

**Є.Г. Худий**

(Україна, Дніпропетровськ, ДВНЗ «Національний гірничий університет»)

## **ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ВИПРОБУВАЛЬНОЮ НАПРУГОЮ ШИРОКОГО ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ**

### **Вступ**

Сучасні технології експлуатації, обслуговування та ремонту обладнання розвиваються великими темпами. Планово-попереджувальні ремонти еволюціонували в обслуговування за фактичним станом. Наступним кроком стала поява систем управління ризиками та надійністю підприємства, тобто спостерігається зміна масштабу прийняття рішень та інтеграція з іншими системами управління підприємством. Слід відзначити, що рішення, які приймають подібні системи, значною мірою впливають на ефективність використання фінансових та матеріальних ресурсів, планування виробництва, формування людських ресурсів та ін. Для здійснення аналізу необхідна адекватна і точна інформація про фактичний технічний стан обладнання, що зумовлює актуальність розвитку методів діагностики обладнання.

Однією з наукових задач загальної проблеми діагностування технічного стану обладнання є діагностика технічного стану ізоляції електрообладнання. Ремонт ізоляції електричних двигунів - досить витратна операція, яка може також бути пов'язана із зупинкою частини виробничого процесу. Планування ремонтів електричних машин повинно здійснюватись з урахуванням ефективного використання ресурсів.

Один із шляхів підвищення достовірності та інформативності результатів діагностування технічного стану ізоляції електричних машин - це розширення методів дослідження її властивостей [1]. Пошук нових методів дослідження стану ізоляції є актуальним також з точки зору розширення їх застосування для різного класу обладнання, різних режимів роботи обладнання та ін. [2].

### **Аналіз досліджень і публікацій**

Різноманітні види поляризації, що мають місце в діелектриках, по-різному проявляються в різних діелектриках [3]. Крім того, в діелектриках спостерігається змінення показників зі зміною частоти прикладеної напруги. Ці залежності використовуються для визначення, наприклад, коефіцієнта абсорбції (як відношення ємкості при 2 Гц до ємкості при 50 Гц) [4], для діагностики технічного стану ізоляції за результатами вимірювання  $tg\delta$  в діапазоні частот до 10 Гц [5, 6]. Не менш цікавим є і дослідження цих залежностей у більш широкому спектрі частот, де мають місце інші види поляризації [3], та використання

цих залежностей у задачах діагностики технічного стану ізоляції електричних машин.

## Мета роботи

Визначити перспективність використання залежностей  $tg\delta$  від частоти прикладеної напруги в розширеному діапазоні частот для створення нових методів діагностики технічного стану ізоляції електричних машин.

## Викладення основного матеріалу

Для пошуку зв'язку між технічним станом ізоляції та залежністю  $tg\delta$  від частоти прикладеної напруги були проведені дослідження на синхронних двигунах з ізоляцією одного класу та напруги (табл. 1). Вимірювання здійснювались при відносній вологості 68 % та температурі обмоток  $+22^{\circ}\text{C}$ .

Для кожного з двигунів проведено комплексне вимірювання, яке містить у собі як стандартні вимірювання параметрів ізоляції, так і вимірювання на низькій частоті.

Таблиця 1

Характеристики двигунів

№ двигуна	Номинальна потужність, кВт	Номинальна напруга, В	Клас нагрівостійкості ізоляції	Фактичний строк експлуатації ізоляції
1	2000	6000	F	3 роки
2	2000			4 роки
3	2600			23 роки
4	2600			23 роки
5	2000			11 років
6	2000			9 років
7	2000			9 років
8	8000			1 рік
9	2000			28 років
10	2000			28 років
11	2000			33 роки
12	2000			33 роки
13	800			33 роки
14	800			33 роки

Для реалізації стандартних методів вимірювань використовувались прилади:

1. Fluke 1507 – вимірювання  $DAR$ ,  $PI$ ,  $R_{60}$ ;
2. ЦС-0202-1 – вимірювання  $R_{60}$ ,  $K_{аб}$ ;
3. E7-22 – вимірювання  $Q$ ,  $C$ ;
4. Fluke 971 – вимірювання вологості та температури повітря;

5. Для вимірювання  $tg\delta$  на частоті 50 Гц використано джерело синусоїдальної напруги 2500 В потужністю 2500 ВА;
6. За результатами вимірювань  $R_{60}$  та  $C$  розраховувалась постійна часу ізоляції  $t$ .

