

УДК 621.314

Загайнова Олександра Анатоліївна, асистент кафедри передачі електричної енергії
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, Вул. Фрунзе, 21, г. Харків, Україна, 61002, Тел. +38-057-707-69-97. E-mail: zagaynova@mail.com (orcid.org/ 0000-0002-8558-3211)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНОМАНІТНИХ ЧИННИКІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ СТАРІННЯ ІЗОЛЯЦІЇ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВВОДІВ

У статті виконано аналіз впливу різноманітних чинників на інтенсивність старіння ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів трансформаторів. Встановлено, що в умовах тривалої експлуатації, старіння ізоляції високовольтних вводів протікає з різною швидкістю. Основними чинниками, що впливають на швидкість старіння ізоляції високовольтних вводів, є тривалість експлуатації, тип вводу.

Ключові слова: трансформатор, високовольтний ввід, ізоляція конденсаторного типу, кореляційне відношення, двохфакторний перехресний дисперсійний аналіз.

Загайнова Александра Анатоліевна, асистент кафедры передачи электрической энергии
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002, Тел. +38-057-707-69-97. E-mail: zagaynova@mail.com (orcid.org/ 0000-0002-8558-3211)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ

В статье выполнен анализ влияния различных факторов на интенсивность старения изоляции конденсаторного типа высоковольтных вводов трансформаторов. Установлено, что в условиях длительной эксплуатации старение изоляции высоковольтных вводов протекает с разной скоростью. Основными факторами, которые влияют на скорость старения изоляции высоковольтных вводов, является длительность эксплуатации, тип ввода.

Ключевые слова: трансформатор, высоковольтный ввод, изоляция конденсаторного типа, корреляционное отношение, двухфакторный перекрестный дисперсионный анализ.

Zagaynova Aleksandra Anatolievna, assistant of the Department of electric power transmission
 National technical university «Kharkiv polytechnic institute», Kharkov, Ukraine, 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002, f. +38-057-707-69-97. E-mail: zagaynova@mail.com (orcid.org/ 0000-0002-8558-3211)

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT FACTORS ON THE AGING OF THE INSULATION CAPACITOR TYPE HIGH-VOLTAGE INPUT

This article gives an analysis of influence a variety of factors on the rate of aging of isolation condenser type transformers high-voltage inputs. It was found that under conditions of continuous operation, the aging of the high-voltage inputs isolation takes place at different speed. The primary factors that influence the rate of aging of the high-voltage inputs isolation is the duration of use, the type of high-voltage input.

Key words: transformer, high-voltage input, isolation condenser type, correlation ratio, a cross two-factor analysis of variance.

Вступ

Відповідно до опиту CIGRE 12 % із загального числа відмов трансформаторів пов'язані з пошкодженнями вводів високої напруги [1]. У електроенергетиці України, також як і в інших країнах, в даний час в експлуатації знаходиться близько 70 % силових трансформаторів і вимикачів з тривалим терміном служби, який в основному складає 25 років, і значна частина цього устаткування вже відпрацювала цей нормативний термін. Заміна такого устаткування вимагає істотних фінансових вкладень і не завжди доцільна з погляду технічних і економічних витрат.

Аналіз статистичних даних по роботі електроустаткування показує, що велика частина відмов і пошкоджень доводиться на високовольтні маслонаповнені вводи – до 50 %, причому, 73 % на вводи трансформаторів [2]. Основною причиною відмови вводів було пошкодження ізоляції. Досвід експлуатації силових трансформаторів напругою 110 – 500 кВ свідчить про те, що однієї з основних причин їх виходу з ладу є пошкодження

високовольтних вводів із-за погіршення стану внутрішньої ізоляції [2–6]. Спостерігається помітне зростання пошкоджуваності вводів у міру збільшення часу їх роботи [5].

Постановка задачі

В процесі тривалої експлуатації під впливом сильних електричних полів, робочої температури, хімічно агресивних середовищ та інших чинників відбувається зміна і погіршення властивостей ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів. Удосконалення методів діагностики стану ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів принципово не можливо без урахування закономірностей старіння ізоляції в умовах тривалої експлуатації та аналізу впливу експлуатаційних чинників на швидкість старіння ізоляції. У зв'язку з цим дослідження процесів старіння ізоляції вводів в умовах реальних експлуатаційних дій протягом тривалої експлуатації є актуальним і важливим завданням. У даній статті, на основі аналізу результатів експлуатаційного контролю, виконана оцінка впливу різних чинників на інтенсивність старіння ізоляції високовольтних вводів.

