

НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*На правах рукопису*

ТАРАСЕНКО Ростислав Олександрович *Рост*

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ  
АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ  
РЕМОНТІ ЇХ В УМОВАХ РЕМОНТНО-  
ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

- 05.20.02 - застосування електротехнологій у  
сільськогосподарському виробництві  
05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

КИЇВ - 1997



00752486 (W)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному аграрному університеті.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Мішин Володимир Іванович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший  
науковий співробітник  
Кисленко Валентин Іванович

кандидат технічних наук,  
в. о. професора  
Марченко Олександр Савович

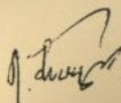
Провідне підприємство: Інститут механізації та електрифі-  
кації сільського господарства УААН

Захист відбудеться "20" травня 1997 р. о 14 годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.05.05. у  
Національному аграрному університеті за адресою: 252041,  
Київ - 41, вул. Героїв Оборони, 15, учбовий корпус 3,  
аудиторія 65.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Націо-  
нального аграрного університету (НАУ).

Автореферат розісланий "18" квітня 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради

 Л.П.Тищенко

## Загальна характеристика роботи

### Актуальність теми:

Відомі переваги асинхронних двигунів визначили їх широке використання в народному господарстві. У сільському господарстві вони є найпоширенішим видом перетворювачів електричної енергії в механічну і становлять більше 90% всіх електроприводів. Проте, такі недоліки як великий пусковий струм та струм холостого ходу, відносно низький коефіцієнт потужності та інші обмежують їх використання. За рахунок специфічних умов експлуатації та оточуючого середовища сільськогосподарського виробництва надійність асинхронних двигунів залишається значно нижчою нормованих показників.

Основним видом відмов асинхронних двигунів є згорання обмотки якоря. Так, щорічно у сільському господарстві до 25% існуючого парку електродвигунів підлягають капітальному ремонту, який в основному виконується на ремонтно-транспортних підприємствах. В умовах недостатньої кількості міді в Україні це є серйозною проблемою при відновленні двигунів. Крім того, недосконалість технології ремонту (використання невідповідних ізоляційних матеріалів, виконання одношарової обмотки замість базової двошарової та ін.) також знижують ефективність та надійність відремонтованих двигунів.

У зв'язку з вищесказаним представляється актуальним розробка методу, який би дозволив підвищити ефективність та надійність асинхронних електродвигунів після капітального ремонту обмотки статора. Практична реалізація цього методу, який базується на удосконаленні схеми обмотки статора, дозволить знизити споживання електроенергії асинхронними двигунами, покращити умови їх пуску, продовжити строк їх роботи, покращити ряд експлуатаційних показників.

Важливим при цьому також є те, що застосування такого методу можливе при мінімальних змінах існуючої технології ремонту двигунів, крім того, дозволить значно підвищити технологічність ремонту електродвигунів з окремими типами обмоток.

### Мета роботи:

Розробка методу підвищення надійності та ефективності асинхронного електродвигуна при капітальному ремонті його обмотки статора за рахунок удосконалення схеми обмотки.

І. М. В. Стефанія  
ІН Україна

**Основні завдання.** Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати вплив особливостей сільськогосподарського виробництва на причини виходу з ладу електродвигунів.

2. Визначити та дослідити фактори, які впливають на надійність та ефективність асинхронних електродвигунів.

3. Провести аналіз можливих шляхів підвищення надійності та ефективності асинхронних електродвигунів і використати їх для удосконалення серійного двигуна при його ремонті.

4. Запропонувати технічне рішення для підвищення техніко-економічних показників асинхронного двигуна та його надійності.

5. Створити математичну модель, яка б описувала статичні та динамічні режими електродвигуна при застосуванні якогось технічного удосконалення.

6. На основі математичної моделі оптимізувати структуру та параметри асинхронного двигуна із застосуванням удосконалення.

7. Провести приведення існуючої технології ремонту асинхронних електродвигунів до умов ремонту удосконалених електродвигунів.

**Методи досліджень.** Дослідження проводились:

- аналітичними методами з використанням теорії узагальненого електромеханічного перетворювача енергії;

- методами математичного моделювання і шляхом числового рішення на ПОЕМ диференціальних рівнянь асинхронного двигуна, отриманих на основі узагальненої теорії електромагнітного перетворювача енергії;

- методами фізичного моделювання на експериментальних зразках.

**Наукова новизна.** На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримані наступні основні результати:

1. Проведено комплексне дослідження впливу числа фазних зон обмотки статора асинхронного двигуна на якісну спектральну картину електромагнітного поля та її зв'язок з техніко-економічними показниками двигуна;

2. Виявлено характер зміни параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна з 12-зонною обмоткою та їх вплив на основні енергетичні показники;

3. Розроблена математична модель асинхронного двигуна з двома напівобмотками на статорі, струми яких зміщені в просторі та часі на певний кут, для розрахунку перехідних та усталених електромагнітних процесів;

4. Виявлено характер зміни величини струму статора та ротора двигуна в залежності від кута зміщення струмів напівобмоток в просторі та часі;

5. Проведена оцінка надійності асинхронного двигуна з 12-зонною обмоткою на основі аналізу сил динамічної взаємодії в лобовій частині обмотки;

6. Представлені принципи електричних схем 12-зонних обмоток, схеми їх заміщення, діаграми розподілення МРС в повітряному зазорі.

7. Новизна технічного рішення підтверджена патентом 14530 А України "Спосіб підвищення ефективності електродвигуна змінного струму".