Для оцінювання технічного стану ізоляції використовувався комплексний показник технічного стану ізоляції  $Q$ , який враховує всі показники стандартних вимірювань [1]. Комплексний показник технічного стану ізоляції розраховується за формулою

$$Q = \sum_{i=1}^N (K_{ni} \cdot m_i), \quad (1)$$

де  $K_{ni}$  – нормоване значення параметра,  $m_i$  – ваговий коефіцієнт параметра.

Результати вимірювань за стандартними методами наведені в табл. 2, в якій також наведено комплексний показник технічного стану ізоляції.

Таблиця 2

Результати стандартних вимірювань

№ двигуна	$R_{60}$ , МОм	$K_{аб}$	DAR	PI	$tg\delta(50 \text{ Гц})$ , %	t, с	Q
1	472	1,44	1,2	1,2	3	45	0,51
2	909	1,78	1,5	1,8	21	102	0,48
3	7,96	1,03	1	1	12	2	0,22
4	16,5	1,01	1	1	19	4	0,23
5	270	1,38	1,2	1,3	27	22	0,39
6	425	1,77	1,4	2,5	22	24	0,56
7	755	1,75	1,4	1,2	26	47	0,53
8	1337	3,35	1,9	3,8	14	300	0,75
9	79	1,32	1,2	1	24	15	0,28
10	77	1,17	1,1	1	19	15	0,24
11	276	1,9	1,4	2,5	16	24	0,55
12	205	1,25	1,2	1,3	3	9	0,36
13	391	1,5	1,3	1,7	5	17	0,54
14	47	1,16	1	1,1	12	2	0,26

Для проведення досліджень в широкому спектрі частот між обмоткою та корпусом машини була прикладена напруга прямокутної форми частотою 1 кГц (рис. 1).

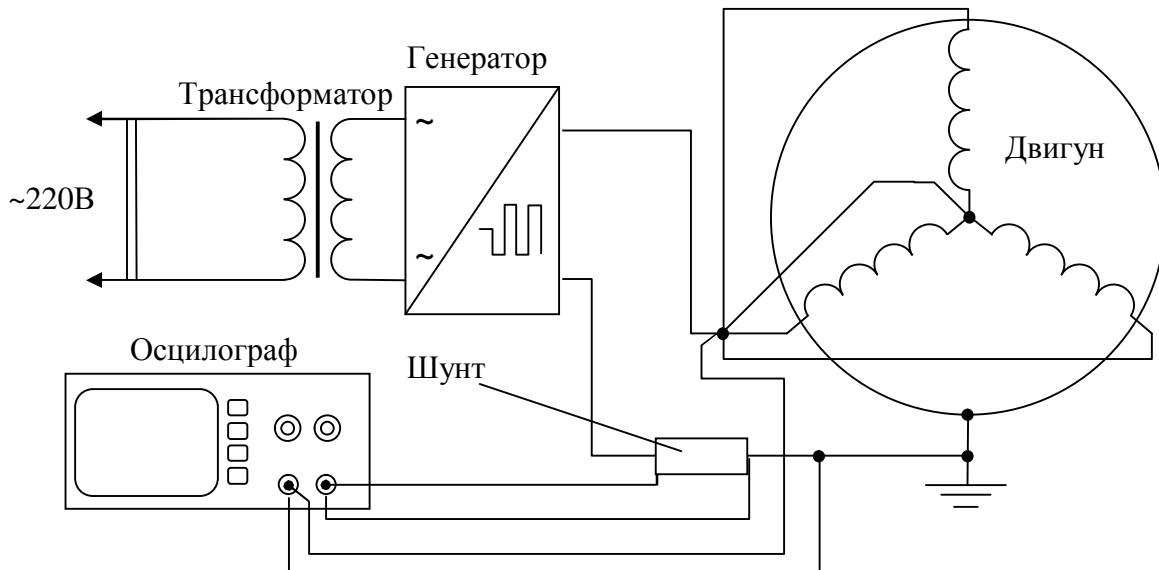


Рис. 1. Схема вимірювання тангенса кута діелектричних втрат у широкому спектрі частот