Основний матеріал

Для виконання аналізу використовувалися результати профілактичних випробувань діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів напругою 110 кВ з різних областей України. Всього проаналізовані результати профілактичних випробувань загальним об'ємом 2995 вибіркового значень по 6 показникам, які характеризують зміну ізоляційних властивостей вводів до 30 років експлуатації. Для зручності аналізу були сформовані групи показників якості ізоляції вводів з однаковою швидкістю дрейфу, згідно [7]. Для формування однорідних підмножин показників в умовах відсутності інформації про умови роботи вводів запропоновано використовувати критерій максимуму значень кореляційного відношення [8]. Результати формування однорідних підмножин показників якості ізоляції маслонаповнених високовольтних вводів силових трансформаторів приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати формування однорідних підмножин показників якості ізоляції вводів

Ізоляційні характеристики		Коефіцієнт парної кореляції, нижня та верхня границі довірчого інтервалу			Кореляційні відношення	
		r_H	ρ	r_B	η_{x_1, x_2}	η_{x_2, x_1}
$tg\delta_{10}$	1	0,316	0,483	0,621	0,85	0,859
	2	0,21	0,436	0,618	0,946	0,928
	3	0,523	0,682	0,795	0,924	0,928
	4	0,256	0,422	0,563	0,753	0,883
	5	0,441	0,585	0,7	0,76	0,959
	6	0,461	0,633	0,760	0,866	0,958
	7	0,41	0,625	0,775	0,845	0,896
$tg\delta_3$	1	0,367	0,471	0,562	0,811	0,789
	2	0,203	0,417	0,592	0,819	0,643
	3	0,309	0,423	0,525	0,77	0,929
	4	0,177	0,387	0,563	0,808	0,662
C_{10}	1	0,283	0,364	0,439	0,909	0,859
	2	0,117	0,35	0,522	0,824	0,885
C_3	1	0,19	0,343	0,479	0,917	0,843
	2	0,11	0,311	0,578	0,791	0,753
	3	0,25	0,45	0,613	0,917	0,858
	4	0,282	0,444	0,581	0,891	0,702
R_{10}	1	-0,218	-0,127	-0,034	0,681	0,993
	2	-0,454	-0,309	-0,149	0,911	0,911

Потім перевірялося, на скільки різні швидкості дрейфу різних показників між виділеними групами. Оскільки передбачається, що значення показників змінюються не лише в часі, але і між групами, то для перевірки відмінностей швидкості старіння використовувалася математична модель двохфакторного перехресного дисперсійного аналізу.

При цьому чинник тривалості експлуатації розташовувався по рядках, а чинник групи по стовпцях. Вважається, що число спостережень в кожному осередку однакове і рівне m . Якщо ефекти зміни рівнів факторів адитивні, тобто різниця математичних сподівань між двома рівнями одного фактору однакова при будь-яких рівнях іншого, то модель для компонентів дисперсії може бути представлена у вигляді лінійного рівняння [9]. Якщо ефекти не адитивні, то необхідно ввести в модель складову, яка характеризує взаємодію між факторами. Модель для компонентів дисперсії має вигляд:

$$y_{ijr} = \mu + \rho_i + y_j + \xi_{ijr} + (\rho y)_{ij}, \quad (1)$$

де y_{ijr} – значення показника ізоляції, μ – загальне середнє; ρ_i – середнє відхилення відносно μ для i -го рівня першого фактору; y_j – середнє відхилення відносно μ для j -го рівня другого фактору; ξ_{ijr} – залишкова випадкова величина; i – рівень першого фактору; j – рівень другого фактору; r – порядок появи одного з m_{ij} спостережень для сполучення i -го рівня першого з j -м рівнем другого фактору, $(\rho y)_{ij}$ – складова, яка характеризує взаємодію між факторами.

Вираження для повної суми квадратів відхилень від загального середнього для моделі (1) має вигляд:

$$S_{\text{общ}} = S_A + S_B + S_{AB} + S_\varepsilon \quad (2)$$

де $S_A = k \cdot m \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2$ – сума квадратів відхилень, яка характеризує розсіяння

середніх по рядкам відносно загального середнього;

$S_B = n \cdot m \cdot \sum_{j=1}^k (\bar{y}_j - \bar{y})^2$ – сума квадратів відхилень від загального середнього між

стовпчиками, яка характеризує розсіяння середніх по стовпчиках;

$S_{AB} = m \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2$ – сума квадратів відхилень в серії, яка характеризує

ефект взаємного впливу;

$S_\varepsilon = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^m (y_{ijr} - \bar{y}_{ij})^2$ – сума квадратів відхилень в серії, яка характеризує розсіяння

окремих спостережень в серії, обумовлених впливом тільки випадкових величин.