#### **Практична цінність:**

Заміна в асинхронних двигунах під час ремонту їх обмоток з 6-зонної на 12-зонну дозволить підвищити строк служби та техніко-економічні показники відремонтованих електродвигунів.

Розроблена математична модель двигуна з 12-зонною обмоткою може бути використана для проектних розрахунків його.

Розроблені принципові електричні схеми 12-зонних обмоток для двигунів з різним числом пар полюсів.

Запропоновані зміни й доповнення до існуючої технології ремонту, які дають змогу виконувати ремонт асинхронних двигунів із застосуванням 12-зонної обмотки.

**Практична реалізація:** Розроблений в дисертаційній роботі спосіб підвищення надійності та ефективності асинхронних двигунів при ремонті їх використовується в науково-дослідній роботі по замовленню Міністерства сільського господарства і продовольства України в рамках програми "Національна програма виробництва технічних комплексів, машин і устаткування для сільського господарства, харчової та переробної промисловості", тема N 3.66/542 "Підвищення надійності та ефективності асинхронних електродвигунів при ремонті їх в умовах РТП". Дослідна партія модернізованих електродвигунів знаходиться в експлуатації у господарствах республіки.

**На захист вносяться:**

- спосіб підвищення надійності та ефективності асинхронних електродвигунів при застосуванні в них 12-зонної обмотки;
- обґрунтування зміни параметрів схем заміщення двигуна з 12-зонною обмоткою;
- математична модель асинхронного двигуна з двома обмотками на статорі;
- метод оцінки надійності двигуна на основі величини сил динамічної взаємодії в лобовій частині обмотки;
- рекомендації до зміни технології ремонту асинхронних електродвигунів при застосуванні в них 12-зонних обмоток.

**Апробація роботи:** Основні положення дисертаційної роботи доповідались на науково-технічній конференції з міжнародною участю до 100-річчя від дня народження Тихона Губенка, Львів, 1996 ; на раді виробників, розробників та споживачів заглибних електронасосів країн СНД, Бердянськ, 1993 ; на наукових конференціях УДАУ, Київ, 1993 ; НАУ, Київ, 1994 - 97.

**Публікації:** Матеріали, які відображають основний зміст дисертації, опубліковані в 6 печатних роботах, захищені одним патентом України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація викладена на 172 сторінках машинописного тексту, складається із вступу, 6 розділів, загальних висновків. Дисертація ілюстрована 41 рисунком та 7 таблицями. Наводяться список використаної літератури, що містить 91 найменування, та 1 додаток.

**Зміст роботи**

**У вступі** відображена актуальність теми, визначена мета та основні завдання досліджень, наведена наукова новизна і практична цінність одержаних результатів.

**У першому розділі** дисертаційної роботи проведений системний аналіз причин та факторів, які визначають надійність та ефективність роботи асинхронних електродвигунів у сільському госпо-

дарстві. Показано, що на довговічність роботи асинхронних двигунів впливають як зовнішні фактори оточуючого середовища (підвищена вологість, загазованість, перепад температур) так і режими експлуатації та живлення (неповнофазні режими, відхилення напруги та частоти), які у поєднанні з основними недоліками асинхронних двигунів призводять до невідповідності фактичних та нормованих показників їх надійності.

Відзначено, що основним видом відмов асинхронних двигунів, до 90%, є вихід з ладу обмотки статора. При цьому щорічний аварійний вихід з ладу двигунів у господарствах становить до 25% існуючого парку. В результаті цього значну частину парку складають двигуни, які неодноразово проходили капітальний ремонт обмотки статора, що, через недосконалість технології ремонту, негативно впливає на післяремонтний ресурс роботи двигунів та їх ефективність. Ця обставина викликає необхідність розробки удосконалення технології ремонту та певних заходів по підвищенню ефективності і надійності відремонтованих двигунів.

Однією з найбільш суттєвих причин виходу з ладу обмотки статора є великий пусковий струм. В результаті цього виникають значні динамічні зусилля в лобових частинах обмотки, які є в квадратичній залежності від величини струму. В процесі експлуатації електродвигунів це призводить до пошкодження і пробоя ізоляції.

Проведений аналіз основних недоліків асинхронного двигуна з метою визначення причин їх виникнення, а відповідно, і можливостей впливу на них. Встановлено, що найбільш суттєвою причиною більшості недоліків асинхронного двигуна є несинусоїдальність форми просторової кривої магнітного поля через наявність вищих гармонік.

Прийнятий в практиці спосіб боротьби з вищими просторовими гармоніками, шляхом розподілення обмотки та вкорочення її кроку, створює негативний вплив на ефективність електродвигуна. А саме, збільшує його струм холостого ходу, знижує коефіцієнт потужності, збільшує пусковий струм, що збільшує термічну та динамічну його дію на обмотку і сприяє її руйнуванню. Метод компенсації цих гармонік, який не впливає на зниження ефективності двигуна, може бути основою і для підвищення його надійності.

**Другий розділ** присвячений проблемі дослідження можливості

підвищення ефективності асинхронного двигуна за рахунок збільшення числа фазних зон обмотки.

Магнітне поле машини в повітряному зазорі пульсує з частотою в просторі та амплітудою МРС в функції числа фаз  $m$ . Тобто, із збільшенням числа фаз мережі та обмотки зменшуються пульсації МРС, а форму кривої поля в повітряному зазорі можна наблизити до синусоїди.

