

УДК 621.316.92:621.313

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СУКУПНОСТІ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЧИННИКІВ НА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТА  
ТЕХНІЧНИЙ СТАН ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З  
АСИНХРОННИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ**

Нестерчук Д.М., к.т.н.<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-1995-9564>Квітка С.О., к.т.н.<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-9234-9274>

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

e-mail: dina.nesterchuk@tsatu.edu.ua

**Анотація** - В статті обґрунтовано, що впровадження надійної й ефективної системи моніторингу та захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи дозволить зменшити кількість та частоту аварійних ситуацій, продовжити термін служби електродвигунів та підвищити їх експлуатаційну надійність. Проаналізовані особливості експлуатації, які впливають на енергоефективність електромеханічної системи з асинхронними електродвигунами.

Наведена узагальнена схема впливу експлуатаційних чинників на технічний та енергетичний стан електромеханічної системи з асинхронними електродвигунами. Технічний та енергетичний стан електромеханічної системи з асинхронними електродвигунами підпадають під дію різноманітних експлуатаційних чинників, а саме, якість напруги живлення, технологічні режими навантаження, умови експлуатації, дефекти технологічного походження, відповідність застосування електродвигуна його виконанню. Відхилення чинників від допустимих значень призводить до погіршення енергетичних показників, технічного і теплового стану та до зменшення ресурсу роботи електродвигуна.

Наведена структурна схема розвитку процесів зношування ізоляції асинхронних електродвигунів в процесі експлуатації від дії режимних чинників та конструктивних параметрів електродвигуна. Детально проаналізований сукупний вплив зниження напруги мережі на швидкість теплового зношення

---

<sup>1</sup> © Нестерчук Д.М.

<sup>2</sup> © Квітка С.О.

**ізоляції асинхронного електродвигуна у функції величини ковзання та коефіцієнту завантаження.**

**Отримані математичні залежності та кількісні результати теоретичних досліджень наочно показали, що в електродвигунах з повним завантаженням за потужністю при зниженні напруги відбувається різке збільшення швидкості теплового зношення ізоляції.**

**Пропонується структурна електрична схема універсального пристрою моніторингу та захисту асинхронних електродвигунів, як складових електромеханічної системи.**

***Ключові слова* – асинхронний електродвигун, технічний та енергетичний стан, ковзання, відхилення, напруга, коефіцієнт завантаження, універсальний пристрій, моніторинг, захист.**

*Постановка проблеми.* Електромеханічна система (ЕМС) призначена для приведення до руху виконавчих органів робочої машини та керування цим рухом для здійснення технологічних процесів на виробництві, тому то підвищення якості та забезпечення надійності складових ЕМС є важливою проблемою сучасності [1].

Низьковольтний асинхронний електродвигун (АД) з короткозамкненим ротором є головною складовою ЕМС, в якому здійснюється перетворення електричної енергії в механічну, однак постійного контролю параметрів в процесі експлуатації потребують всі її складові: «мережа живлення – перетворювач – електродвигун», тому то необхідно постійно контролювати параметри, їх коливання, зміни та взаємовплив. Функціонування АД в процесі експлуатації характеризується надійністю ізоляції обмоток електродвигуна, характеристикою якої є електрична міцність, що під час експлуатації може залишатися незмінною за умови роботи АД при номінальних (каталожних) параметрах. Але в процесі тривалої експлуатації на електродвигуни впливають різноманітні експлуатаційні чинники, що призводять до зростання температури обмоток та, як наслідок, до скорочення строку служби електродвигуна [2...4].

Прогнозування та моніторинг технічних й енергетичних станів ЕМС, аналіз причин їх відмов є актуальними задачами діагностування ЕМС. Експлуатація ЕМС з АД має такі особливості: технічний стан і надійність їх роботи спричиняють критичний вплив на рівень виробничих ризиків; АД використовуються не в номінальних режимах роботи, як наслідок, високий рівень виходу АД з ладу; висока вартість нового устаткування, тривалі терміни пуско-налагоджувальних робіт; завищена встановлена потужність електродвигунів. Ці обставини

призводять до зниження ефективності електромеханічного перетворення енергії та коефіцієнта корисної дії [1, 4].