Оцінка середніх квадратів:

загальна:

$$S_{\text{общ}}^2 = \frac{S_{\text{общ}}}{n \cdot k \cdot (m-1)} = \sigma_\xi^2 + \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_{AB}^2;$$

між строкова:

$$\bar{S}_A^2 = \frac{S_A}{n-1} = \sigma_\xi^2 + k \cdot m \cdot \sigma_A^2 + m \cdot \sigma_{AB}^2;$$

між стовпчиками:

$$\bar{S}_B^2 = \frac{S_B}{n-1} = \sigma_\xi^2 + n \cdot m \cdot \sigma_B^2 + m \cdot \sigma_{AB}^2;$$

взаємодії:

$$\bar{S}_{AB}^2 = \frac{S_{AB}}{(n-1) \cdot (k-1)} = \sigma_{\xi}^2 + m \cdot \sigma_{AB}^2;$$

залишкова:

$$\bar{S}_{\xi}^2 = \frac{S_{\xi}}{n \cdot k(m-1)} = \sigma_{\xi}^2.$$

Результати двохфакторного перехресного дисперсійного аналізу приведені в табл. 2

Таблиця 2

Результати двохфакторного дисперсійного аналізу

Позначення суми квадратів	Джерело мінливості	Число степенів свободи	Сума квадратів	Середній квадрат
S_A	Відхилення між середніми по рядкам	$n-1$	$k \cdot m \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	$\frac{S_A}{n-1}$
S_B	Відхилення між середніми по стовпчикам	$k-1$	$n \cdot m \cdot \sum_{j=1}^k (y_j - \bar{y})^2$	$\frac{S_B}{n-1}$
S_{AB}	Сума квадратів відхилень, яка характеризує ефект взаємного впливу	$(n-1)(k-1)$	$m \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2$	$\frac{S_{AB}}{(n-1) \cdot (k-1)}$
S_{ξ}	Залишкове розсіювання	$n \cdot k \cdot (m-1)$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^m (y_{ijr} - \bar{y}_{ij})^2$	$\frac{S_{\xi}}{n \cdot k(m-1)}$
$S_{общ}$	Загальна сума квадратів	$n \cdot k \cdot m - 1$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^m (y_{ijr} - \bar{y})^2$	—

Перевірка гіпотез про вагомість ефектів факторів і їх взаємодій виконується за допомогою критерію Фішера. Для цього вичислюються співвідношення відповідних середніх квадратів до залишкового середнього квадрата:

$$F_A = \frac{\bar{S}_A^2}{\bar{S}_{\xi}^2}; \quad F_B = \frac{\bar{S}_B^2}{\bar{S}_{\xi}^2}; \quad F_{AB} = \frac{\bar{S}_{AB}^2}{\bar{S}_{\xi}^2}, \quad (3)$$

Отримані дані порівнюються з знайденими по таблицям F -розподілу значеннями $F_{ТАБЛ}$ для прийнятого рівня значимості $\alpha = 0,05$ або більш високого ($0,01-0,001$) та числа степенів свободи чисельника $V_A=(n-1)$, $V_B=(k-1)$, $V_{AB}=(n-1)(k-1)$ та знаменника $V_b = nk(m-1)$.

Якщо розрахункове значення менше табличного, то, з рівнем довіреності $(1 - \alpha)$, гіпотеза про відсутність взаємозв'язку приймається. Процеси старіння ізоляції високовольтних введів протікають з різною швидкістю. Дуже важливо знати, які фактори і як саме вони впливають на інтенсивність старіння ізоляції в процесі тривалої експлуатації.

Проаналізуємо вплив тривалості експлуатації, типу фази, типу вводу і року введення в експлуатацію на тангенс діелектричних втрат, ємкість та опір. Для розрахунків використовувалась програма «DDA» [10].

Значення сум дисперсійного розкладання, а також розрахункові і критичні значення F -критеріїв, отримані в результаті дисперсійного розкладання для груп діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу високовольтних введень приведені у табл. 3.

Таблиця 3

Результати двохфакторного дисперсійного аналізу ізоляційних характеристик високовольтних вводів від тривалості експлуатації

Ізоляційні характеристики	Значення F-статистик					
	F _A	F _{кр}	F _B	F _{кр}	F _{AB}	F _{кр}
$tg\delta_{10}$	5,1806	4,5597	9,3534	4,5597	7,2488	3,6083
$tg\delta_3$	4,7781	2,8294	7,5964	3,8951	2,7221	2,3836
C ₁₀	13,1483	5,5675	6,2062	4,1821	6,0696	4,1821
C ₃	11,6914	5,5675	8,1413	4,1821	7,0169	4,1821
R ₁₀	6,2037	3,0669	9,0036	5,3548	11,2037	3,0669

З отриманих результатів можна зробити, що зв'язок між факторами є вагомим.

