ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Янтовська Ірина Леонідівна

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗБИРАННЯ СТАТОРІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

05.09.01 - електричні машини

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Харків - 1997

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00751061 (К)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському державному політехнічному університеті.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Новіков Юрій Дмитрович.

Офіційні опоненти - заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор
Яковлєв Олександр Іванович;

кандидат технічних наук, доцент
Гурін Анатолій Григорович.

Провідна організація - НДІ НВО " ХЕМЗ "

Захист дисертації відбудеться "26" червня 1997 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.09.15 у Харківському державному політехнічному університеті /310002, м.Харків, МСП, вул. Фрунзе, 21/.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці університету.

Автореферат розісланий "24" травня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Єгоров Б.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблеми ресурсозбереження та екології набули зараз в Україні особливу гостроту, бо довгий час вважалися другорядними. Зокрема, при ремонті та утилізації електричних машин допускається невиправдане марнотратство та забруднення навколишнього середовища через недосконалість технологічних процесів. Так, щоб розібрати статор найбільш масових, асинхронних двигунів /АД/ із всипною обмоткою і алюмінієвим корпусом, використовують деструкційні способи витягнення дефектної обмотки та руйнуючий демонтаж корпусів. При цьому в оточуючий простір потрапляє багато токсичних речовин. Тому часто взагалі відмовляються від ремонту, а в разі утилізації таких двигунів - не використовують цінну вторинну сировину, що міститься в них. Тому авторка вважає обрану тему досить важливою. Про її актуальність свідчить той факт, що ДКНТ України включив у 1993 р. на конкурсній основі запропонований кафедрою електричних машин ХДПУ проект "Розробка наукових основ та обладнання для ресурсозберігаючої та екологічно чистої технології демонтажу дефектних електричних машин" до державної програми "Високоефективні енергозберігаючі електротехнічні і енерготехнологічні системи", реєстраційний номер 05.5I.06/042-93 / 04.II.05/005К-95. Частина питань дисертаційної теми увійшла, також на конкурсній основі, в програму Міносвіти України з пріоритетного напрямку "Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології".

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи є пошук, обґрунтування, розробка і дослідження нової ресурсозберігаючої та екологічно чистої технології демонтажу статорів АД із всипною обмоткою та алюмінієвим корпусом, придатної для широкого використання. Для досягнення цієї мети вирішено такі основні задачі:

- знайдено спосіб неруйнуючого демонтажу алюмінієвих корпусів;

- обгрунтовано принцип і досліджено спосіб демонтажу дефектної обмотки без термохімічної деструкції ізоляційно-просочувальних матеріалів із зменшеними енерговитратами;

- подано фізичний та аналітичний описи використовуваних процесів;

- розроблено обладнання і запропонована методика його розрахунку;

- виконано експериментальні дослідження і встановлено фактичні параметри та характеристики запропонованого обладнання і технологічних процесів;

- підтверджено достовірність основних рішень результатами успішного втілення розробленої технології у промислове виробництво.

Методи досліджень. Для розв'язання вказаних задач використано методи експериментального дослідження, фізичне й математичне моделювання із застосуванням ПЕОМ.

Наукова новизна полягає у таких основних результатах, що виносяться на захист:

1. Термоіндукційнодинамічний спосіб розбирання пресових з'єднань деталей і застосування його для демонтажу статорів АД з алюмінієвим корпусом.

2. Дослідження способу витягнення дефектної обмотки із пазів осердя, який здійснюється без хімічної /термічної/ деструкції ізоляційних матеріалів з використанням попередньої термічної /кріогенної або індукційної струмами промислової частоти/ обробки статорів та застосуванням спеціального пристрою - витягача обмотки.

3. Теоретичний опис процесів у низькочастотній індукційній

системі /НІС/ демонтажу статорів і спосіб розрахунку її параметрів.

4. Математична модель змінного електромагнітного поля НІС з отриманням комп'ютерної візуальної картини поля.

5. Накопичені дослідні дані, отримані як у лабораторних дослідженнях, так і в умовах промислової експлуатації розробленого обладнання.

Практична цінність роботи полягає в такому:

- знайдено шляхи ресурсозбереження та екологічного очищення для технологічного процесу розбирання статорів найбільш масових асинхронних двигунів;

- розроблено досить просте обладнання, яке може бути виготовлене й використане будь-яким електроремонтним чи електромашинобудівним підприємством;

- отримана можливість зменшення кількості неремонтопридатних АД та поширення сфери ремонту, що веде до економії ресурсів;

- отримана можливість збільшити вихід вторсировини кольорових металів з АД, що утилізуються;

- запропонований спосіб розбирання пресових з'єднань, придатний до загальнопромислового використання.