На основі отриманих осцилограм напруги та струму розраховано значення  $tg\delta$  на частотах від 1 до 100 кГц та побудовано гістограми залежності  $tg\delta(f)$  (рис. 2, 3).

Як видно з рисунків, для двигунів з погіршеним станом ізоляції (двигуни № 3, 4, 9, 10, 14) гістограма залежності  $tg\delta(f)$  має більшу щільність заповнення. Для двигунів із задовільним станом ізоляції (особливо для двигуна №8) гістограма залежності  $tg\delta(f)$  має, певною мірою, меншу щільність.

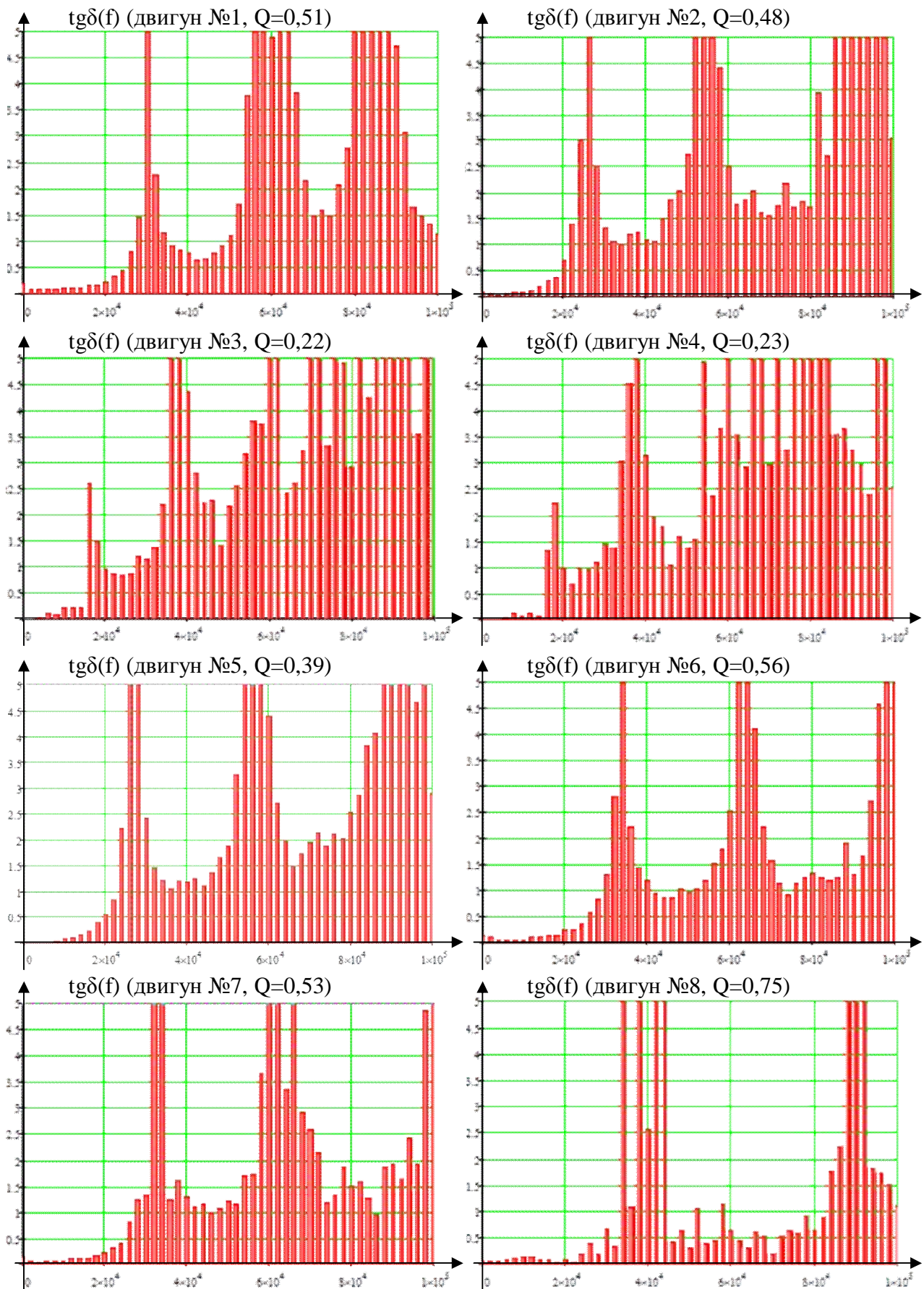


Рис. 2. Гістограми результатів розрахунків  $\text{tg}\delta$  на частотах від 1 до 100 кГц (двигуни №1-8)