1. Значуще перевищення розрахунковими значеннями критеріїв F_A граничних значень свідчить про те, що спостерігається дрейф значень показників діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції вводів в часі, тобто відбуваються процеси старіння ізоляції;

2. Значуще перевищення розрахунковими значеннями критеріїв F_B граничних значень свідчить про те, що швидкість дрейфу показників діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції вводів, відрізняється між групами, а, значить, вводи в різних групах експлуатувалися в різних умовах;

3. Значуще перевищення розрахунковими значеннями критеріїв F_{AB} граничних значень свідчить про те, що ефекти зміни рівнів чинників не адитивні, тобто ефект від зміни рівня дії одного чинника приводить до зміни ефекту від рівня дії іншого.

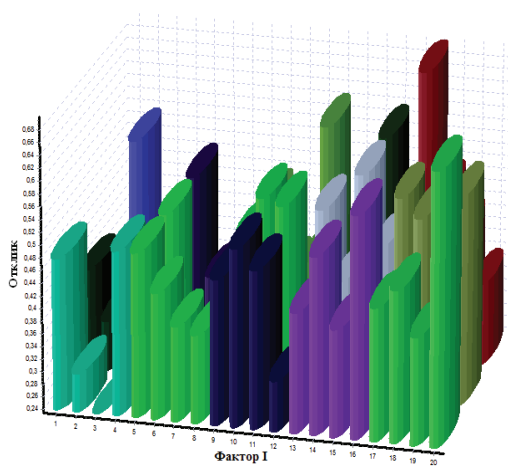
Проте, представляє безпосередній інтерес проаналізувати і вплив інших чинників. Проаналізуємо вплив типу фази, типу вводу і року введення в експлуатацію на тангенс діелектричних втрат, ємність та опір.

Результати впливу тривалості експлуатації та типу фази на ізоляційні характеристики високовольтних вводів приведені у табл. 4. Графічні результати зображені на рис.1 и рис. 2.

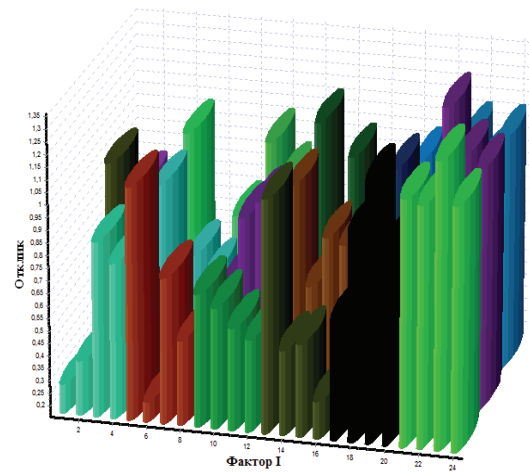
Таблиця 4

Результати впливу тривалості експлуатації та типу фази на ізоляційні характеристики високовольтних вводів

Фактор	Ізоляційні характеристики	Значення F-статистик					
		F _{str}	F _{кр}	F _{stolb}	F _{кр}	F _{vz}	F _{кр}
За типом фази	$tg\delta_{10}$	4,116	3,097	0,074	4,0196	3,209	2,4996
	$tg\delta_3$	8,5431	2,8215	0,201	3,963	5,412	3,6889
	C ₁₀	13,651	2,5665	0,747	3,6889	2,159	2,0483
	C ₃	7,782	2,5665	0,36735	3,6889	3,037	2,0483
	R ₁₀	0,3104	2,4726	1,345	3,8348	1,345	2,3275

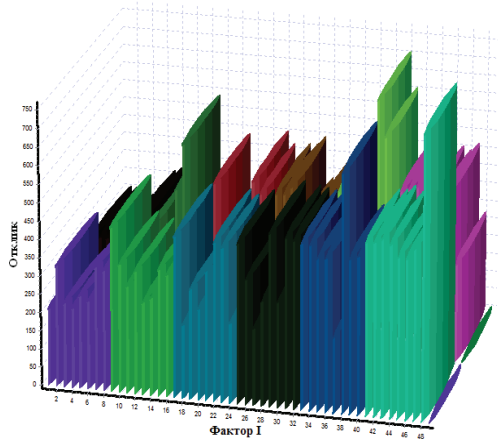


а)

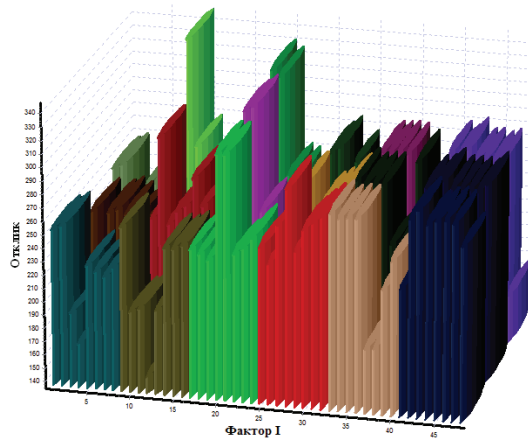


б)