Реалізація результатів роботи здійснена на найбільшому в Україні електромашинобудівному підприємстві з багатосерійним виробництвом АД потужністю 0,6-3 кВт - АТ "Укрелектромаш", м.Харків, де технологія демонтажу з руйнуванням корпусів і випалюванням обмотки повністю замінена ресурсозберігаючою і екологічно чистою індукційною технологією, розробленою в дисертації. При цьому

створені комфортні, токсично безпечні умови праці персоналу і зняті дотації за шкідливість;

припинено викид в оточуюче середовище небезпечних речовин;

забезпечено збереження й повторне використання алюмінієвих корпусів;

забезпечено збереження якості осердь та їх придатність до автоматизованої перемотки;

зменшено витрати енергії та матеріалів;

скорочені площа ремонтної ділянки і штат робітників;

зменшена трудомісткість ремонту.

Достовірність основних рішень доведена експериментально та успішним досвідом їх застосування в умовах промислового виробництва.

Апробація роботи. Головні положення й результати доповідались на Всесоюзному науково-технічному семінарі "Ресурсозберігаючі та екологічно чисті виробництва", Рига, грудень 1990 р.; на Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми електромашинобудування", Ленінград, жовтень 1991 р.; на Українському семінарі-ярмарку "Електромеханічні системи в промисловості і на транспорті", Севастополь, жовтень 1992 р.; на Першій міжнародній конференції з електромеханіки та електротехнології, Суздаль, вересень 1994 р.; на міжнародних науково-технічних конференціях "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків-Мішкольц, 1994, 1995, 1997 рр., а також на семінарах Наукової ради НАН України з комплексної проблеми "Наукові основи електроенергетики", Харків, 1993, 1994 рр.

Публікації. За темою дисертації опубліковано: 3 статті в наукових збірниках, 2 патенти на винаходи, 4 роботи опубліковані як тези доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновку, списку літератури й додатків. Всього 187 сторінок, в тому числі 146 сторінок тексту, 40 рисунків, 5 таблиць.

Особистий внесок авторки у розробку наукових результатів: фор-

мулювання проблеми й напрямку дослідження, пошук і пропозиція суттєвих ознак нового способу демонтажу, фізичне й аналітичне обгрунтування, математичне моделювання, спосіб розрахунку НІС, методика й виконання експерименту.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі поставлено проблему, показана необхідність виконання роботи й дана її загальна характеристика.

Глава I - "Обгрунтування та постановка задачі дослідження". Наведено дані про велику кількість пошкоджень обмотки статора, внаслідок яких він потребує капітального ремонту. Причому, як свідчать статистичні дані, зібрані авторкою, такого ремонту потребує значна кількість АД, забракованих ще на стадії їх виготовлення /на електромашинобудівному підприємстві з масовим випуском - до 5 % від кількості усіх, що надходять до випробних станцій/. Для виконання ремонту необхідно здійснити повний демонтаж статора. Авторка вважає, що демонтаж статорів повинен бути обов'язковим також і в разі утилізації непідлягаючих відбудові АД з метою витягнення цінної кольорової вторсировини, бо зараз вони цілком потрапляють у переплавку з чорними металами, що веде до її втрати.

Проблеми демонтажу полягають у складності витягнення обмотки, яка міцно утримується в пазах завдяки високій цементуючій спроможності сучасних просочувальних матеріалів, а також у неможливості роз'єднання корпуса і осердя, які з'єднані натягом. Аналіз відомих технологій витягнення обмотки /механічних, хімічних, термічних/ свідчить, що зараз майже всюди використовується єдина технологія - випалювання ізоляції обмотки у печах. Ця технологія має такі основні недоліки:

I/ в оточуюче середовище викидається значна кількість речовин I і II класу шкідливості /середнім ремонтним підприємством - 950

умовних тонн на рік/. З наведених 40 токсичних речовин, що виділяються, найбільш небезпечні бензапірен, етилпірен, дифеніл, дигідроантрацен, фенол, стироли;

2/ значні енергетичні витрати через використання високотемпературної і тривалої обробки, а також через низький ККД печей;

3/ значна трудомісткість, що викликана необхідністю очищення осердя після випалювання;

4/ погіршення магнітних і якісних характеристик осердя;

5/ неможливість проводити операцію випалювання для статорів з алюмінієвим корпусом, бо він не витримує температури випалювання.

В останньому випадку, оскільки зняти корпус було неможливо через відсутність технології, на електромашинобудівних підприємствах його руйнували під пресом і після перемотки заміняли на новий, що пов'язане з очевидними витратами.

На підставі зробленого аналізу ставиться проблема пошуку, розробки й дослідження наукових основ нової ресурсозберігаючої та екологічно чистої технології демонтажу статорів. Її рішення є метою роботи. З аналізу також зроблено висновок про напрямок пошуку: оскільки недоліки існуючої технології зумовлені руйнуючим характером процесів, в тому числі термохімічною деструкцією ізоляції, обрано принцип пошуку бездеструкційної неруйнуючої технології.