З цієї метою проведена порівняльна характеристика 6 та 12-зонної обмоток статора, які виконані на базі одного й того ж двигуна. При цьому, у першому випадку при виконанні звичайної 6-зонної обмотки фази розглядаються як дві півфази, з'єднані послідовно (рис. 1), а в другому випадку прийняті дві самостійні зірки, струми однойменних фаз яких зміщені в просторі і часі на  $90^\circ$ . Виявлено, що при однакових струмах в напівобмотках МРС

$$F_m' = \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{IW}{\rho} k_{o1}, \quad (1)$$

12-зонної обмотки більше МРС

$$F_m = \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{IW}{\rho} k_{o1}, \quad (2)$$

6-зонної, за рахунок різних коефіцієнтів розподілення, так як в 12-зонній обмотці число пазів  $q$  на полюс і фазу вдвічі менше ніж у 6-зонній. Враховуючи те, що ЕРС обмотки також пропорційна коефіцієнту розподілення, збільшення його дасть можливість створити задану ЕРС меншим потоком, тобто дещо зменшити ступінь насичення магнітопроводу. Тому, співвідношення між струмами холостого ходу двох обмоток матимуть вигляд:

$$I' = I \frac{k_N'}{k_N} \cos^2 \frac{q\alpha}{4}, \quad (3)$$

де  $k_N, k_N'$  - відповідно коефіцієнти насичення магнітопроводів з 6 та 12-зонною обмотками;

$\alpha$  - кут зсуву пазових ЕРС;

Це означає, що тільки за рахунок збільшення коефіцієнту розподілення 12-зонної обмотки та зменшення ступеня насичення магнітопроводу, намагнічуючий струм двигуна з 12-зонною обмоткою  $I'$  складає 0,75 - 0,8 від намагнічуючого струму 6-зонної обмотки  $I$ .

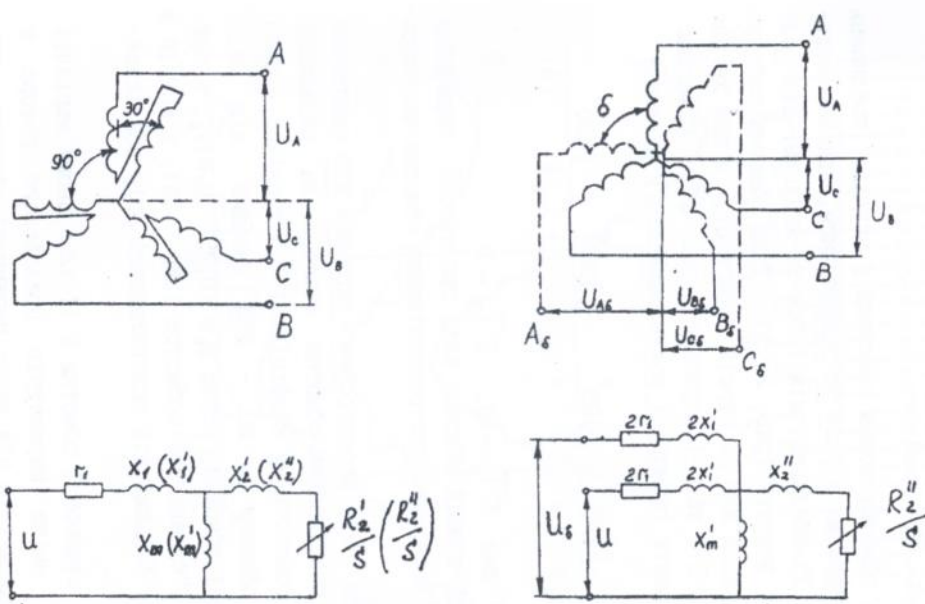


Рис. 1 Електричні схеми та схеми заміщень:  
 а/ двигуна з 6-зонною обмоткою (з 12-зонною при послідовному з'єднанні Y та Δ)  
 б/ двигуна з 12-зонною обмоткою при паралельному з'єднанні Y та Δ

Даний ефект пояснений і з позиції параметрів схем заміщення двигунів (рис.1). Встановлено, що відношення головних індуктивних опорів двох обмоток дорівнює:

$$\frac{X_m}{X'_m} = \frac{K_N'}{K_N} \cos^2 \frac{\varphi\alpha}{4}, \quad (4)$$

Реально 12-зонну обмотку можна виконати у вигляді поєднання двох напівобмоток, з'єднаних зіркою та трикутником, при паралельному або послідовному їх з'єднанні між собою та живленні від одного джерела трифазної напруги (рис. 2г,д). Така обмотка забезпечує просторове співпадання МРС по першій гармоніці, в той же час повністю компенсує МРС 5-ї та 7-ї гармонік (рис. 2б). Сумарний струм (МРС) по просторовій гармоніці можна записати у вигляді:

$$\vec{\Sigma i_{\nu}} = i_A + i_B e^{j\sqrt{120^\circ}} + i_C e^{-j\sqrt{120^\circ}} + i_{A_5} e^{j\sqrt{90^\circ}} + i_{B_5} e^{-j\sqrt{150^\circ}} + i_{C_5} e^{-j\sqrt{30^\circ}} \quad (5)$$

що при  $\sqrt{5}$  та  $\sqrt{7}$  дає  $\vec{\Sigma i_5} = 0$ ,  $\vec{\Sigma i_7} = 0$

Таким чином, в 12-зонній обмотці вищі просторові гармоніки МРС  $\sqrt{2m+1}$  відсутні незалежно від розподілення обмотки та вкорочення кроку.

Виключення 5-ї та 7-ї просторових гармонік МРС практично виключає диференційне розсіювання обмотки статора та паразитні моменти при високому обмоточному коефіцієнті. Відповідно, опір розсіювання 12-зонної обмотки на 20 - 25% менший, ніж опір розсіювання розподіленої обмотки, тобто  $x'_4 = (0,75 - 0,8)x_4$ , а при паралельному варіанті з'єднань напівобмоток (рис. 1б), в кожній з напівобмоток він вдвічі більший ніж еквівалентний опір розсіювання  $x'_4$ .

