigma}_y = \sqrt{\frac{\sum n_y (y - \bar{y})^2}{n}}. \quad (3)$$

В выражениях (1–3) переменные обозначают: n – объем выборки; n_x – частота значения x величины X ; n_y – частота значения y величины Y ; $\bar{y}$ – общее среднее величины Y ; $\bar{y}_x$ – условная средняя величины Y , т.е. среднее арифметическое наблюдавшихся значений Y , соответствующих $X = x$.

Использование величины корреляционного отношения в качестве меры однородности временных рядов, составляющих массив данных, можно обосновать следующим образом. Поскольку все значения величины Y разбиты на группы, то можно представить общую дисперсию признака в виде суммы внутригрупповой и межгрупповой дисперсий:

$$\sigma_{\text{общ}}^2 = \sigma_{\text{внгр}}^2 + \sigma_{\text{межгр}}^2. \quad (4)$$

Или же с учетом (1):

$$\sigma_{\text{внгр}}^2 = \sigma_{\text{общ}}^2 [1 - \eta_{yx}^2]. \quad (5)$$

Как видно из (5), если $\eta_{yx} \rightarrow 1$, то $\sigma_{\text{внгр}}^2 \rightarrow 0$ и, следовательно, стремится к нулю каждая из групповых дисперсий, что, естественно, говорит о повышении однородности общего массива данных.

Таким образом, задача формирования массива статистически однородных временных рядов сводится к отысканию такой комбинации временных рядов показателя, которая бы обеспечивала максимальное значение корреляционного отношения на заданном временном интервале. Для формирования групп вводов с одинаковой скоростью дрейфа показателей качества изоляции использован критерий максимума эмпирического корреляционного отношения [4]:

$$\hat{r}_{y/x} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_j} (\tilde{y}_{ij} - \bar{y})^2}, \quad (4)$$

где N – объем выборки; $\bar{y}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \tilde{y}_{ij}$ – условное

среднее, полученное для значений x_i при $j = \overline{1, m_j}$;

$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i$ – общее среднее; $\tilde{y}_{ij}$ – результаты наблюдений в i -той экспериментальной точке.

По результатам обработки информации профилактических испытаний изоляции по каждому из показателей качества изоляции вводов, которые характеризуют изменение её изоляционных свойств, составлено несколько подмножеств однородных данных, которые определили допустимые пределы дрейфа параметров. Результаты проведенного анализа приведены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, коэффициент парной корреляции и корреляционное отношение удовлетворяет неравенству $0 \leq \eta_{yx} \leq 1$, и чем ближе значение η_{yx} к единице, тем теснее связь между величинами X и Y . Если $\eta_{yx} = 1$, то величины X и Y связаны между собой функциональной зависимостью. Значение выборочного корреляционного отношения не меньше абсолютного выборочного значения коэффициента парной корреляции, т.е. справедливо равенство $\eta_{yx} \geq |r_{\text{выб}}|$. В случае $\eta_{yx} = |r_{\text{выб}}|$ имеет место точная линейная корреляционная зависимость между величинами X и Y .

Таблица 1 – Результаты расчетов

Характеристики изоляции		Коэффициент парной корреляции, нижняя и верхняя границы доверительного интервала			Корреляционное отношение	
		r_H	ρ	r_B	η_{yx}	η_{xy}
$tg\delta_{-10}$	1	0,31	0,48	0,62	0,85	0,86
	2	0,21	0,44	0,62	0,94	0,93
	3	0,52	0,68	0,79	0,92	0,93
	4	0,26	0,42	0,56	0,75	0,88
	5	0,44	0,58	0,7	0,76	0,96
	6	0,46	0,63	0,76	0,87	0,96
	7	0,41	0,62	0,77	0,84	0,89
$tg\delta_{-3}$	1	0,37	0,47	0,56	0,81	0,79
	2	0,20	0,42	0,59	0,82	0,64
	3	0,31	0,42	0,52	0,77	0,93
	4	0,18	0,39	0,56	0,81	0,66
C_{-10}	1	0,28	0,36	0,44	0,91	0,86
	2	0,12	0,35	0,52	0,82	0,88
C_{-3}	1	0,19	0,34	0,48	0,92	0,84
	2	0,11	0,31	0,58	0,79	0,75
	3	0,25	0,45	0,61	0,92	0,86
	4	0,28	0,44	0,58	0,89	0,70
R_{-10}	1	-0,2	-0,1	-0,03	0,68	0,99
	2	-0,4	-0,3	-0,1	0,91	0,91

Для оценки эффективности проведенной процедуры выделения статистически однородных рядов был выполнен анализ тесноты связи между показателями качества изоляции вводов и временем эксплуатации.

