

УДК 621.313

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ВІБРОПРОЦЕСІВ

**В.О. Тітко**, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна  
e-mail: titko\_ied@mail.ru

*Проведено аналіз вібропроцесів для визначення технічного стану асинхронних двигунів. Дослідження поведінки віброхарактеристик асинхронних двигунів дали можливість уточнити введений діагностичний параметр, який при використанні дасть змогу прогнозувати технічний стан асинхронного двигуна за сукупністю накопичених дефектів і вчасно його зупинити, не допускаючи суттєвих пошкоджень вузлів машини і аварійних ситуацій. Бібл. 7, рис. 4.*

**Ключові слова:** асинхронний двигун, обмотка статора, вібраційна діагностика, діагностичний параметр, критерій граничного накопичення дефектів.

Високий ступінь зношування генеруючого обладнання електростанцій України та низький коефіцієнт оновлення під час ремонтів основного обладнання, до якого належать асинхронні електродвигуни (АД) власних потреб, є факторами зниження показників експлуатаційної надійності та підвищують вимоги до інформації про їх поточний технічний стан.

Особливої уваги заслуговують методи інтегрального діагностування, коли за мінімальною кількістю даних експлуатаційного контролю визначається технічний стан всього АД, а не окремого вузла, за сукупністю всіх можливих дефектів. Таке інтегральне діагностування можна здійснювати, застосовуючи методи вібраційної діагностики [4-6], які реалізуються на основі засобів штатної системи контролю. Прикладом цього є діагностування потужних турбогенераторів (ТГ) на основі введення критеріальної функції накопичення дефектів у статорі та розробки критерію граничного накопичення дефектів у машинах [2, 3, 7]. Ця робота пов'язана із застосуванням введеного критерію для асинхронних електродвигунів.

Як відомо, в турбогенераторах критеріальна функція є функцією вертикальних складових віброзсувів на опорах підшипників генератора в двох режимах – навантажувальному і при неробочому ході, коли відсутня дія електромагнітних процесів у статорі на вібрацію в роторі. Вона характеризує зміну технічного стану в часі й у тих випадках, коли абсолютні значення не перевищують припустимі за технічними умовами [3, 7].

В АД режими навантажувальні й неробочого ходу мають однакову фізичну суть з точки зору електромагнітної взаємодії статора і ротора. Тому для асинхронного електродвигуна пропонується ввести критеріальну функцію як функцію вібрацій на опорах підшипників в одному з навантажувальних режимів або неробочого ходу і в режимі вибігу ротора, коли відключено живлення обмотки статора.

Для експериментального дослідження запропонованого критерію граничного накопичення дефектів було використано фізичний стенд на базі асинхронного багатшвидкісного двообмоткового двигуна з короткозамкненим ротором потужністю 1,7 кВт, на якому моделювались дефекти. Численні експерименти в режимах неробочого ходу і на вибігу ротора проводились для умовно-бездефектного стану і при моделюванні дефектів. У цій роботі розглянуто дефекти АД у вигляді виткових замикань обмотки статора.

Виткові замикання обмотки статора моделювались замиканням витків фази в лобових частинах. Для цього було виконано й виведено кілька розпаювань. Замиканням різної кількості витків моделюється стадія розвитку дефекту, що виникає в обмотці. Такий технічний стан є досить важким для досліджуваної машини, оскільки супроводжується сильним перегріванням обмотки при збільшенні числа замкнених провідників.

Основну увагу було приділено вивченню характеру протікання вібраційних процесів при різних режимах експлуатації, при наявності дефектів, що дало змогу визначити основні закономірності вібраційних процесів АД. Для цього було набрано достатню статистичну базу експериментальних даних по вібраціях, режимах, дефектах, необхідну для виявлення особливостей протікання вібропроцесів і побудови критеріальної функції та розробки критерію граничного накопичення дефектів. Статистичний аналіз проводився на основі даних, отриманих із декількох десятків однотипних експериментів.