Зміна параметрів статорної обмотки в її 12-зонному варіанті призводить і до деякої зміни параметрів приведенного ротора у відповідності з їх залежністю від даних первинної обмотки, які без врахування зміни диференційного розсіювання будуть дорівнювати:

$$R_2'' = \frac{R_2'}{\cos^2 \frac{\varphi\alpha}{4}}, \quad x_2'' = \frac{X_2'}{\cos^2 \frac{\varphi\alpha}{4}}, \quad (6)$$

Таким чином, при переході від 6-зонної розподіленої обмотки до 12-зонної параметри схеми заміщення (рис. 1а) зміняться так:

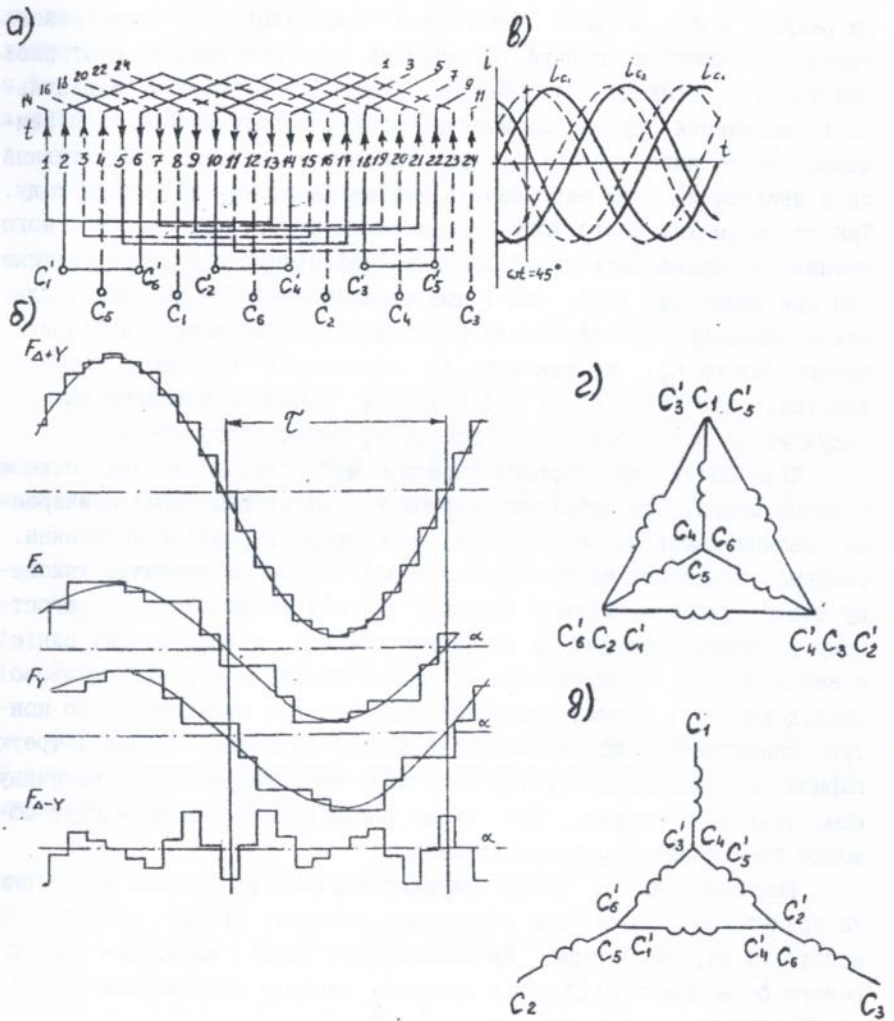


Рис. 2 а/ Розгорнута схема 12-зонної обмотки  
 б/ Діаграми МРС  
 в/ Діаграми струмів в обмотках  
 г/ Паралельна схема з'єднань Y та  $\Delta$   
 д/ Послідовна схема з'єднань Y та  $\Delta$

за рахунок майже повного виключення диференційного розсіювання значно зменшиться повний індуктивний опір розсіювання статорної обмотки  $x$ , активний опір обмотки залишиться незмінним. В результаті зменшення ступеня насичення магнітопроводу машини та підвищення обмоточного коефіцієнту обмотки зростає головний індуктивний опір двигуна  $x_m^I$ , що забезпечить зменшення струму холостого ходу. Так як струм холостого ходу є реактивним намагнічуючим, то його зменшення призводить до збільшення коефіцієнту потужності машини як при холостому ході, так і при навантаженні. За рахунок збільшення обмоточного коефіцієнту також зростає і активний опір приведенного ротора  $R_2''$ , що призведе до збільшення пускового моменту двигуна, але при цьому збільшиться і робоче ковзання машини. Індуктивний опір приведенного ротора  $x_2''$  також збільшиться.

Крім вищих просторових гармонік МРС, які обумовлені схемою обмотки якоря, та зубцьових гармонік в магнітному полі асинхронної машини мають місце так звані просторові гармоніки насичення. Зокрема, наявність третьої просторової гармоніки визначає уплощену форму хвилі магнітної індукції в повітряному зазорі і загострену у спинці статора. В 12-зонній обмотці, при з'єднанні однієї з напівобмоток трикутником, у його фазах діють ЕРС нульової послідовності і струми потроєної частоти, які замикаються по контуру трикутника, що виключає з кривої магнітної індукції третю гармоніку, зменшуючи ступінь насичення магнітопроводу та величину намагнічуючого струму. При цьому форма кривої фазних напруг обмотки стає практично синусоїдальною.