Основними причинами низької якості функціонування асинхронних електроприводів та виникнення аварій є порушення умов експлуатації, неврахування впливу якості напруги живлення та режиму навантаження, недостатній обсяг інформації про технічний стан, несвоєчасне виявлення і усунення дефектів устаткування, неякісні обслуговування та ремонт.

*Аналіз останніх досліджень.* За результатами аналізу літературних джерел [2, 3, 5, 6] було встановлено, що якісне функціонування ЕМС з асинхронними електродвигунами залежить від впливу сукупності різноманітних чинників, аналіз яких показав доцільність вибору найбільш впливових, з точки зору, досягнення кінцевого якісного результату, а саме, можливості контролю та аналізу ефективності енерговикористання. Технічний та енергетичний стан ЕМС з АД підпадають під дію різноманітних експлуатаційних чинників, які умовно поділяються на чотири групи: конструктивні, виробничі, монтажні та експлуатаційні [2, 5], серед них найбільший вплив мають: якість напруги живлення; технологічні режими навантаження; умови експлуатації; дефекти технологічного походження; відповідність застосування електродвигуна його виконанню.

Відхилення вказаних чинників від допустимих або номінальних значень призводить й до погіршення енергетичних показників, технічного і теплового стану, як наслідок, до зменшення ресурсу роботи.

Проведений аналіз літературних джерел дозволив розробити узагальнену схему впливу експлуатаційних чинників на технічний та енергетичний стан ЕМС з АД [1, 7], яка наведена на рисунку 1. Згідно якої на технічний та енергетичний стан ЕМС впливають показники якості електроенергії [1, 3, 8], відхилення яких від нормованих значень призводить до збільшення втрат в АД та до зміни величини моменту, знакозмінні складові якого є причиною додаткових вібрацій елементів конструкцій електродвигунів, при цьому прискорюється й старіння ізоляції. Як наслідок, зростає аварійність, знижуються такі показники, як коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності та строк служби АД. В умовах дії несиметрії напруг АД не може працювати з номінальним навантаженням на валу через небезпеку аварійної ситуації внаслідок надмірного перегрівання статорної обмотки.

Перевищення припустимої температури призводить до передчасного руйнування ізоляції та до істотного скорочення терміну роботи електродвигуна.



Рис.1. Узагальнена схема впливу експлуатаційних чинників на технічний та енергетичний стан ЕМС з АД

Здійснений аналіз літературних джерел [1...4, 9] дозволив розробити структурну схему розвитку процесів зношування ізоляції АД в процесі експлуатації від дії режимних чинників та конструктивних параметрів електродвигуна, яка наведена на рисунку 2.

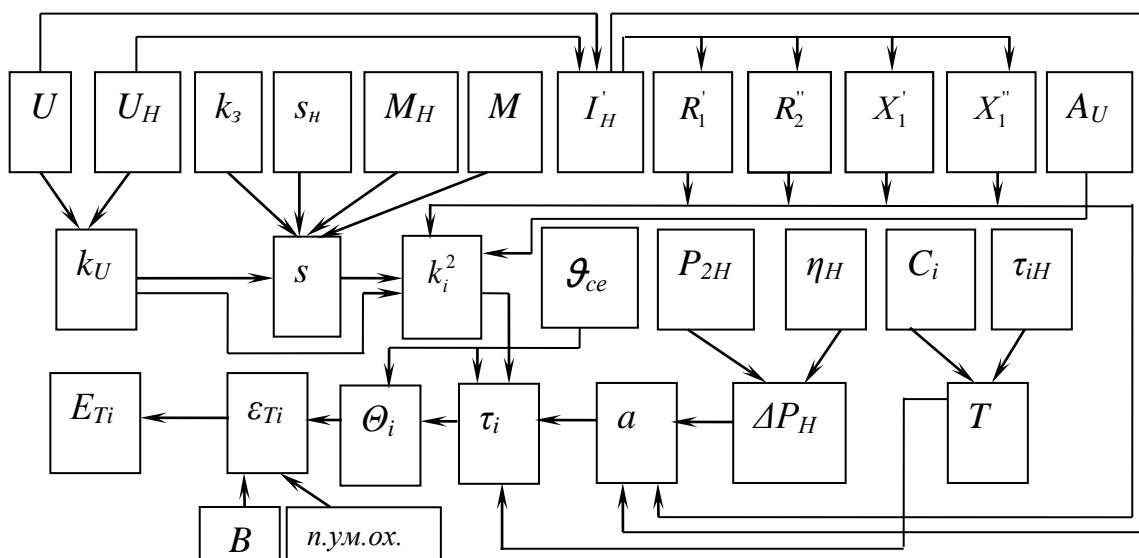
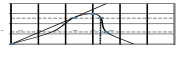