Глава 2 - "Фізичні основи й методи запропонованого неруйнуючого розбирання статорів". Досить добре відомі фізичні фактори, які негативно впливають на надійність обмоток та ізоляції /наприклад, шкода від пусків двигуна з холодного стану або від будь-яких інтенсивних перехідних процесів/. Для вирішення нашої задачі пропонується перетворити деякі з цих негативних факторів, навпаки, в головні робочі фактори. Для цього треба активізувати

та інтенсифікувати їх дію.

Для бездеструкційного витягнення обмотки пропонуються такі два етапи процесу /крім загального для всіх технологій попереднього етапу однобічного обрізування лобової частини/: I/ ослаблення цементації шляхом температурної обробки; 2/ силове витягнення обмотки із пазів за допомогою спеціального пристрою /витягача/.

Щоб ослабити цементацію, пропонуються два різні способи: I/ кріогенної обробки або 2/ індукційного нагріву струмом промислової частоти. Дія обох способів заснована на тому, що у складностикованій системі різнорідних матеріалів /сталь - плівка затверджуваного просочення - пазова ізоляція - затверджуване просочення - емальплівка - мідний дріт/ внаслідок різниці їх теплофізичних і механічних характеристик інтенсивні температурні діяння викликають такі внутрішні механічні напруження, тріщини, розшарування, ослаблення молекулярних та адгезійних сил, що досить порівняно невеликого зовнішнього зусилля, щоб у найбільш слабкому адгезійному шарі здійснити роз'єднання. В запропонованих умовах таке роз'єднання відбувається на пазовій поверхні.

Кріогенна обробка потребує певної глибини й швидкості охолодження /для нанесення холодного удару/. Виконані дослідження виявили достатню ефективність таких умов обробки:

глибина охолодження - 80 К;

холодагент - рідкий азот;

середня швидкість охолодження - I,4 К/с;

спосіб охолодження - випарне із вільним кипінням;

спосіб здійснення - різке занурювання в азотну ванну;

потрібне зовнішнє питоме зусилля для витягнення обмотки - I90 кН/м^2;

витрати азоту $m_a = \theta \sum (m_i c_i) / \beta$

де m_i і C_i – маса й питома теплоємність i-го охолоджуваного елементу статора; θ – перевищення початкової температури над температурою кипіння азоту; β – питома теплота випаровування азоту.

Вартість азоту не є високою, бо рідкий азот – це побічний продукт у процесі розділення повітря й виробництва кисню. Встановлено, що після кріогенної обробки магнітні та інші якісні характеристики осердя повністю зберігаються.

Але для широкого кола ремонтних ділянок більш придатним способом ослаблення цементації може бути індукційний нагрів струмом промислової частоти. Для цього в осерді, як у вторинній обмотці трансформатора, збуджується індукційний струм, який нагріває осердя. Від осердя тепловий потік переходить у пази, і на їх поверхні, саме у просочувальній плівці, утворюється найбільший температурний градієнт і найбільше ослаблення адгезійного зчеплення. Під зовнішнім зусиллям обмотка відокремлюється від пазової поверхні і витягується цілком разом з усією ізоляцією /"чисте" витягнення/. Температура нагріву не повинна перевищувати температури початку активної деструкції.

Використання саме індукційного нагріву струмом промислової частоти дозволяє концентровано та економно витрачати енергію на нагрів і обходитись дуже простим у виготовленні та експлуатації економічним індуктором з магнітопроводом. Запропоновані й проаналізовані різні схеми таких індукторів: одно-, дво- і трипозиційні; одно- і трифазні; з внутрішнім і зовнішнім концентричним, або послідовним чи окремим розміщенням обмотки збудження; із зосередженою або розподіленою обмоткою.

Шляхом експерименту встановлено необхідну температуру нагріву /для компаунда КП-34 це 170-190 °С/ і потрібне питоме зусилля витягнення /24-12 кН/м^2/ для "чистого" витягнення обмотки.

За нижню межу температури прийнято таку, за якої на поверхні пазів не залишається ніяких налипань ізоляції, а за верхню межу - температуру початку активної термохімічної деструкції /поява легкого диму й запаху/. Встановлене значення температури, як виявилось, знаходиться у близькому узгодженні з результатами дериватографічного аналізу термостабільності компаунда КП.

Для силового витягнення обмотки на заключному етапі запропоновано механічний пристрій - витягач. Сформульовано вимоги до нього: зусилля повинно діяти точно вздовж пазів, необхідним є елемент, що утримує зубці крайніх листів осердя від розпушення, розмір зусилля має бути розрахований з наведених значень питомих зусиль. Розроблено варіант такого пристрою. Він дозволяє зусиллям від будь-якого преса витягти одноміттєво всю обмотку разом з її незруйнованою ізоляцією /захватом за лобову частину/.