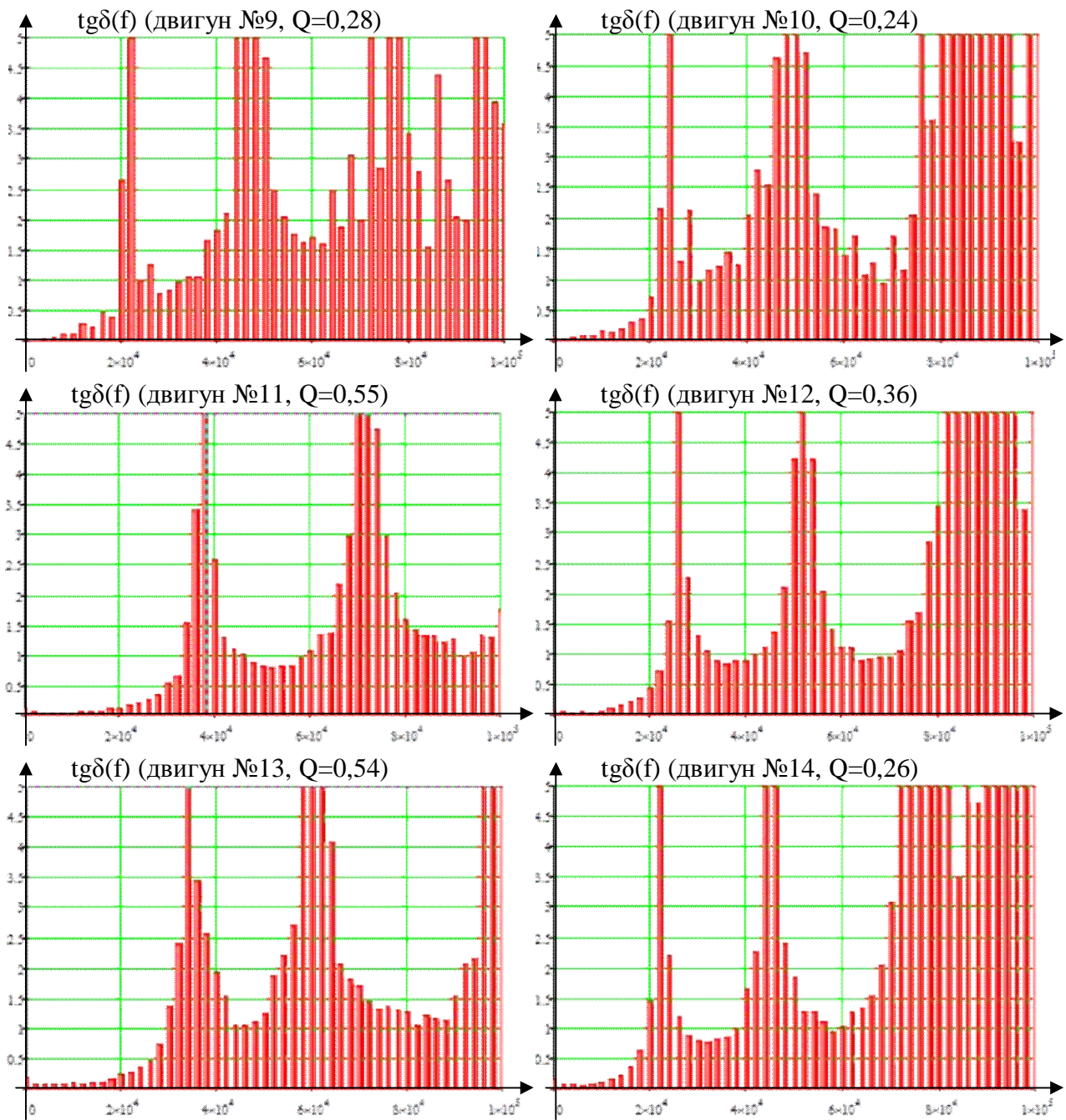


Рис. 3. Гістограми результатів розрахунків  $tg\delta$  на частотах від 1 до 100 кГц (двигуни №9-14)

Для кількісної оцінки щільності гістограм використаємо середнє арифметичне значення

$$tgd_{cp} = \frac{\sum_{f=1}^{100} (tg d(f))}{100}, \quad (2)$$

Аналіз даних, наведених у табл. 3, підтверджує зв'язок між технічним станом ізоляції та середнім арифметичним значенням залежності  $tg\delta(f)$  – чим гірше стан ізоляції, тим більше середнє арифметичне значення  $tg\delta(f)$ .

**Порівняння результатів стандартних вимірювань та вимірювань  $tg\delta$   
у широкому спектрі частот**

№ двигуна	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Q</b>	0,51	0,48	0,22	0,23	0,39	0,56	0,53	0,75	0,28	0,24	0,55	0,36	0,54	0,26
<b>tg<math>\delta</math><sub>ср</sub></b>	2,07	2,11	2,86	2,62	2,31	1,53	1,72	1,21	2,28	2,45	1,38	2,17	1,67	2,41

### Висновки

Виконані дослідження вказують на зв'язок поточного технічного стану ізоляції зі спектром тангенса кута діелектричних втрат. Подальший розвиток досліджень у цьому напрямку є перспективним для створення нового методу діагностики стану ізоляції, який буде доповнювати існуючі методи та дозволить підвищити достовірність оцінки поточного технічного стану ізоляції.