Рис. 2. Структурна схема розвитку процесів зношування ізоляції АД в процесі експлуатації від дії режимних чинників та конструктивних параметрів електродвигуна

На рисунку 2 наведені такі умовні літерні позначення:  $U$  та  $U_H$  - фактична та номінальна напруга на затискачах АД відповідно;  $k_3$  - коефіцієнт завантаження;  $s$  та  $s_H$  - фактичне та номінальне ковзання АД відповідно;  $M$  та  $M_H$  - фактичний та номінальний моменти, що розвиваються АД;  $I_H'$  - номінальний струм кола Г-подібної схеми заміщення АД;  - параметри Г-подібної схеми заміщення АД;  $A_U$  - коефіцієнт, що характеризує асиметрію напруги на затискачах АД;  $k_U$  - кратність напруги по відношенню до номінальної;  $k_i^2$  - квадрат кратності струму, який споживає електродвигун, по відношенню до номінального значення струму;  $\vartheta_{сер}$  - температура навколишнього середовища;  $P_{2H}$  - номінальна активна потужність на валу АД;  $\eta_H$  - номінальний коефіцієнт корисної дії АД;  $C_i$  - теплоємність  $i$ -того тіла АД;  $\tau_{iH}$  - номінальне перевищення температури  $i$ -того тіла АД;  $T$  - еквівалентна постійна часу нагрівання АД;  $\Delta P_H$  - номінальні втрати потужності в АД;  $a$  - коефіцієнт втрат потужності;  $\tau_i$  - фактичне перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища;  $\Theta_i$  - фактична температура обмотки АД;  $B$  - коефіцієнт, що характеризує клас ізоляційної конструкції;  $n.ум.ох.$  - погіршення умов охолодження;  $\varepsilon_{Ti}$  - фактична швидкість теплового зношування ізоляції АД;  $E_{Ti}$  - теплове зношування ізоляції АД.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).*

Метою є дослідження механізму розвитку пошкодження ізоляції обмоток АД під дією сукупності експлуатаційних чинників та обґрунтування структури універсального пристрою моніторингу та захисту трифазних асинхронних електродвигунів.

*Основні матеріали дослідження.*

До режимних чинників належать момент опору на валу АД, величина напруги живлення, її асиметрія та відхилення напруги від номінального значення, а також коефіцієнт завантаження. До конструктивних параметрів АД належать номінальна напруга, номінальний момент, номінальна активна потужність на валу, номінальний коефіцієнт корисної дії, номінальне ковзання [3].

Ковзання асинхронного електродвигуна визначає діюче значення сили струму в обмотці статора, від квадрата кратності струму якого залежить кількість теплоти, що виділяється у цій обмотці при роботі електродвигуна, тому стає доцільним дослідити зміну ковзання АД в залежності від коефіцієнтів завантаження та зниження напруги з урахуванням видів механічної характеристики робочої машини.

Для дослідження впливу відхилення напруги та режиму навантаження зі сторони робочої машини на процес теплового

зношування ізоляції електродвигуна авторами були використані механічна характеристика АД на робочій ділянці при номінальному значенні напруги (характеристика 1.1) та механічна характеристика при зниженні напруги по відношенню до номінального значення напруги (характеристика 1.2), а також механічні характеристики робочої машини відповідно при номінальному (характеристика 1.3) та зниженому навантаженні (характеристика 1.4) – рисунок 3.