Перевагами бездеструкційного витягнення є: 1/ висока ступінь екологічної чистоти; 2/ технологічна простота; 3/ зменшені енерговитрати; 4/ висока якість продукції; 5/ висока продуктивність.

Знайдено також спосіб неруйнуючого демонтажу алюмінієвих корпусів. Він базується на різниці температурного коефіцієнта лінійної деформації /ТКЛД/, електричного опору, теплоємності елементів пресового з'єднання. Спосіб названо термоіндукційно-динамічним: він полягає в тому, що виконують нагрівання пресового з'єднання індукційним струмом і одночасно з термічним створюють електродинамічне діяння на елементи в напрямку розбирання. Спосіб ілюструється на рис. 1. Індуктор має магнітопровід 1 і розподілену обмотку збудження з двома котушками 2 і 3. Котушка 2 названа робочою, бо створює робочу електродинамічну силу. На стержень 5 з робочою котушкою надівають і встановлюють на

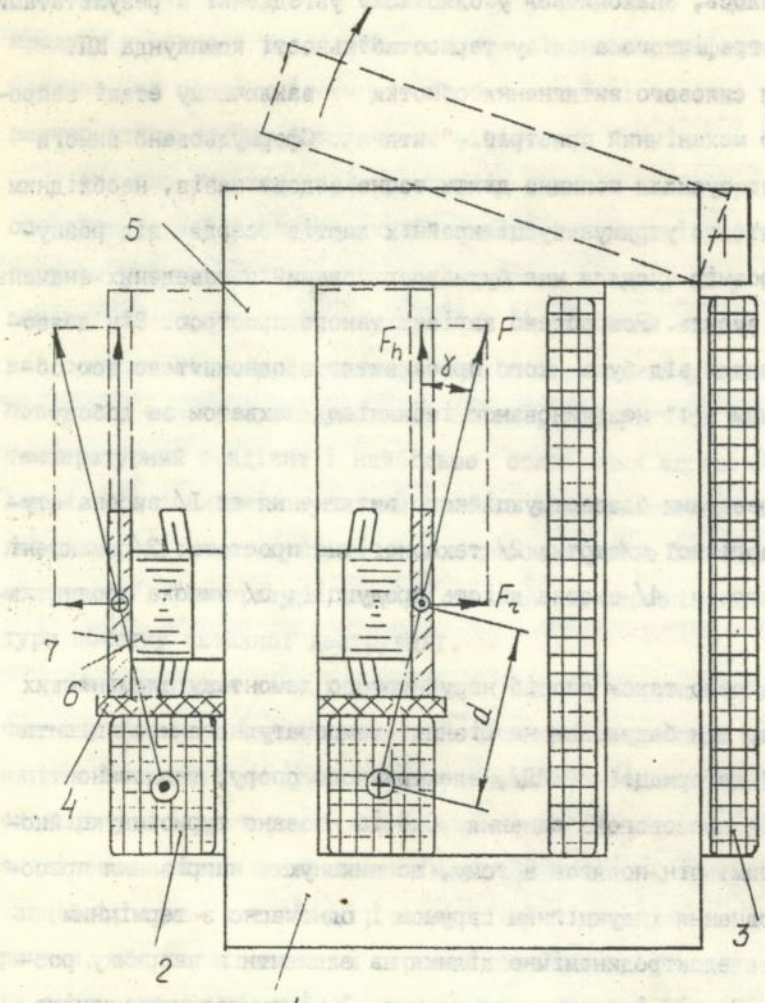

Рис. I

платформі 4 статор, що демонтується. Осердя 6 і корпус 7 статора з'єднані натягом. Збуджувані в них струми створюють нагрівання деталей і збільшення їх діаметрів. У корпуса воно більш значне внаслідок майже вдвічі вищого ТКЛД, меншої повної теплоємності й більшого струму. Тому при нагріванні натяг зникає. Під час нагрівання на корпус діє індукційнодинамічна сила від взаємодії його струму з повним струмом робочої котушки. Її основна складова F_h орієнтована в напрямку розбирання, а її значення повинне перевищувати вагу корпуса. Після зникнення натягу корпус цією силою автоматично скидається з осердя. В роботі знайдено формули для розрахунку потрібних температури, тривалості нагріву та індукційнодинамічної сили.