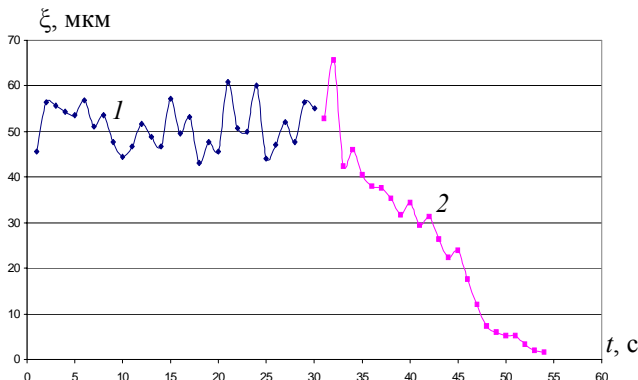


Рис. 1

На рис. 1 представлено загальну картину протікання вібраційних процесів для умовно-бездефектного стану АД у режимах неробочого ходу (при 750 об/хв) і вибігу ротора, де криві 1, 2 – залежності, які побудовано за статистичними даними за часом віброзсувів у режимах неробочого ходу і вибігу ротора.

Дослідження, які проводились як у попередніх, так і у цій роботі, показали, що для економічного діагностування можна ввести такий діагностичний параметр  $D$ , який характеризує наявність дефектів у

статорі, що відповідає значенню критеріальної функції при певному стані АД:

$$D = f(A_{xx}, A_{кр}, A_{нав}). \quad (1)$$

Дослідження поведінки віброхарактеристик асинхронних двигунів дали можливість уточнити його до такого вигляду:

$$D = \frac{A_{xx}}{A_{нав}} \left( \frac{A_{кр} - A_{нав}}{A_{нав}} \right), \quad (2)$$

де  $A_{xx}$  – вертикальна складова амплітуди вібрації в режимі вибігу ротора (мкм, мм/с);  $A_{нав}$  – вертикальна складова амплітуди вібрації при навантаженні або неробочому ході (мкм, мм/с);  $A_{кр}$  – граничне значення амплітуди вібрації, вище якої експлуатація асинхронного двигуна не допускається.

Значення  $A_{кр}$  приймаємо, виходячи з вимог ПТЕ [1] для електродвигунів, які працюють при обертанні: 3000 об/хв – 50 мкм; 1500 об/хв – 100 мкм; 1000 об/хв – 130 мкм; 750 об/хв і менше – 160 мкм.

Для більш достовірної картини було проведено близько 50-ти експериментів як для умовно-бездефектного стану статора АД, так і при моделюванні дефектів. У режимі вибігу ротора вертикальна складова віброзсувів вибиралась у межах 500...400 обертів за 1 хв, що складало 60...70 % від номінального навантаження, коли електромагнітне поле вже не впливало на вібропроцеси в машині. Тоді для задовільного технічного стану статора АД значення параметра  $D$  дорівнювало близько 1 (рис. 1).

При моделюванні дефектів – замиканні різної кількості витків – розглядався ступінь накопичення дефектів, що виникає в обмотці статора АД. Було розглянуто три варіанти – замикання 9, 22, 32 витків, при загальній кількості витків у фазі 702.

На рис. 2–4 зображено графіки залежностей за часом віброзсувів при витковому замиканні обмотки статора. Позначення кривих 1, 2 на всіх рисунках одні й ті самі.

У першому варіанті при замиканні дев'яти витків значення діагностичного параметра  $D$  дорівнювало 0,59 (рис. 2), у другому, при замиканні 22 витків,  $D$  було близько 0,53 (рис. 3), а в третьому, при замиканні 32 витків,  $D$  вже дорівнювало 0,41 (рис. 4). Треба зазначити, що в останньому випадку обмотка нагрівалась до недопустимої температури і такий двигун треба зупиняти.

Отже, для умовно-бездефектного АД значення параметра  $D$  дорівнює в середньому одиниці, а при різній кількості замикання витків у обмотці статора параметр знаходиться в межах  $0,41 \dots 0,59$ . Тобто значення діагностичного параметра  $D$  змінюється залежно від ступеня накопичення дефектів від 41 до 59 %.

За цими дослідженнями для даного двигуна критерій граничного накопичення дефектів статора АД матиме такий вигляд:

$D > 1$  – умовно-бездефектний АД, тобто допускається робота машини без обмежень;  
 $0,59 < D < 1$  – відбувається процес накопичення дефектів, необхідно здійснювати моніторинг та заходи по зниженню вібрацій;  
 $0,59 < D$  – АД близький до відмови, треба негайно зупиняти машину.

Таким чином, результати проведених досліджень показали,

що і для АД можна сформулювати критерій граничного накопичення дефектів статора й знайти його сталі. Особливо такий критерій буде ефективним для потужних двигунів власних потреб електростанцій з шихтованим осердям статора, в якому дефекти проявляються як в обмотці, так і в осерді статора машин.

У цій статті розглянуто накопичення лише одного дефекту АД шляхом збільшення кількості замкнених витків обмотки статора. У подальшому буде досліджено накопичення за розвитком низки дефектів машини.