Виявлено, що з шести можливих варіантів з'єднань фаз зірки та трикутника тільки один забезпечує найменші струми статора та найбільші струми ротора. Це можливо при умові, коли сума просторового  $\delta$  та часового  $\Theta$  кутів зміщення струмів однойменних фаз зірки та трикутника дорівнює нулю ( $\delta + \Theta = 0$ ).

При зміні фази однієї з напівобмоток на  $180^\circ$  в кривій МРС виключається 1 гармоніка, але сумуються 5 і 7 (рис. 26). Це дає можливість отримати швидкість в 5 та 7 разів меншою.

**У третьому розділі** проведений аналіз фізичних процесів та якісної картини електромагнітного перетворення енергії в асинхронному двигуні з двома обмотками на статорі за допомогою математичної моделі. Для цього була розроблена модель, рівняння електричної рівноваги для якої записані у реальних фазових координатах

для заторможеного двигуна. Досліджуваному двигуну, на відміну від класичного, відповідають 6 рівнянь електричної рівноваги статора за рахунок наявності двох обмоток, струми яких зміщені в просторі на кут  $\delta$ , а в часі на кут  $\Theta$  (рис. 16):

$$\begin{aligned} u_A &= i_A R_1 + \frac{d\psi_A}{dt}, & u_{A\delta} &= i_{A\delta} R_1 + \frac{d\psi_{A\delta}}{dt}, & 0 &= i_a R_2 + \frac{d\psi_a}{dt}, \\ u_B &= i_B R_1 + \frac{d\psi_B}{dt}, & u_{B\delta} &= i_{B\delta} R_1 + \frac{d\psi_{B\delta}}{dt}, & 0 &= i_\beta R_2 + \frac{d\psi_\beta}{dt}, & (7) \\ u_C &= i_C R_1 + \frac{d\psi_C}{dt}, & u_{C\delta} &= i_{C\delta} R_1 + \frac{d\psi_{C\delta}}{dt}, & 0 &= i_c R_2 + \frac{d\psi_c}{dt}. \end{aligned}$$

В кінцевому результаті розробки математичної моделі отримано систему рівнянь для розрахунку статичних та динамічних режимів двигуна з 12-зонною обмоткою. В симетричному усталеному режимі розрахунок можна вести на одну фазу по системі, яка має вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{I}_A (R_1 + jx_1) + jx_m (\dot{I}_A + \dot{I}'_{A\delta} + \dot{I}'_a), \\ \dot{U}_{A\delta} &= \dot{I}'_{A\delta} (R_1 + jx_1) + jx_m (\dot{I}_A + \dot{I}'_{A\delta} + \dot{I}'_a), & (8) \\ 0 &= \dot{I}'_a \left( \frac{R_2}{S} + jx_2 \right) + jx_m (\dot{I}_A + \dot{I}'_{A\delta} + \dot{I}'_a). \end{aligned}$$

Для побудови динамічних механічних характеристик двигуна з 12-зонною обмоткою отримано вираз електромагнітного моменту, який виражений через струми:

$$\begin{aligned} M_e &= - \frac{PM}{\sqrt{3}} [(i_A + i'_{A\delta})(i'_\beta - i'_c) + (i_B + i'_{B\delta})(i'_c - i'_a) + \\ &+ (i_C + i'_{C\delta})(i'_a - i'_\beta)] = \frac{PM}{\sqrt{3}} [i'_a (i_B + i'_{B\delta} - i_C - i'_{C\delta}) + & (9) \\ &+ i'_\beta (i_C + i'_{C\delta} - i_A - i'_{A\delta}) + i'_c (i_A + i'_{A\delta} - i_B - i'_{B\delta})] \end{aligned}$$

На основі розрахунку системи (8) в режимі короткого замикання визначені струми в широкому діапазоні зміни кутів  $\delta$  і  $\Theta$ .

Як витікає із розрахунку і показано на рис. 3 мінімум пускових струмів статора та максимум струму ротора (а відповідно і пускового моменту) забезпечується при зсуві двох трифазних обмоток статора на кут  $\delta$  та живленні їх напругою зміщеною по фазі на кут  $\Theta$ , якщо  $\delta + \Theta = 0$ , тобто  $\delta = -\Theta$ .

Для 12-зонної обмотки ці кути дорівнюють  $90^\circ$ . На основі

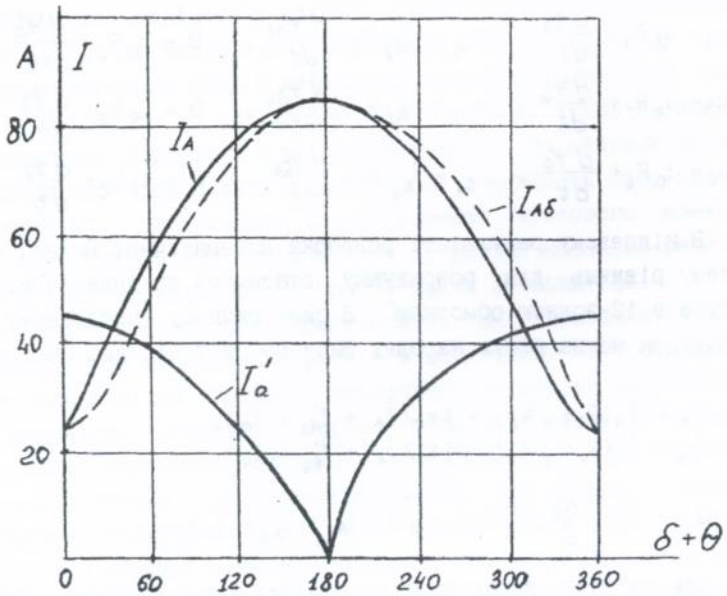


Рис. 3 Струми короткого замикання обмоток статора та ротора в залежності від кута зміщення статорних напівобмоток та фази прикладеної напруги