Глава 3 - "Комп'ютерне математичне моделювання електромагнітного поля НІС". Для проектування індуктора й розрахунку характеристик НІС ключовим є питання про розподіл її електромагнітного поля. З метою його діагностики розроблена двовимірна математична модель й виконане моделювання з комп'ютерною побудовою візуальної картини магнітного поля на ПЕОМ. При цьому вважається, що індукційні струми протікають тільки в межах спинок осердя й корпуса, які є гладкими /без оребрення й зубців/. Вихідним є рівняння змінного електромагнітного поля, записане у комплексній формі:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu \frac{\partial \dot{A}_m}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu \frac{\partial \dot{A}_m}{\partial y}\right) = -\dot{j}_{m\,ст} + j\omega\gamma\dot{A}_m, \qquad /1/$$

де $\dot{A}_m$ - комплексна амплітуда векторного магнітного потенціалу; $\dot{j}_{m\,ст}$ - комплексна амплітуда густини стороннього струму /струму збудження/; ν і γ - питомий магнітний опір і електропровідність.

Скінченнорізницева апроксимація /1/ з розподіленням маг-

нітного потенціалу на дійсну та уявну частини

$$\dot{A}_m = A1 + jA2 \qquad /2/$$

згідно із звичайним шаблоном прямокутної сітки набуває виду

$$A1_0=\left[(A1_1P_1+A1_2P_2+A1_3P_3+A1_4P_4+I_0)(P_1+P_2+P_3+P_4)+\right.$$
$$\left.+(A2_1P_1+A2_2P_2+A2_3P_3+A2_4P_4)Q_0\right]\Big/\left[(P_1+P_2+P_3+P_4)^2+Q_0^2\right], \qquad /3/$$

$$A2_0=\left[(A2_1P_1+A2_2P_2+A2_3P_3+A2_4P_4)(P_1+P_2+P_3+P_4)-\right.$$
$$\left.-(A1_1P_1+A2_2P_2+A2_3P_3+A2_4P_4+I_0)(P_1+P_2+P_3+P_4)^2+Q_0^2\right], \qquad /4/$$

де $P_1=\nu_4 h_4/h_1+\nu_1 h_2/h_1$, $P_2=\nu_1 h_1/h_2+\nu_2 h_3/h_2$,

$P_3=\nu_2 h_2/h_3+\nu_3 h_4/h_3$, $P_4=\nu_3 h_3/h_4+\nu_4 h_1/h_4$,

$I_0=0{,}5\sum_{i=1}^{4} J_{m\,ст\,i}\,S_i$, $Q_0=0{,}5\sum_{i=1}^{4}\gamma_i S_i$.

$J_{m\,ст}$ вважається заданим дійсним числом.

Система рівнянь виду /3/, /4/ розв'язувалась методом релаксації, й знаходились потенціали усіх внутрішніх вузлів сітки. Через них легко обчислюються магнітна індукція, магнітний потік у перерізі магнітопроводу на одиницю довжини /дорівнює потенціалу на поверхні вікна $\Phi_m = A_m$/, густина індукційного струму / $J_{mи} = \omega\gamma A_m$/. За розробленим алгоритмом складена програма на Турбо Паскаль. Вона побудована за модульним принципом, який дозволив економно розпорядитися пам'яттю ЕОМ і використати деякі вже існуючі модулі загального характеру. При цьому частина інформації зберігається на дискетах в окремих файлах. У програмі використано принцип динамічного розподілення пам'яті.

Результат моделювання для режиму повного навантаження НІС /нагрівання всього статора/ наведено на рис. 2 /друк з екрана ПЕОМ/. Отримана картина викриває складний характер поля й сильну реакцію індукційних струмів. Під дією цієї реакції магнітний потік витискається з магнітопроводу на шляхи розсіяння, внаслідок чого корисний потік, що зчеплюється з корпусом / Φ_K / і осердям / Φ_C /, значно зменшується /відповідно знижується й індукційна ЕРС/. На підставі обробки отриманих при моделюванні розрахункових даних введені та обчислені коефіцієнти зменшення магнітного потоку корпуса / K_K / і осердя / K_C /, так що

$$\Phi_K = K_K \Phi_B \,, \qquad /5/$$

$$\Phi_C = K_C \Phi_B \,, \qquad /6/$$

де Φ_B - осереднене значення загального потоку збудження. Значення коефіцієнта K_C для режиму часткового навантаження /нагрівання без корпусу/ суттєво підвищується.

Знайдено також закономірність розподілення густини індукційного струму й коефіцієнти збільшення активного опору. Подальші експерименти підтвердили, що розроблена модель адекватно відбиває процеси у НІС.