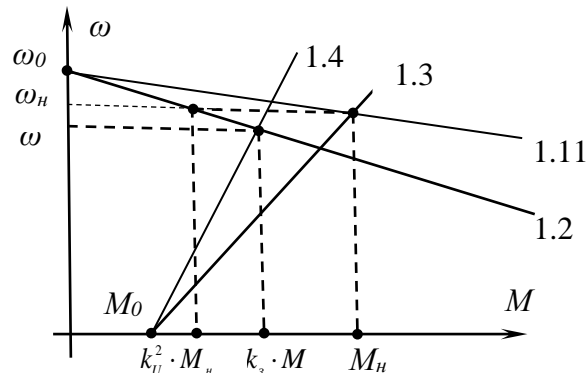


Рис. 3. Механічні характеристики електродвигуна та робочої машини

На рисунку 3 наведені такі позначення:  $\omega_0$ ,  $\omega_n$ ,  $\omega$  – відповідно синхронна, номінальна і поточна кутові швидкості АД;  $M_0$  – початковий момент опору робочої машини;  $M_n$ ,  $M$  – відповідно номінальний та поточний моменти на валу АД;  $k_3$  – коефіцієнт завантаження;  $k_U$  – кратність напруги по відношенню до номінальної.

Використовуючи ознаки подібних трикутників, був отриманий аналітичний вираз, який дозволяє визначати величину моменту, що розвивається електродвигуном при зниженні напруги з урахуванням величини ковзання та завантаження робочої машини

$$M = \frac{s}{s_n} \cdot M_n \cdot \frac{k_U^2}{k_3}. \quad (1)$$

Результатом проведених досліджень та проміжних перетворень з використанням емпіричного виразу моменту опору робочої машини [9] є аналітичні вирази, які описують залежності поточного ковзання  $s$  від кратності напруги по відношенню до номінальної  $k_U$ , відносного моменту рушання робочої машини  $m_0$ , коефіцієнту завантаження  $k_3$ , для різних видів механічних характеристик:

- для незалежної механічної характеристики, при цьому показник ступеня  $x$ , який характеризує зміну статичного моменту робочої машини при зміні швидкості, дорівнює 0

$$s = \frac{k_3}{k_U^2} \cdot s_n; \quad (2)$$

- для механічної характеристики, що лінійно збільшується, при цьому  $x=1$

$$s = \frac{k_3 - m_0 \cdot s_n}{\frac{k_U^2}{s_n} - k_U^2 + k_3 - m_0}. \quad (3)$$

- для параболічної механічної характеристики, при цьому  $x=2$

$$s = \frac{1}{2 \cdot (k_3 - m_0)} \cdot \left( -b^2 \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot (k_3 - m_0) \cdot c} \right), \quad (4)$$

де  $b, c$  – умовні коефіцієнти, які дорівнюють

$$b = -2 \cdot (k_3 - m_0) - \frac{(1 - s_n)^2}{s_n} \cdot k_U^2; \quad (5)$$

$$c = m_0 \cdot (1 - s_n)^2 + (k_3 - m_0). \quad (6)$$

Аналіз аналітичних залежностей дозволив зробити висновок, що при збільшенні напруги будуть зменшуватись ковзання та номінальний струм кола Г-подібної схеми заміщення АД, при цьому будуть збільшуватись струм намагнічування та втрати активної потужності. Зниження напруги на затискачах працюючих АД призводить до збільшення їх ковзання і, як наслідок, до збільшення сил споживаних ними струмів та відповідно до перевантаження за струмом [10]. Останнє, у свою чергу, викликає підвищення вібрації, збільшення електродинамічних зусиль між провідниками обмотки, зниження опору виткової ізоляції, а також перегрівів виткової, корпусної ізоляції та осердя. Наслідком перегрівання ізоляції є її теплове зношення, яке призводить до виникнення спочатку локальних дефектів виткової ізоляції у пазових та лобових частинах. Ці дефекти обумовлюють спочатку незвершені пробої виткової ізоляції, а потім і повні виткові замикання, які, в свою чергу, викликають відмову електродвигунів.

Згідно рисунку 2 та за відомим аналітичним виразом [3, 10] зміна величини поточного ковзання електродвигуна призводить до зміни квадрату кратності струму, який споживає електродвигун, по відношенню до номінального значення струму. Зміна квадрату кратності струму викликає зміну перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища за відомим аналітичним виразом [3, 10]. На перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища впливають й коефіцієнт втрат АД, сама температура навколишнього середовища, еквівалента постійна часу нагрівання електродвигуна, час дії навантаження, температурний коефіцієнт опору матеріалу провідників обмотки, розрахункова температура обмотки та номінальне

перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища.