Результаты расчета коэффициентов парной корреляции, вычисленные по ним значения $T_{\text{набл}}$, критические значения $T_{\text{крит}}$ ($0,05; f = N - 2$), значения нижней r_H и верхней r_B границ доверительного интервала коэффициентов парной корреляции для показателей изоляции приведены в табл. 2. Критическое значение коэффициента парной корреляции составляет $\rho_{\text{крит}} = 0,195$, а критическое значение Т-критерия – $T_{\text{крит}} = 1,6479$. Анализируя результаты исследования тесноты корреляционной связи, представленные в табл. 2, следует отметить, что наиболее коррелированными между собой оказались показатели, которые характеризуют диэлектрические потери основной изоляции $tg\delta_1$ и изоляции наружных слоёв остова ввода относительно соединительной втулки $tg\delta_3$, ёмкость основной изоляции C_1 и сопротивление основной изоляции ввода $R_{\text{изм}}$. Так как $\rho > \rho_{\text{крит}}$ для этих показателей, то есть основания

считать, что имеется тесная линейная связь между параметрами. В меньшей степени между собой коррелированы $\text{tg}\delta_3 - C_3$. Не выявлено значимой связи между $\text{tg}\delta_1 - C_1$, $\text{tg}\delta_1 - C_3$, $\text{tg}\delta_1 - R_{\text{изм}}$.

Таблица 2 – Результаты исследования стохастической связи между показателями диэлектрических характеристик внутренней изоляции вводов

Показатели изоляции вводов	Значения коэффициента парной корреляции, нижней и верхней границ доверительного интервала, наблюдаемое значение Т-критерия			
	r_n	ρ	r_v	$T_{\text{наб}}$
$\text{tg}\delta_1 - C_1$	0,03	0,11	0,19	2,760
$\text{tg}\delta_1 - \text{tg}\delta_3$	0,48	0,54	0,6	15,744
$\text{tg}\delta_1 - C_3$	-0,15	-0,08	0,01	1,871
$\text{tg}\delta_1 - R_{\text{изм}}$	0,02	0,1	0,18	2,364
$C_1 - \text{tg}\delta_3$	0,09	0,17	0,24	4,116
$C_1 - C_3$	-0,2	-0,12	-0,04	3,051
$C_1 - R_{\text{изм}}$	-0,29	-0,21	-0,13	5,298
$\text{tg}\delta_3 - C_3$	-0,24	-0,16	-0,08	4,003
$\text{tg}\delta_3 - R_{\text{изм}}$	-0,15	-0,067	0,01	1,637
$C_3 - R_{\text{изм}}$	-0,13	-0,05	0,03	1,121

ВЫВОДЫ. Неоднородность показателей качества изоляции конденсаторного типа высоковольтных

вводов, полученных в результате периодического контроля состояния изоляции вводов, обусловлена различными условиями эксплуатации и режимами. Для формирования однородных массивов показателей качества изоляции конденсаторного типа вводов предложен метод максимума корреляционного отношения показателя на время эксплуатации. Практическая реализация метода показала его высокую эффективность, что позволяет использовать данный метод для формирования однородных массивов.

Дальнейшим развитием работы является подбор зависимостей показателей качества изоляции высоковольтных вводов от времени эксплуатации, а также синтез регрессионных моделей для оценки степени старения изоляции и прогнозирования её остаточного ресурса.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.Е., Шапов П.Ф., Шутенко О.В. Повышение эффективности эксплуатационного измерительного контроля трансформаторных масел: моногр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 452 с.

2. Шутенко О.В. Формирование однородных массивов показателей качества трансформаторного масла в условиях априорной неопределенности результатов испытаний // Інтегровані технології та енергозбереження: Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ «ХПИ», 2006. – Вип. 4. – С. 42–50.

3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2000. – 479 с.

FORMATION OF STATISTICALLY HOMOGENEOUS TIME SERIES OF INDICATORS OF QUALITY INSULATION CAPACITOR TYPE HIGH-VOLTAGE BUSHINGS

A. Zagaynova

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
ul. Frunze, 21, Kharkov, 61002, Ukraine. E-mail: zagaynova@gmail.com

The results of periodic measurements of quality indicators of condenser type insulation high-voltage bushings considered as a time series containing information about changing the value of this indicator since the installation of inputs and the current moment. The task of forming an array of statistically homogeneous time series reduces to finding a combination of time series of indicators that would provide the maximum value of the correlation ratio for a given time interval. For the formation of groups of bushings with the same drift velocity indicators of quality insulation used criterion of maximum empirical correlation ratio. It was formed several data sets for each indicator of quality insulation, for which as a result of the testing was find the maximum value of the correlation ratio. To evaluate the effectiveness of the performing procedure statistically homogeneous time series analysis was performed tightness stochastic association between indicators of the quality of the bushings insulation and time of exploitation.

Key words: high-voltage bushing, insulation, time series, correlation ratio.

REFERENCES

1. Bondarenko, V.E., Shchapov, P.F. and Shutenko, O.V. (2007), *Povysheniye effektivnosti ekspluatatsionnogo izmeritelnogo kontrolya transformatornykh masel*, [Improved operational control of the measuring transformer oils], Kharkov, NTU "KhPI". (in Russian)

2. Shutenko, O.V., (2006), "Formirovaniye odnomenykh massivov pokazateley kachestva trans-

formatornogo masla v usloviyakh apriornoj neopredelennosti rezultatov ispytaniy", *Integrovani tehnologii ta energozberezhennya: shokvartalny naukovopractichnyy zhurnal*, no. 4, pp. 42–50. (in Russian)

3. Gmurman, V.E. (2000), *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics], Vissaya shkola, Moscow. (in Russian)