Глава 4 - "Питання розрахунку й розробки НІС". Аналізується НІС за рис. І, на якій виконуються послідовно демонтаж корпуса /повне навантаження/ й догрівання осердя для витягнення обмотки / часткове навантаження/. Для визначення технологічних параметрів процесу основною є задача розрахунку струмів у корпусі I_K, осерді I_C та збудження I. Якщо розглядати НІС як систему із зосередженими електричними параметрами, то її моделювання може засновуватись на теорії триобмоткового трансформатора /обмотка збудження - первинна, корпус і осердя статора - дві вторинні

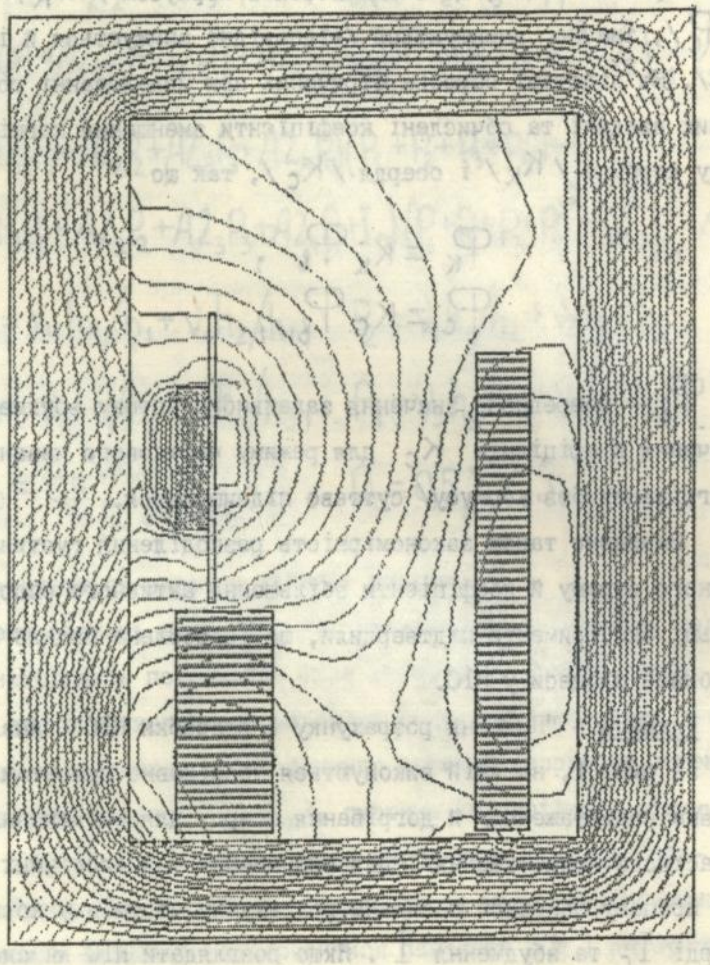

Рис. 2

"обмотки"/. Рівняння електричної і магнітної рівноваги НІС:

$$\dot{U} = j\left(\dot{I}X_{11} + \dot{I}'_K X_{1K} + \dot{I}'_C X'_{1C}\right) + \dot{I}R\,, \qquad /7/$$

$$0 = j\left(\dot{I}X'_{K1} + \dot{I}'_K X'_{KK} + \dot{I}'_C X'_{KC}\right) + \dot{I}'_K R'_K, \qquad /8/$$

$$0 = j\left(\dot{I}X'_{C1} + \dot{I}'_K X'_{CK} + \dot{I}'_C X'_{CC}\right) + \dot{I}'_C R'_C; \qquad /9/$$

$$\dot{I} + \dot{I}'_K + \dot{I}'_C = \dot{I}_\mu\,, \qquad /10/$$

де позначення в індексах активних та індуктивних опорів самоі взаємоіндукції І, к, с означають відповідно обмотку збудження, корпус і осердя.

Система /7/-/10/ моделюється точною схемою, а при нехтуванні намагнічуючим струмом - наближеною трипроменевою схемою заміщення, як трансформатора в режимі короткого замикання. Оскільки розрахунок її параметрів затруднюється складним розміщенням і розщепленням обмоток, для нього обрано нетрадиційний, загальний метод, розроблений Г.Н.Петровим: кожна котушка обмотки збудження розглядається як окрема обмотка, використовуються рівняння багатообмоткового трансформатора і розрахунок параметрів зводиться до знаходження опорів короткого замикання шести двохобмоткових трансформаторів. Індуктивність розсіяння кожного з них знаходиться методом середньогеометрічних відстаней /СГВ/. Наприклад, для будь-якої пари обмоток І і 2

$$X_{12} = \mu_0 f \pi D w^2 l_n \frac{k_F g_{12}}{g_1 \cdot g_2}\,,$$

де D і W - середній діаметр і приведена кількість витків обмотки; g_{12} - СГВ між перерізами обмоток І і 2; g_1 і g_2 - СГВ перерізів обмоток І і 2 самих від себе; k_F - коефіцієнт, що враховує вплив стального магнітопроводу.

Згідно методу дзеркальних відображень

$$K_F \frac{g_{1\bar{2}}}{g_{1\bar{1}} \cdot g_{1\bar{2}}},$$

де $\bar{1}$ і $\bar{2}$ – індекси дзеркальних відображень перерізів обмоток I і 2.