До зміни перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища призводить зміна умов охолодження. В залежності від різниці температури обмотки і температури навколишнього середовища змінюється температура обмотки, яка викликає зміну швидкості теплового зносу ізоляції, на яку також впливає й клас ізоляційної конструкції АД. В залежності від часу дії навантаження та швидкості теплового зношування ізоляції змінюється і витрата ресурсу ізоляції, яка впливає на сумарне теплове зношування ізоляції [3].

Результати теоретичних досліджень були перевірені на трифазному АД з такими технічними характеристиками: тип АИР100S2У3,  $P_{2H} = 4,0$  кВт,  $\eta_H = 0,842$ ,  $\cos \varphi_H = 0,88$ ,  $s_H = 0,03$ ,  $a = 0,6$ , клас стійкості до нагрівання ізоляції – В. За даними [11] значення параметрів Г-подібної схеми заміщення для обраного електродвигуна дорівнюють  $R_1' = 1,50 \text{ Ом}$ ,  $R_2'' = 1,00 \text{ Ом}$ ,  $X_1' = 1,50 \text{ Ом}$ ,  $X_2'' = 2,80 \text{ Ом}$ . Для проведення розрахунків використовувалась постійні величини:  $\Theta_H = 403 \text{ К}$ ,  $B = 10200 \text{ К}$ ,  $\alpha = 0,004 \text{ 1/}^\circ\text{С}$ ,  $\tau_H = 90 \text{ }^\circ\text{С}$ ,  $\vartheta_{сер} = 40 \text{ }^\circ\text{С}$ .

В таблиці 1 наведені результати теоретичних досліджень, які описують вплив сукупності експлуатаційних чинників на енергетичний та технічний стан АД.

Таблиця 1

## Результати теоретичних досліджень

Коефіцієнт завантаження, $k_z$	Швидкість теплового зношування ізоляції АД, $\varepsilon_{Ti}$ , бгод/год, від кратності напруги $k_U$	
	0,9	0,8
0,6	0,13	0,588
0,7	0,33	2,4
0,8	0,88	11,1
0,9	2,8	63,1
1,0	9,5	421,6

Таким чином, асинхронні електродвигуни є чутливими до відхилення напруги на його затискачах, а у завантажених на повну потужність електродвигунах при зниженні напруги відбувається різке збільшення швидкості теплового зношення ізоляції.

За результатами досліджень авторами обґрунтована структура універсального пристрою моніторингу та захисту трифазного асинхронного електродвигуна та описаний принцип дії.

На рисунку 4 наведена структурна схема запропонованого пристрою. На рисунку 4 наведені такі умовні літерні позначення: 1 –



блок вимірювання та контролю фазних струмів, який містить три первинні перетворювачі струму 1.1, 1.2, 1.3 трансформаторного типу та три блоки перетворення струму 1.4, 1.5, 1.6; 2 - блок вимірювання температури статорної обмотки, який містить термоелектричний первинний перетворювач температури 2.1 та блок обробки сигналу 2.2; 3 - блок контролю неповнофазного режиму; блок вимірювання вологості в корпусі електродвигуна 4 [12], який містить кондуктометричний первинний перетворювач вологості 4.1 та блок обробки сигналу 4.2; 5 - блок контролю ковзання електродвигуна, який містить магнітоелектричний перетворювач Холла 5.1, блок обробки та узгодження 5.2 та блок живлення 5.3; 6 - блок обробки вимірювальної інформації на базі мікроконтролера; 7 – виконавче реле; 8 – дисплей; 9 – блок вводу даних; 10 - блок живлення.