рівнянь (8) обґрунтована схема заміщення двигуна (рис. 16) при двох самостійних зірках, або паралельному з'єднанні зірки та трикутника (рис. 2г). При послідовному з'єднанні зірки та трикутника схема заміщення приймає вигляд (рис. 1а), як для звичайного трифазного асинхронного двигуна, але з іншими параметрами.

**У четвертому розділі** розглядалися питання присвячені підвищенню надійності двигуна з 12-зонною обмоткою. Проаналізувавши ряд факторів, які впливають на надійність, за кінцевий показник виходу електродвигунів в ладу при застарівшій ізоляції взято величину сили динамічної взаємодії в лобовій частині обмотки. Приведена методика розрахунку величини даної сили, на основі якої проведений порівняльний розрахунок величини сили динамічної взаємодії між провідниками в лобовій частині 6 та 12-зонної обмотки. На величину даної сили впливають такі фактори, як величина струму в провідниках, відстань між ними, а також фаза струму в сусідніх провідниках. Максимальна сила відповідає ударному струму короткого замикання, що й приймається за розрахункову. На основі розрахунку струмів короткого замикання в перехідному та усталеному режимі проведений аналіз сил для обмоток з повним кроком та врозвалку. Виявлено, що обмотки врозвалку, незалежно від кількості фазних зон, забезпечують меншу силу взаємодії між провідниками в лобовій частині. В 12-зонній обмотці, крім цього, взаємодія відбувається між провідниками різних фаз, або з мінімальною кількістю провідників одної фази. Ця обставина виключає, або максимально зменшує вірогідність взаємодії двох провідників в яких протікає ударний струм. В результаті цього, величина сили динамічної взаємодії між провідниками в лобовій частині 12-зонної обмотки значно менше ніж у 6-зонної обмотки (рис. 4). В загальному, для різних типів обмоток ця сила менша від 1,5 до 10 разів. На основі цього можна зробити висновок; що надійність асинхронного двигуна з 12-зонною обмоткою в 1,5 - 2 рази вища у порівнянні з 6-зонною.

**П'ятий розділ** присвячений експериментальному дослідженню асинхронних електродвигунів з 12-зонною обмоткою. Для повного дослідження було взято 3 двигуни типу АИР71В2, в яких була застосована 12-зонна обмотка. Досліджувались послідовне та паралельне з'єднання зірки та трикутника. За комплекс оціночних по-

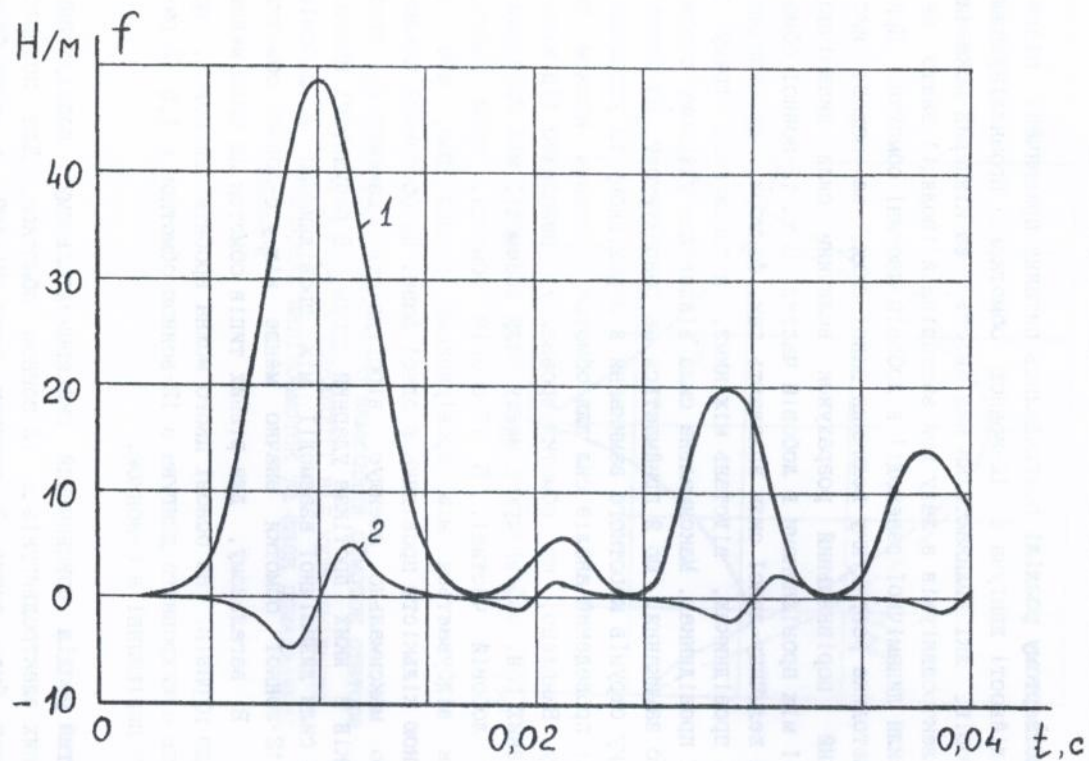


Рис. 4 Графіки сил динамічної взаємодії в лобовій частині 6-зонної (1) та 12-зонної (2) обмоток врозвалку

козників було взято основні енергетичні і експлуатаційні показники (величина струму холостого ходу та короткого замикання, коєрисна потужність на валу, величина пускового та номінального моменту, к.к.д.,  $\cos\varphi$ , рівень шуму і вібрації та ін.).