Особливістю проектування індуктора на відміну від трансформатора є те, що його потужність не може бути заданим і відправним параметром, бо переріз магнітопроводу обмежений внутрішнім діаметром статорів. Тому задача проектування індуктора, призначеного для умов масового виробництва, сформульована так: для заданого типорозміру статорів при заданому значенні напруги живлення промислової частоти розрахувати індуктор, що забезпечує найбільшу продуктивність. При цьому проаналізовано умови ефективної віддачі потужності. Показано, що вона може бути забезпечена тільки в разі узгодження активного опору навантаження /статорів/ з опором обмотки збудження. Для кращого узгодження слід якомога збільшувати магнітний потік і зменшувати кількість витків обмотки збудження, особливо в індукторах для статорів малих діаметрів. Для ослаблення розмагнічуючої реакції індукційних струмів рекомендується вибирати збільшені порівняно з трансформаторами значення магнітної індукції холостого ходу. Урахування реакції вторинних струмів при знаходженні індукційних ЕРС в корпусі та осерді виконується за допомогою введених /5/, /6/ коефіцієнтів. При розрахунку індукційних струмів індуктивні опори корпусу та осердя знаходяться наближено, як для відокремлених контурів, з використанням відомих формул прямокутної шини в умовах квазістаціонарних струмів. Споживаний струм визначається з векторної діаграми згідно /IO/ з урахуванням намагнічуючої складової. Переріз дроту обмотки збудження визначається за еквівалентним середньоквадратичним струмом в циклі обробки. Розподіл витків між

двома котушками збудження виконується з умов приблизно рівномірного розподілу МРС по стержнях і водночас забезпечення потрібного демонтуючого зусилля робочої котушки.

Глава 5 - "Експериментальне дослідження НІС. Упровадження у виробництво". Експерименти виконані на дослідно-промисловому зразку індуктора, призначеному для повного демонтажу статорів АД з висотами осі обертання 80 і 90 мм. Розмір перерізу магнітопроводу 55 х 55 мм, розмір вікна 210 х 395 мм. Обмотка збудження має 318 витків, в тому числі робоча котушка - 150 витків. Розроблено дослідний стенд і методику експериментів. Знайдено спосіб вимірювання густини струму в корпусі, заснований на використанні виразу закону Ома в диференціальній формі $j = \gamma E$. При цьому напруженість E електричного поля, збуджуваного в корпусі, знаходилась шляхом вимірювання ЕРС e у тонкому вимірювальному витку діаметром D, який накладався концентрично на поверхню корпусу. Вважаючи, що в такому витку і в корпусі значення E майже однакове, маємо

$$j = \gamma \frac{e}{\pi D} .$$

По довжині корпусу накладалося кілька таких витків, при цьому для деяких прорізали щілини в оребренні та лапах. Розподіл магнітного потоку вздовж магнітопроводу знайдено за допомогою розміщених на ньому вимірювальних витків. Для вимірювання складових вектора магнітної індукції поля розсіяння були виготовлені зонди у вигляді малогабаритних багатовиткових котушечок, і індукцію знаходили через наведену в зондах ЕРС.

Створювану демонтуючу силу, що скидає корпус, знаходили шляхом утримання корпусу зрівноважуючим вантажем, який потім вимірювали на вагах.

В експериментах визначені споживані струм і потужність,

температурні графіки і тривалість процесів індукційного нагріву, отримані епюри розподілу індукційного струму в корпусі, магнітного потоку вздовж магнітопроводу і магнітної індукції поля розсіяння.

При дослідженні впливу роботи НІС на живильну електросітку встановлено: І/ осцилограма споживаного струму має помітне відхилення форми від синусоїдної /загострення/, що можна пояснити насиченням значної частини магнітопроводу, і 2/ НІС працює з низьким значенням $\cos\varphi$. Щодо вибору оптимального ступеня насичення, то потрібні додаткові дослідження. Для підвищення $\cos\varphi$ пропонується використання компенсуючих конденсаторів.

Отримані фактичні характеристики НІС у циклі повного демонтажу статорів АИР80А2 наведено у таблиці.

Показники	Режим /АИР80А2/	
	повне навантаження	часткове навантаження
Частота струму, Гц	50	50
Напруга живлення, В	380	380
Споживана потужність, Вт	3800	2400
Споживаний струм, А	38	21
Струм у корпусі, А	7757	-
Струм в осерді, А	3505	4572
Потужність нагрівання корпусу, Вт	I930	-
Потужність нагрівання осердя, Вт	860	I466
Коефіцієнт потужності	0,26	0,3
ККД, %	74	60
Тривалість нагріву, с	97	I42
Витрати енергії, кВт·г	0,I04	0,096
Струм холостого ходу, А	I2	
Потужність холостого ходу,Вт	900	
Маса міді /сталі/ загальна,кг	37,5/30/70	
Габарити індуктора, мм	5I0 x 430 x 200	

Експериментальні характеристики узгоджуються з розрахунковими.