Рис. 1. Вплив тривалості експлуатації та типу фази на а) $tg\delta$ _10 кВ, б) $tg\delta$ _3 кВ



а)



б)

Рис. 2. Вплив тривалості експлуатації та типу фази на а) C _10 кВ, б) C _3 кВ

Файл результату впливу тривалості експлуатації та року введення в експлуатацію на ізоляційні характеристики високовольтних вводів приведений у табл.5. Графічні результати зображені на рис.3 та рис. 4.

Таблиця 5

Результати впливу тривалості експлуатації та року введення в експлуатацію на ізоляційні характеристики високовольтних вводів

Фактор	Ізоляційні характеристики	Значення F-статистик					
		F_{str}	$F_{кр}$	F_{stolb}	$F_{кр}$	F_{vz}	$F_{кр}$
За роком введення в експлуатацію	$tg\delta$ _10	10,771	3,9253	1,529	3,3425	5,203	2,6274
	$tg\delta$ _3	7,144	5,2413	1,597	2,4695	4,725	2,4695
	C _10	15,033	5,2413	1,883	2,4695	6,323	2,4695
	C _3	12,684	4,0196	0,229	4,0196	3,131	3,0965
	R _10	1,321	3,2655	2,045	2,5321	2,038	2,0929

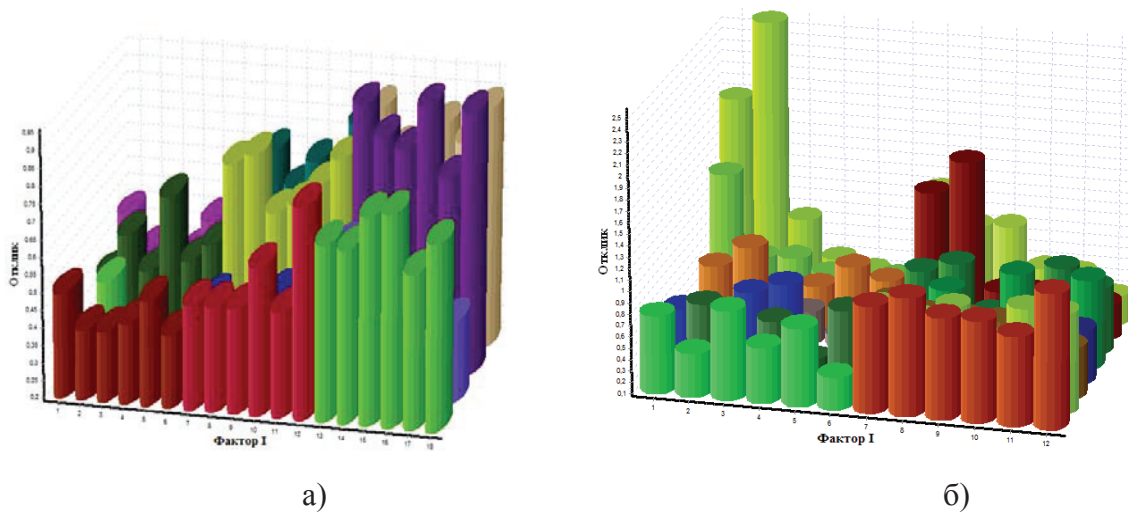


Рис. 3. Вплив тривалості експлуатації та року введення в експлуатацію на а) $tg\delta_{10}$, б) $tg\delta_{3 \text{ кВ}}$