Попередні дослідження двигунів проводилися на стенді в лабораторії НАУ, основні - в сертифікаційній випробувальній лабораторії полтавського заводу "Електромотор".

Проведені дослідження підтвердили теоретичні розрахунки по підвищенню ефективності асинхронних електродвигунів при застосуванні 12-зонної обмотки. В таблиці 1 приведена порівняльна характеристика основних показників базового серійного та досліджуваних двигунів. В двигунах N1 та N2 застосовувалося послідовне з'єднання зірки та трикутника з різним кроком обмотки, в двигуні N3 - паралельне. На основі отриманих робочих характеристик та характеристик холостого ходу і короткого замикання можна зробити висновок, що у двигунах з 12-зонною обмоткою на 20-25% знижуються струм короткого замикання та холостого ходу, на 5-10% підвищується  $\cos\varphi$ ,  $\eta$  залишається на рівні базового, в 1,5-2 рази зменшується рівень вібрації за рахунок магнітних складових, які викликані вищими гармоніками.

Питання про вибір послідовної чи паралельної схеми з'єднання напівобмоток повинен вирішуватися при тісному прив'язуванні до умов виготовлення та експлуатації двигунів.

Крім того, проведено ремонт групи двигунів потужністю до 10 кВт на Гребінківському ДРТП Київської області, після ремонтні випробування яких також підтвердили зменшення струму холостого ходу та пускового на 15-20 % у порівнянні з базовими.

**У востому розділі** розглянуті особливості ремонту асинхронних електродвигунів під час якого проводиться заміна в них 6-зонної обмотки на 12-зонну. Внесені зміни та доповнення до існуючої технології ремонту електродвигунів. Запропонована технологія ремонту максимально наближена до існуючої.

Викладені технологічні принципи та умови виконання 12-зонної обмотки. Особливістю даної обмотки є те, що вона виконується у вигляді поєднання на статорі двигуна двох напівобмоток, одна з яких з'єднана зіркою, інша - трикутником. В залежності від способу з'єднання між собою цих напівобмоток, визначається співвідношення між кількістю витків та перерізом провідників у котушках.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця основних енергетичних показників базового та досліджуваних електродвигунів

Досліджувані двигуни	Основні показники										
	$P_n,$ Вт	$I_n,$ А	$P_o,$ Вт	$I_o,$ А	$P_k,$ Вт	$I_k,$ А	$\cos \varphi_n$	$\eta$ %	$M_n,$ Нм	$\frac{M_n}{M_H}$	Рівень вібрац., мм/с
Базовий	1100	2,65	132	1,63	8080	14,9	0,812	77,7	3,70	2.02	1,0
N 1	1100	2,50	108	1,23	7040	13,2	0,864	77,2	3,74	2.12	0,65
N 2	1100	2,62	160	1,63	7360	13,4	0,824	77,3	3,73	2.11	0,60
N 3	1100	2,43	132	1,36	7520	13,2	0,890	77,3	3,76	2.12	0,61

Так, в разі Іх послідовного з'єднання, котушки фаз зірки виконуються проводом базової машини з тією ж кількістю витків в котушці, а котушки фаз трикутника в  $\sqrt{3}$  разів меншим перерізом провода, але з більшою в  $\sqrt{3}$  разів кількістю витків. При паралельному з'єднанні між собою зірки та трикутника, котушки фаз зірки виконуються в 2 рази меншим перерізом ніж провід базової машини, але із вдічі більшою кількістю витків. Співвідношення між перерізом та кількістю витків фаз зірки та трикутника як і в попередньому випадку.

Обмотку можна виконувати з повним кроком. Проте перевагу слід віддати обмотці врозвалку. При цьому фази однієї з напівобмоток повинні бути зміщені на  $120^\circ$ , а однойменні фази зірки та трикутника на  $90^\circ$ .

Найбільший ефект маємо від заміни двохшарової обмотки з укороченим кроком на одношарову 12-зонну.

### Основні результати роботи

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень асинхронного двигуна з 12-зонною обмоткою можна зробити наступні висновки, які відображають найбільш важливі результати роботи:

1. Проведений аналіз впливу числа фазних зон обмотки на ефективність двигуна показав, що за рахунок Іх збільшення можна значно покращити форму просторової кривої МРС у повітряному зазорі, максимально наблизивши її до синусоїди.

2. Обґрунтовано практичне збільшення числа фазних зон обмотки в 2 рази за рахунок поєднання на статорі двигуна двох напівобмоток, з'єднаних зіркою та трикутником.

3. За рахунок застосування на статорі двох напівобмоток досягнута повна компенсація вищих просторових гармонік порядку  $\nu = 2m \pm 1$  схемним шляхом при високому обмоточному коефіцієнті, що дозволяє значно зменшити струми холостого ходу та короткого замикання двигуна, підвищити його коефіцієнт потужності.

4. Розроблена математична модель двигуна з 12-зонною обмоткою статора при довільних кутах зміщення струмів у сусідніх фазних зонах.

5. На основі розробленої математичної моделі виявлені оптимальні кути зміщення струмів в обмотках зірки та трикутника, при яких забезпечується мінімум струму статора та максимум струму

ротора.