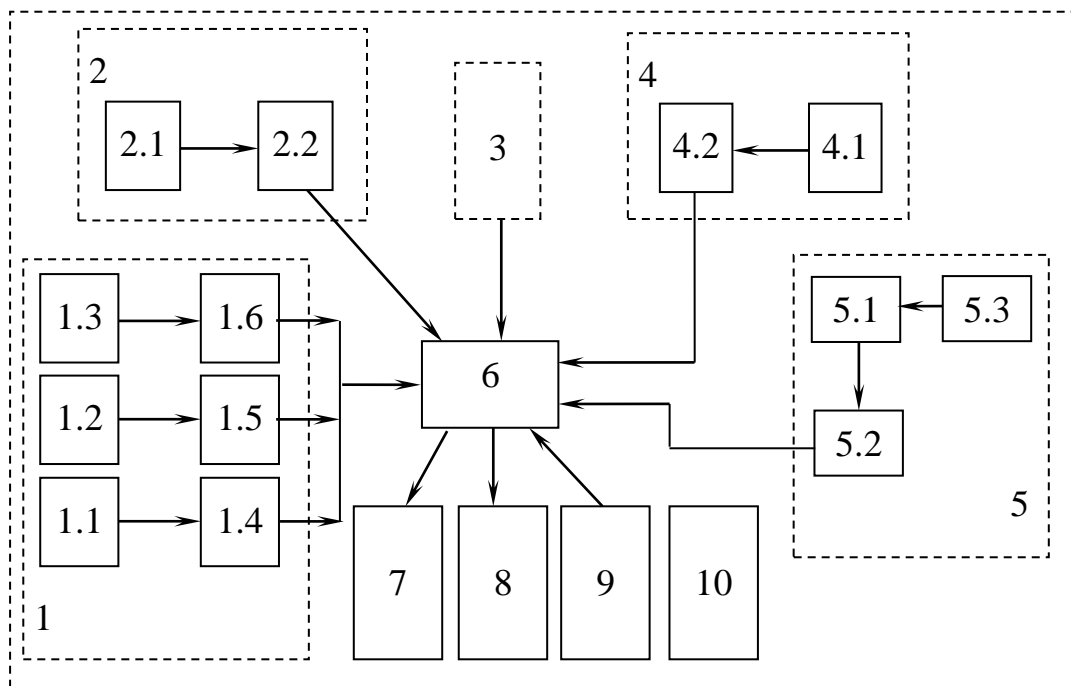


Рис.4. Структурна схема універсального пристрою захисту АД

Універсальний пристрій моніторингу та захисту асинхронних електродвигунів працює таким чином.

Три первинні перетворювачі струму 1.1, 1.2, 1.3 трансформаторного типу блока контролю фазних струмів 1 встановлюються на відповідних фазних проводах, що живлять електродвигун. Вторинні струми таких перетворювачів струму є інформативними електричними сигналами щодо величин фазних струмів електродвигуна. Інформація з кожного перетворювача струму 1.1, 1.2, 1.3 надходить до відповідних блоків перетворення струму 1.4, 1.5, 1.6 блока контролю фазних струмів 1. Сформовані електричні

сигнали подаються до блоку обробки вимірювальної інформації на базі мікроконтролера 6, де за спеціальною програмою здійснюється порівняння сигналів з нормованими уставками за струмом.

Якщо величини фазних струмів перевищують значення уставок за струмом, в мікроконтролері 6 формується електричний сигнал керування, який надходить до виконавчого реле 7 на відключення електродвигуна та на дисплей 8 для надання кількісного значення величин фазних струмів.

Вимірювання та контроль температури статорної обмотки електродвигуна здійснюється блоком вимірювання температури 2. При підвищенні температури статорної обмотки електродвигуна вище, ніж нормована, змінюється величина термоелектрорушійної сили термоелектричного первинного перетворювача 2.1. Сформований електричний сигнал після обробки в блоці 2.2 надходить до блоку обробки вимірювальної інформації на базі мікроконтролера 6, де за спеціальною програмою здійснюється порівняння сигналів з нормованими уставками за температурою.

Якщо величини фазних струмів перевищують значення уставок за струмом, в мікроконтролері 6 формується електричний сигнал керування, який надходить до виконавчого реле 7 на відключення електродвигуна та на дисплей 8 для надання кількісного значення величини температури статорної обмотки електродвигуна, що знаходиться в аварійному стані. Повторний запуск електродвигуна можливий при зниженні температури статорної обмотки нижче, ніж гранично допустима температура на 10...15 °С.

Блоком контролю неповнофазного режиму 3 здійснюється контроль наявності напруги мережі живлення електродвигуна та його захист від неповнофазного режиму роботи.