**Висновки.** При виткових замиканнях обмоток статора асинхронних електродвигунів вібрації на обіймах підшипників ротора зростають, при цьому на вибігу ротора вони більш стрімко знижуються, ніж для випадку умовно-бездефектних машин. Запропонований діагностичний параметр  $D$  більш чутливий до виткових замикань, за значення віброзсувів. Для двигуна, що досліджувався, значення діагностичного параметра  $D$  змінюються залежно від ступеня накопичення дефектів від 41 до 59 %. При цьому вібрації збільшуються всього на 10...15 %. Знайдено значення сталих критерію граничного накопичення дефектів статора для цього АД. Використовуючи введений діагностичний параметр, можна побудувати критерій граничного накопичення дефектів та прогнозувати технічний стан асинхронного двигуна за

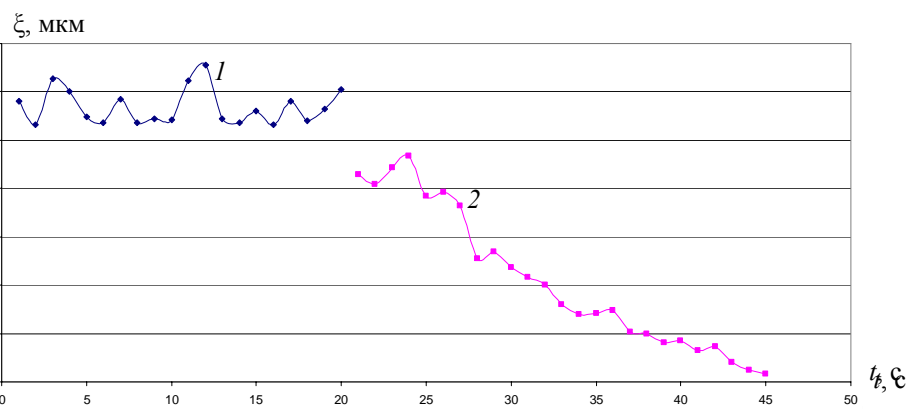


Рис. 2

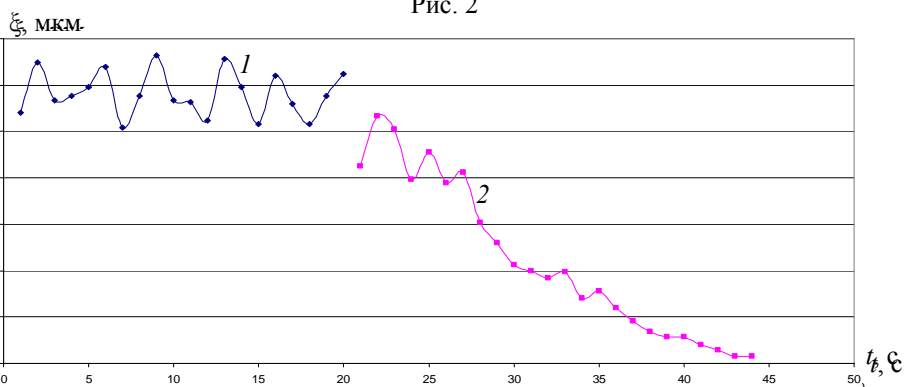


Рис. 3

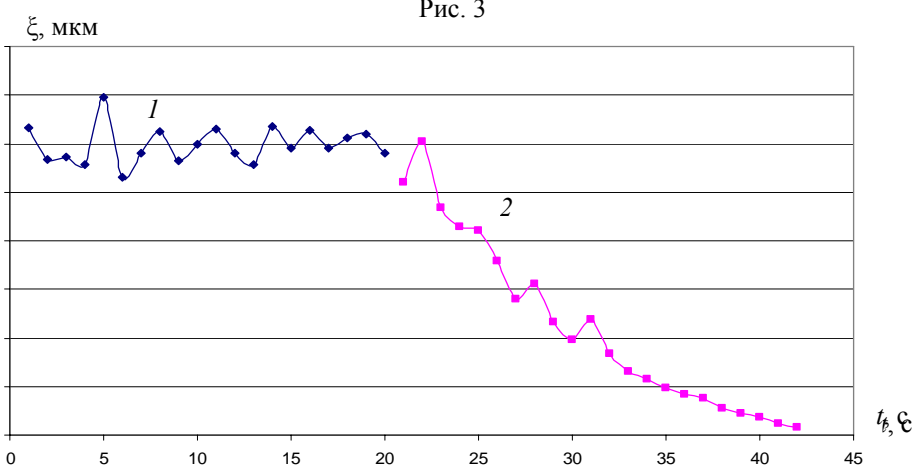


Рис. 4

сукупністю накопичених дефектів і вчасно його зупиняти, не допускаючи суттєвих пошкоджень вузлів машини і аварійних ситуацій.