6. Отримані схеми заміщення двигунів з паралельним та послідовним з'єднанням зірки та трикутника. З позиції зміни їх параметрів обґрунтовано зменшення струму холостого ходу та короткого замикання машини, підвищення  $\cos \varphi$  та пускового моменту.

7. Підтверджено підвищення надійності асинхронного двигуна з 12-зонною обмоткою за рахунок зменшення сил динамічної взаємодії в лобовій частині обмотки.

8. Розроблені електричні схеми 12-зонних обмоток для двигунів на числа полюсів  $2p=2$ ,  $2p=4$ ,  $2p=6$ .

9. Розроблені рекомендації до зміни технології ремонту асинхронних двигунів при заміні в них 6-зонної обмотки на 12-зонну. Запропонована технологія ремонту впроваджена на Гребінківському ДРТП Київської області для ремонту електродвигунів, які використовуються в сільському господарстві.

10. Визначені співвідношення між числами витків та перерізом провада в котушках фаз зірки та трикутника.

11. Досліджені особливості паралельного та послідовного з'єднання зірки та трикутника.

12. На основі сертифікаційних випробувань досліджуваних двигунів підтверджені основні теоретичні положення.

#### **Основні матеріали роботи опубліковані в наступних роботах:**

1. Мишин В.И., Тетянич И.К., Тарасенко Р.А. Асинхронный электродвигатель с трехфазно-ортогональной обмоткой статора // Регулируемые асинхронные двигатели. Сб. науч. тр. - К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 1994.- с.146-157.

2. Мишин В.И., Тарасенко Р.А., Яцкевич Ю.В. Сравнительная характеристика свойств трехфазного асинхронного двигателя при 6- и 12- зонной обмотках статора / Регулируемые асинхронные двигатели: Сб. науч. тр. - Киев.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 1996. - с.153 - 163.

3. Тарасенко Р.О. Сила динамічної взаємодії в лобовій частині обмотки, як фактор надійності асинхронного двигуна / Регулируемые асинхронные двигатели: Сб. науч. тр. - Киев.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 1997. - с.180 - 188.

4. Мишин В.И., Тарасенко Р.А. Эффект 12-зонной обмотки якоря трехфазного асинхронного двигателя. Електромеханіка. Теорія

і практика. / Праці науково-технічної конференції: Львів, 1996. - с.180-188.

5. Одношарова обмотка з укороченим кроком. Мішин В.І., Тарасенко Р.О. Проблеми агропромислового комплексу: пошук, досягнення // Тези доповідей наукової конференції професорсько-викладацького складу та аспірантів. К., УДАУ, 1993. с.136

6. Електродвигун змінного струму з двома трифазно-ортогональними обмотками статора. Мішин В.І., Тарасенко Р.О. Проблеми агропромислового комплексу: пошук, досягнення // Матеріали доповідей наукової конференції професорсько-викладацького складу та аспірантів. К., НАУ, 1994. с.59

7. Патент 14530 А України, МПК<sup>5</sup> Н 02 К 17/02 "Спосіб підвищення ефективності електродвигуна змінного струму" / В.І.Мішин, Р.О.Тарасенко, Г.М.Фесенко, Ю.В.Яцкевич. - 09.01.1997.

#### АННОТАЦІЯ

**Тарасенко Р.А.** Повышение эффективности и надежности асинхронных электродвигателей при ремонте их в условиях ремонтно-транспортных предприятий. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 - применение электротехнологий в сельскохозяйственном производстве, 05.09.03 - электротехнические комплексы и системы. Национальный аграрный университет, Киев, 1997.

Проведен анализ влияния числа фазных зон обмотки электродвигателя на его технико-экономические показатели. Предложен способ увеличения числа фазных зон обмотки вдвое схемным путем. На базе математической модели асинхронного двигателя с 12-зонной обмоткой исследованы его свойства. Обоснованы изменения параметров схем замещения такого двигателя и их влияние на уменьшение тока холостого хода и короткого замыкания, повышение коэффициента мощности. Проведена оценка надежности его на основе сил динамического взаимодействия в лобовой части обмотки. Разработаны дополнения к существующей технологии ремонта электродвигателей.

**ABSTRACT**

**Tarasenko R. A.** Increase of Efficiency and Reliability of Induction Motor while Repairing them under Conditions of Repairing and Transporting Enterprises. Manuscript.

The thesis for candidate of science degree of engineering on speciality 05.20.02 - employment of electrical technologies in agricultural production, 05.09.03 - electrotechnical complexes and systems. National Agrarian University, Kiev, 1997.

The analysis of influence of the number of these zones of electric motor winding on technical and economical indices has been conducted. The method of increase of the number of winding phase zone twice by means of changing its scheme has been suggested. On the basis of mathematical model of induction motor with 12-zone winding its characteristics were investigated. There have been grounded the changings of the repairing schemes parameters, which influenced the reduction of no-load and short circuit current, increasing power coefficient. We have fulfilled the estimation of the reliability its on the basis of the dynamic interaction forces in front part of the winding. The following amendments to the existing technologies for the electric motors repairing have been worked out.

**Ключові слова:** електродвигун, обмотка, фазна зона, обмоточний коефіцієнт, надійність, лобова частина, сила динамічної взаємодії, технологія ремонту.

---

Підписано до друку 14.04.97р. Формат 60х84/16.  
Ум. друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,0.  
Наклад 100. Зам. 122.

---

Відділ оперативної поліграфії  
Центру Міжнародної освіти  
227-12-75, 227-37-86

435 659

AB 37.423  
**AB 37.423**