При відсутності напруги для живлення електродвигуна в мікроконтролері 6 формується електричний сигнал керування, який надходить до виконавчого реле 7 на відключення електродвигуна.

Контроль наявності вологості в корпусі електродвигуна здійснюється блоком вимірювання вологості в корпусі електродвигуна 4. При наявності вологості в корпусі електродвигуна змінюється величина опору кондуктометричного первинного перетворювача вологості 4.1. Електричний сигнал після вимірювання та обробки в блоці 4.2 надходить до блоку обробки вимірювальної інформації на базі мікроконтролера 6 для формування електричного сигналу, який надходить на відповідні порти мікроконтролера 6, де за спеціальною програмою здійснюється формування електричного сигналу керування, який надходить до виконавчого реле 7 на відключення електродвигуна [12].

Застосування блоку контролю ковзання електродвигуна 5 дозволяє вимірювати та контролювати величину ковзання, як параметра моніторингу технічного стану електродвигуна.

Магнітоелектричний перетворювач Холла 5.1 розташовується поблизу ротора електродвигуна, при цьому в блоці обробки та узгодження 5.2 блоку 5 формується вимірювальний сигнал, з якого після підсилення виділяється гармонійна складова сигналу з частотою ковзання та здійснюється перетворення сигналу в прямокутну форму, який надходить до блоку обробки вимірювальної інформації на базі мікроконтролера 6 для формування електричного сигналу, де за спеціальною програмою визначається величина ковзання, формується сигнал щодо кількісного значення ковзання та здійснюється порівняння з номінальним значення ковзання за серією електродвигуна. Магнітоелектричний перетворювач Холла підключений до блока живлення 5.3 блоку контролю ковзання електродвигуна 5.

#### *Висновок.*

Запропонований універсальний пристрій моніторингу та захисту трифазних асинхронних електродвигунів дозволить здійснювати захист від відхилення напруги живлення з корекцією установки спрацювання захисту в залежності від коефіцієнту завантаження, що призведе до підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів в процесі експлуатації та до зменшення витрат на ремонт АД.

#### Література:

1. *Олійник В. Ю., Нестерчук Д. М.* Технічний та енергетичний стан електромеханічної системи з трифазними асинхронними електродвигунами в умовах дії експлуатаційних впливів. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем*: матеріали І Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті В. В. Овчарова (Мелітополь, 20 травня - 04 червня 2020 р), Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С.53-54.

2. *Гольдберг О. Д., Хелемская С. П.* Надежность электрических машин: учебник / под ред. О. Д. Гольдберга. Москва: Академия, 2010. 288 с.

3. *Овчаров В. В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев, 1990. 168 с.

4. *Нестерчук Д.М., Курашкін С.Ф.* Діагностування за струмом, як метод захисту електромеханічної системи з асинхронними електродвигунами / Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: Електрон. наук. фах. вид. Вип.9, т.2. – Мелітополь, 2019. – DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-3.

5. *Закладний О.О.* Захист як одне із завдань системи моніторингу енергетичного стану асинхронного електроприводу / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. 2010. № 4 (63), ч. 2. С. 135-138.

6. *Мамчур Д.Г., Осадчук Ю.Г.* Підходи до визначення стану ізоляції електричних машин / Вісник КДПУ. Вип. 4/2006 (39). ч. 1. С. 122-129.

7. *Кравченко В.М., Сидоров В.А.* Определение технического состояния электромеханических систем [Электронный ресурс] / Сборник научных трудов ДГТУ. 2009. №28. – Режим доступа до журн.:

[http://www.nbuuv.gov.ua/portal/natural/SNTDGТУ/2008\\_28/S46.pdf](http://www.nbuuv.gov.ua/portal/natural/SNTDGТУ/2008_28/S46.pdf).

8. *Оборонов Т.Ю.* Моделі і засоби діагностування енергетичного і технічного стану синхронного електроприводу насосних установок: дис. ... к-та т. наук : 05.09.03 / НТУ України «КПІ імені Ігоря Сікорського» Київ, 2017. 160 с.

9. *Електропривод: підручник / Лавріненко Ю. М. та ін.; за ред. Ю. М. Лавріненка.* Київ, 2009. 504 с.