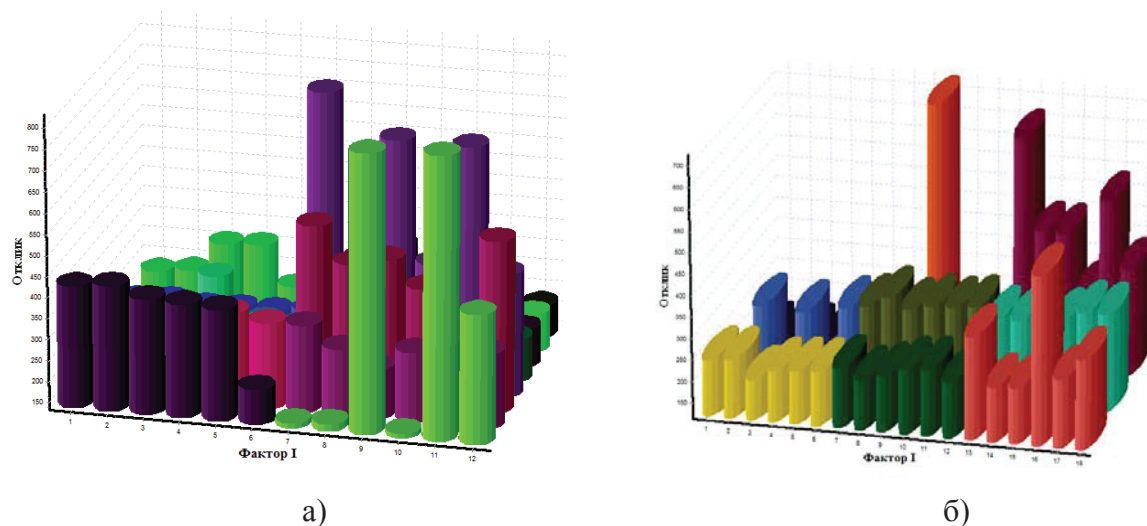


Рис. 4. Вплив тривалості експлуатації та року введення в експлуатацію на а) $C_{10 \text{ кВ}}$, б) $C_{3 \text{ кВ}}$

Проаналізуємо вплив тривалості експлуатації та типу вводу на тангенс діелектричних втрат, ємність та опір. Файл результату впливу тривалості експлуатації та типу вводу на ізоляційні характеристики високовольтних вводів приведений у табл.6. Графічні результати зображені на рис. 5 та рис. 6.

Таблиця 6

Результати впливу тривалості експлуатації та типу вводу на ізоляційні характеристики високовольтних вводів

Фактор	Ізоляційні характеристики	Значення F-статистик					
		F_{str}	$F_{кр}$	F_{stolb}	$F_{кр}$	F_{vz}	$F_{кр}$
За типом вводу	$tg\delta_{10}$	4,941	3,8951	24,659	2,8294	2,571	2,3836
	$tg\delta_{3}$	7,963	5,2857	5,604	2,7863	4,6541	2,7863
	C_{10}	30,149	5,2191	8,5599	2,3556	8,332	2,3556
	C_{3}	4,713	3,1161	14,254	2,1918	2,274	1,8078
	R_{10}	1,943	3,6889	1,465	2,1918	1,226	1,8078

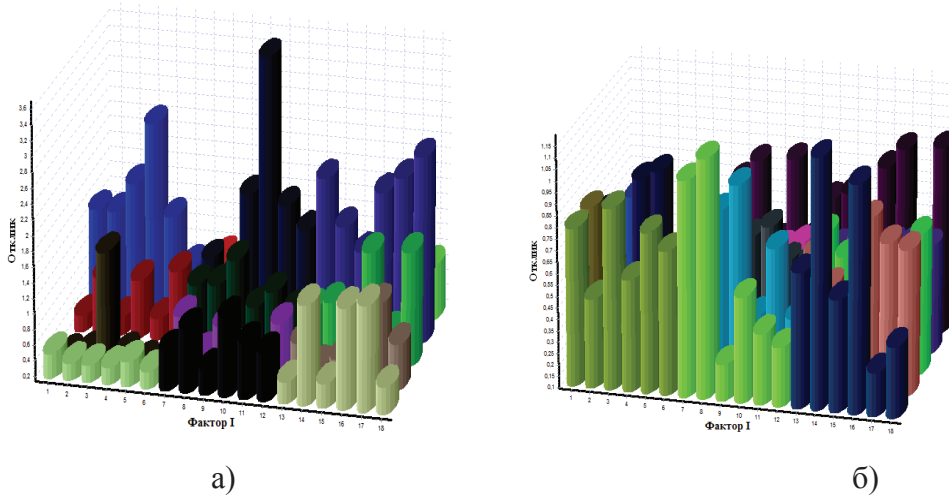


Рис. 5. Вплив тривалості експлуатації та типу вводу на а) $tg\delta_{10}$, б) $tg\delta_{3}$ кВ