### Список літератури

1. Худий, Є.Г. Сучасні методи діагностики стану ізоляції електричних машин [Текст]/ Є.Г. Худий, І.І. Пельтек // Вісник Національного технічного університету "ХПІ: сер. «Електротехніка, електроніка та електропривод». – 2010. – № 31 – с. 549-550.
2. Худий, Є.Г. Діагностика стану ізоляції електричних машин [Текст]/ Є.Г. Худий // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип.84. – с.197-203.
3. Тареев, Б.М. Физика диэлектрических материалов [Текст]/ Б.М. Тареев – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
4. Забокрицкий, Е.И. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики. [Текст]/ Е.И. Забокрицкий – К.:Наук. дума, 1985. – 340 с.
5. Jan Subocz. Contemporary Diagnostic Methods of HV Rotating Machine and Transformer Insulation / Jan Subocz, Marek Szrot, Janusz Płowucha, Ryszard Malewski // CIGRE WG D1.33 – 2005. – A2-209. – 237 с.
6. Bhumiwat S.A. Field Experience in Insulation Diagnosis of Industrial High Voltage Motors using Dielectric Response Technique / S.A. Bhumiwat // 2009 IEEE Electrical Insulation Conference, Montreal, QC, Canada. – 2009. – 678 с.

*Рекомендовано до друку: доцентом Головченко А.С.*