10. *Вовк О.Ю., Квітка С.О., Дідур В.А.* Вплив відхилення живлячої напруги на ресурс ізоляції асинхронних електродвигунів поточкових технологічних ліній / Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: Електрон. наук. фах. вид. Вип.9, Т.2. – Мелітополь, 2019. – DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-25

11. *Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская.* Москва: Энергоиздат, 1982. 504 с.

12. *Пристрій захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи: пат. 70696 Україна: МПК (2013) H02H7/09. заявл.18.11.2012, опубл. 25.06.2013.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОВОКУПНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ**

Нестерчук Д.Н., Квитка С.А.

**Аннотация – В статье обосновано, что внедрение надежной и эффективной системы мониторинга и защиты асинхронных электродвигателей от аварийных режимов работы позволит уменьшить количество и частоту аварийных ситуаций, увеличить срок службы электродвигателей и повысить их**

эксплуатационную надежность. Проанализированы особенности эксплуатации, которые влияют на энергоэффективность электромеханической системы с асинхронными электродвигателями.

Представлена обобщенная схема влияния эксплуатационных факторов на техническое и энергетическое состояние электромеханической системы с асинхронными электродвигателями. Техническое и энергетическое состояние системы с асинхронными электродвигателями попадают под влияние разнообразных эксплуатационных факторов, а именно, качество напряжения питания, технологические режимы нагрузки, условия эксплуатации, дефекты технологического происхождения, соответствие применения электродвигателя его исполнению. Отклонение факторов от допустимых значений приводит к ухудшению энергетических показателей, технического и теплового состояния, а также до уменьшения ресурса работы электродвигателя.

Представлена структурная схема, которая описывает процесс развития износа изоляции асинхронных электродвигателей в процессе эксплуатации от воздействия режимных факторов и конструктивных параметров электродвигателя. Детально проанализировано совокупное влияние снижения напряжения на скорость теплового износа изоляции асинхронного электродвигателя в функции величины скольжения и коэффициента загрузки.

Полученные математические зависимости и количественные результаты теоретических исследований показали, что в электродвигателях при полной загрузке по активной мощности при снижении напряжения происходит резкое увеличение скорости теплового износа изоляции.

Предлагается структурная схема универсального устройства мониторинга и защиты асинхронных электродвигателей, как составляющих электромеханической системы.

*Ключевые слова* – асинхронный электродвигатель, техническое и энергетическое состояние, скольжение, отклонение, напряжение, коэффициент загрузки, универсальное устройство, мониторинг, защита.

**STUDY OF THE INFLUENCE OF A SET OF OPERATIONAL  
FACTORS ON THE ENERGY AND TECHNICAL STATE  
OF AN ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH  
ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS**

Nesterchuk D. Kvitka S.

*Summary* - The article substantiates that the introduction of a reliable and effective system for monitoring and protection of induction motors from emergency modes will reduce the number and frequency of emergencies, extend the service life of electric motors and increase their operational reliability. Features of operation which influence energy efficiency of electromechanical system with asynchronous electric motors are analyzed.

The generalized scheme of influence of operational factors on a technical and power condition of electromechanical system with asynchronous electric motors is resulted. The technical and energy condition of the electromechanical system with asynchronous electric motors are subject to various operational factors, namely, the quality of supply voltage, technological load modes, operating conditions, defects of technological origin, compliance of the motor with its performance. Deviation of factors from admissible values leads to deterioration of power indicators, a technical and thermal condition and to reduction of a service life of the electric motor.

The structural scheme of development of processes of wear of isolation of induction motors in the course of operation from action of mode factors and constructive parameters of the electric motor is resulted. The cumulative effect of the reduction of the mains voltage on the rate of thermal wear of the insulation of an induction motor as a function of the slip value and the load factor is analyzed in detail.

The obtained mathematical dependences and quantitative results of theoretical researches have clearly shown that in electric motors with full load on power at voltage decrease there is a sharp increase in speed of thermal wear of isolation.

The structural electric scheme of the universal device of monitoring and protection of asynchronous electric motors as components of electromechanical system is offered.

*Keywords* - asynchronous electric motor, technical and energy condition, slip, deflection, voltage, load factor, universal device, monitoring, protection.