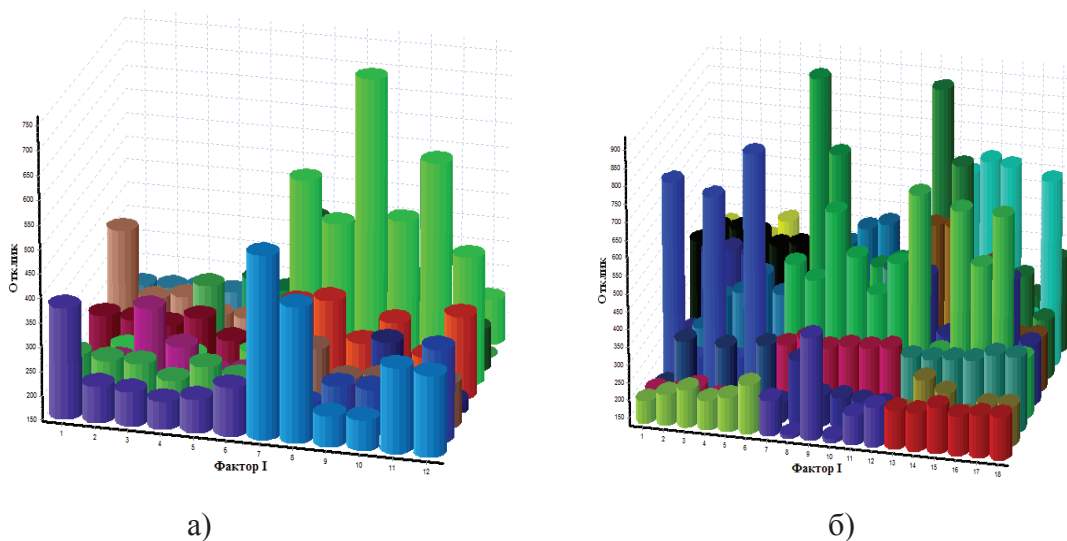


Рис. 6. Вплив тривалості експлуатації та типу вводу на а) C_{10} кВ, б) C_{3} кВ

Висновки

В результаті двохфакторного дисперсійного аналізу виявлено, що зв'язок між масивами даних для кожного з факторів ізоляційних характеристик високовольтних вводів є значимий. Розрахований вплив на тангенс діелектричних втрат: $tg\delta_{10}$, $tg\delta_{3}$, ємність: C_{10} , C_{3} та опір R_{10} різних факторів, таких як: фаза, рік введення в експлуатацію та тип вводу.

В тих випадках, коли розрахункове значення F_{str} переважає $F_{кр}$, це свідчить про те, що гіпотеза про відсутність впливу тривалості експлуатації на ізоляційні характеристики вводів тангенс діелектричних втрат (10 кВ, 3 кВ), ємність (10 кВ, 3 кВ) та опір (10 кВ) відхиляється і спостерігається значний дрейф значень діелектричних характеристик в часі.

В тих випадках, коли розрахункове значення F_{stolb} переважає $F_{кр}$, це свідчить про те, що гіпотеза про відсутність впливу фактора (тип фази, рік введення в експлуатацію та тип вводу) на старіння ізоляції також відхиляється.

В тих випадках, коли розрахункове значення F_{vz} переважає $F_{кр}$, це свідчить про те, що ефекти зміни рівнів факторів не адитивні (ефект від зміни рівня впливу одного фактора приводить до зміни ефекту від рівня впливу іншого фактору).

Як і слід було чекати, фаза вводу не впливає на інтенсивність старіння ізоляції. Значущою є не фаза, а скільки років експлуатується даний ввід. Аналізуючи дані табл.6 легко побачити, що тип вводу надає значущий вплив на швидкість старіння ізоляції.

В умовах тривалої експлуатації старіння ізоляції високовольтних вводів протікає з ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів значно відрізняється. Основними чинниками, що впливають на швидкість старіння ізоляції високовольтних вводів, є: тип вводу, тривалість експлуатації.

Перелік використаної літератури:

1. E. Gulski, J. Smith, R. Schomber, J. Slangen, P.Schicarski. Condition Assessment Model for Power Transformers /Proc. 14th ISH, Beijing, 2005. Paper F-07.
2. Жорняк Л. Б. Повышение надежности и эффективности высоковольтных вводов / Л. Б. Жорняк, Е. Ю. Райкова, В.И. Осинская // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Електротехніка і електроенергетика. – 2008. – № 4. – С. 94–99.
3. Норми випробування електрообладнання. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – К.: ОЕП ГРІФРЕ. 2009. – 232 с.
4. Живодерников С. В. Мониторинг состояния маслонаполненных вводов под рабочим напряжением / С. В. Живодерников, В. А. Русов, В. И. Козлов // В сб. Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 28 /Под ред. А. И. Таджибаева, В. Н. Осотова. — СПб: ПЭИПК, 2005. — С. 379–395.
5. Кассихин С. Д. Оценка эффективности и целесообразности диагностики высоковольтных вводов на основе опыта эксплуатации / С. Д. Кассихин, К. Г. Сипилкин, А. З. Славинский [и др.] // Трансформаторы: эксплуатация, диагностирование, ремонт, продление срока службы: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Виктора Соколова/под ред. А. Г. Овсянникова, В. Н. Осотова. – Екатеринбург: Издательский дом «Автограф». 2010. – 232 с.
6. Аникеева М. А. Диагностические признаки для отбраковки вводов высокого напряжения с бумажно-масляной изоляцией / М. А. Аникеева, Р. С. Арбузов, С. В. Живодерников [и др.]//Электро. – 2009. – № 1. – С. 32–35.
7. Загайнова А. А. Формирование статистически однородных временных рядов показателей качества изоляции конденсаторного типа высоковольтных вводов / А. А. Загайнова // Проблемы энергоресурсосбережения в электротехнических системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання.–Кременчук: КрНУ. 2015–вып.1/2015(3). – С. 201–203.
8. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – 7-е изд., стер., М.: Высшая школа, 2000.– 480 с. – ISBN 5-06-003464-Х.
9. Давыденко А. П. Организация и планирование научных исследований, патентоведение / А.П. Давыденко, – Х: НТУ «ХПИ». 2004. – 320 с.
10. Шутенко О. В. Планирование экспериментальных исследований в электроэнергетике. Методы обработки экспериментальных данных / О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай, – Х.: НТУ «ХПИ». 2012. –268 с.– ISBN 978-617-05-0059-5.