1. *Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила.* – К.: Объединение энергетических предприятий «Отраслевой резервно-инвестиционный фонд развития энергетики», 2003. – 630 с. – (Нормативный документ Минтопливэнерго Украины).
2. *Тітко В.О.* Статистичні моделі вібраційних процесів для діагностики турбо- і гідрогенераторів // Гідроенергетика України. – 2011. – № 3–4. – С. 43–45.
3. *Тітко А.И., Ахременко В.Л., Тітко В.А.* Оценка состояния статора турбогенератора по показаниям штатных вибродатчиков // Энергетика та електрифікація. – 2011. – № 1 (329). – С. 36–40.
4. *Шульженко Н.Г., Метелев Л.Д., Ефремов Ю.Г., Цыбулько В.И.* Анализ и диагностирование вибрационного состояния мощных турбоагрегатов // Энергетика та електрифікація. – 2006. – № 11. – С. 30–38.
5. *Шумилов Ю.А., Демидюк Б.М., Штогрин А.В.* Вибродиагностика как составляющая мониторинга технического состояния силовых агрегатов // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2008. – Вип. 19. – С. 76–80.
6. *Тітко О.І., Мислович М.В., Ахременко В.Л., Зварич В.М., Остапчук Л.Б., Сисак Р.М., Тітко В.О., Гижко Ю.І.* Створення методів і системи вібродіагностики та визначення залишкового ресурсу вузлів турбогенераторів ТЕС при їх роботі в базових режимах (Проект 5.5.2) // Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»: Зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2010–2012 рр. – К.: Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2012. – С. 262–269.
7. *Пат. 57079 України, МПК Н02К 19/16.* Спосіб безперервного контролю технічного стану статора генератора / О.І. Тітко, В.Л. Ахременко, В.О. Тітко. – №200101675; Заявл. 15.07.2010; Опубл. 10.02.2011. – Бюл. № 3.

УДК 621.313

**В.А. Тітко**, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

#### **Определение технического состояния асинхронных электродвигателей по результатам анализа вибропроцессов**

*Работа связана с идеей применения критерия граничного накопления дефектов в асинхронных электродвигателях, который ранее был введен для характеристики накопления дефектов в статоре турбогенератора. Для экспериментального исследования возможного применения указанного критерия был использован физический стенд на базе асинхронного двухобмоточного электродвигателя. Для выявления особенностей протекания вибропроцессов была набрана достаточная статистическая база экспериментальных данных по вибрациям, режимам, дефектам и проведен анализ для определения технического состояния асинхронных двигателей (АД). Исследования поведения виброхарактеристик асинхронных двигателей позволили построить критерий граничного накопления дефектов в АД, при использовании которого можно прогнозировать техническое состояние асинхронного двигателя по совокупности накопленных дефектов и своевременно его останавливать, не допуская существенных повреждений узлов машины и аварийных ситуаций.* Бібл. 7, рис. 4.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, обмотка статора, вибрационная диагностика, диагностический параметр, критерий граничного накопления дефектов.

**V.O. Titko**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

#### **Definition of asynchronous electric technical condition motors behind results of the analysis of vibrating processes**

*Work is connected to idea of application of criterion of boundary accumulated defects in asynchronous electric motors which has been earlier entered for the characteristic of accumulation of defects in stator of turbogenerators. For an experimental research of possible application of the specified criterion the physical stand has been used on the basis of asynchronous two-winding electric motor. For revealing features of course of vibrating processes the sufficient statistical base of experimental data on vibrations, modes, defects has been typed and the analysis for definition of a technical condition of asynchronous engines carried out. Research of behaviour of vibrating characteristics of asynchronous engines have enabled to construct criterion of boundary accumulation of defects in asynchronous engines which at use will allow to predict a technical condition of the asynchronous engine on set of the accumulated defects and timely to stop it, to prevent essential damages of units of the machine and emergencies.* References 7, figures 4.

**Key words:** asynchronous engine, stator winding, vibrating diagnostics, diagnostic parameter, criterion of boundary accumulation of defects.

Надійшла 7.04.2015

Received 7.04.2015