References:

1. E. Gulski, J. Smith, R. Schomber, J. Slangen, P.Schicarski. (2005) Condition Assessment Model for Power Transformers /Proc. 14th ISH, Beijing. Paper F-07.
2. Zhornyak L., Raikov E., Osinskaya V. (2008) Improving the reliability and efficiency of high-voltage inputs [Povysheniye nadezhnosti i effektivnosti vysokovol'tnykh vvodov]. Bulletin KSPU Mykhailo Ostrohradskiyi. Electrical engineering and power generation. No. 4. P. 94–99.
3. Standards testing of electrical equipment. SOU-N 20,304 EE: 2009. [Normy vyprobuvannya elektroobladnannya. SOU-N EE 20.302:2007]. – Kiev. GRIFRE. 2009.– 232 p.
4. Zhivodernikov S. V., Rusov V.A., Kozlov V. I. (2005) Monitoring of oil-filled inputs with the working voltage. [Monytorynh sostoyannya maslonapolnennykh vvodov pod rabochym napryazheniyem.]. In compilation Methods and tools for assessment of the energy equipment. Vol. 28 St. Petersburg: PEIPK, – P. 379–395.
5. Kassikhin S. D., Sipilkin K. G, Slavinskiy A. Z., Ustinov V. N., Pinal S., Vereshchagin M.B. (2010) Assessment of the effectiveness and appropriateness of the diagnosis of high-voltage inputs on the basis of operating experience. [Otsenka éffektivnosti y tselesoobraznosti dyahnostyky vysokovol'tnykh vvodov na osnove opyta éksplyuatatsyy]. Transformers: maintenance, diagnosis and repair of the life extension: International scientific-practical conference dedicated to seventieth Victor Sokolov. ed. Ovsyannikov A. G., V. N. Osotova. Ekaterinburg. Publishing house "Autograph". – 232 p.
6. Anikeeva M. A., Arbuзов R. S., Zhivodernikov S. V., Lazarev E. A., Ovsyannikov A. G., Panov M. A. (2009) Diagnostic features to reject a high voltage input with paper-oil insulation . [Diagnosticheskiye priznaki dlya otbrakovki vvodov vysokogo napryazheniya s bumazhno-maslyanoy izolyatsiyey]. ELECTRIC. No. 1. P. 12–15.
7. Zagaynova A. A. (2015) Formation of statistically homogeneous time series of indicators of quality of isolation condenser type high-voltage inputs. [Formirovaniye statisticheski odnorodnykh vremennykh ryadov pokazateley kachestva izolyatsii kondensatornogo tipa vysokovol'tnykh vvodov]. Problems of energy saving in electrotechnical systems. Science, Osvita i practice. Kremenchuk. – No. 1. P. 201–203.
8. Gmurman V. E. (2000) Probability theory and mathematical statistics. [Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika]. 7th ed., Sr., M.: Higher School. 479 p. ISBN 5-06-003464-Х.
9. Davydenko A.P. (2004) Organization and planning of research, patenting.[Organizatsiya i planirovaniye nauchnykh issledovaniy, patentovedeniye], Kharkov. NTU "KPI". 320 p.
10. Shutenko O. V., Baklaj D. N. (2012) Planning of experimental studies in the power sector. The methods of experimental data processing.[Planirovaniye eksperimental'nykh issledovaniy v elektroenergetike. Metody obrabotki eksperimental'nykh dannykh]. Kharkov: NTU "KPI". 268 p. ISBN 978-617-05-0059-5.

Поступила в редакцию 06.08 2015 г.