Якість демонтованих корпусів досліджена незалежною комісією, визнана такою, що відповідає вимогам стандарту і дозволяє використовувати ці корпуси повторно. Протоколи комісій наведені у додатку.

Запропонована в дисертації індукційна технологія повного демонтажу статорів була упроваджена в промислове виробництво на заводі "ХЕЛЗ" НПО "Укрелектромаш" /зараз АТ "Укрелектромаш"/, м. Харків, замість старої технології - з руйнуванням корпусів і випалюванням обмотки. Нова технологія використовується для відбудови забракованих двигунів. Наведено результати впровадження, що свідчать про значну ефективність нового технологічного процесу та обладнання. Їх практична цінність вже згадувалась вище. Акт про впровадження роботи міститься у додатку.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ РОБОТИ

I. Показано важливість та необхідність удосконалювання технології демонтажу статорів АД як для зменшення екологічного забруднення, матеріальних і трудових витрат, так і для збереження вторсировини кольорових металів.

2. Запропоновано спосіб неруйнуючого демонтажу алюмінієвих корпусів і способи бездеструкційного демонтажу дефектної обмотки. Дан їх теоретичний аналіз і досліджені умови здійснення.

3. Доведено на практиці ефективність термоіндукційнодинамічного способу розбирання пресового з'єднання корпусу з осердям статора та способу витягнення обмотки, заснованому на попередній кріогенній або тепловій /індукційним струмом промислової частоти/ обробці статора із застосуванням спеціального пристрою - витягача обмотки. Показано, що після демонтажу корпус і осердя зберігають свої первинні якості й придатні до повторного використання.

4. Розроблена математична модель низькочастотної індукційної системи демонтажу в двовимірному наближенні. Виконане комп'ютерне моделювання змінного електромагнітного поля НІС, отримана візуальна картина поля та виявлені його основні особливості.

5. Дано теоретичний аналіз процесів у НІС і запропоновано наближений спосіб розрахунку індуктора та параметрів системи.

6. Створений і випробуваний дослідний зразок індуктора. Отримано в експерименті характеристики електромагнітного поля, параметри режимів і показники роботи НІС. Відповідність розрахункових значень отриманим в експерименті можна вважати задовільною для оцінних розрахунків.

7. Результати впровадження виконаних досліджень у промислове виробництво для відбудови забракованих АД на великому електромашинобудівному заводі підтверджують достовірність основних рішень дисертаційної роботи.

8. Розроблена технологія рекомендується до широкого використання для ремонту АД потужністю 1-20 кВт і для витягнення вторсировини із відпрацьованих АД в електроремонтних майстернях і цехах, на електромашинобудівних заводах і підприємствах вторинних ресурсів.

СПИСОК ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Янтовская И.Л. Исследование термоиндукционнодинамического способа разборки плотных соединений // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сб. науч. тр. Ч.3 /У междунар. науч.-техн. конф. MIcroCAD '97.- Харьков, 1997.-С. 208-211.

2. Янтовская И.Л. Определение плотности индукционного тока, возбуждаемого в корпусе электродвигателя при демонтаже // Там же. С. 212-215.

3. Берзин Е.К., Мирошниченко А.Г., Янтовская И.Л. Новая технология подготовки статоров к перемотке // Электрические машины. Развитие, совершенствование исследований и расчетов: Сб. науч. тр. ВНИИэлектромаш.-С.-Петербург, 1992.-С. 163-169.

4. Берзин Е.К., Мирошниченко А.Г., Янтовская И.Л. Способ разборки прессового соединения и устройство для его осуществления.-Решение ВНИИГПЭ от 13.04.95 о выдаче патента РФ по заявке № 92009714/07.

5. Берзин Е.К., Мирошниченко А.Г., Янтовская И.Л. Устройство для извлечения обмотки из пазов статора.-Пат. 2056695 РФ, 1996, Бюл. № 8.

6. Янтовская И.Л. Расчет индуктора для нагрева статоров электродвигателей при демонтаже // Компьютер: наука, техника, технология, здоровье: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф.- Харьков-Мишкольц, 1994.-С. 47.

7. Янтовская И.Л. К определению параметров индуктора для экологически чистой и ресурсосберегающей технологии ремонта электродвигателей // Тез. докл. I междунар. конф. по электромеханике и электротехнологии. Ч. I.-Суздаль, 1994.-С. 152.

8. Берзин Е.К., Мирошниченко А.Г., Янтовская И.Л. Технология реставрации статоров электродвигателей с термореактивной пропиткой // Ресурсосберегающие технологии и экологически чистые производства: Тез. докл. всесоюз. науч.-техн. семинара.-Рига, 1990.- С. 22.

9. Бондина Н.Н., Мякшина И.Г., Янтовская И.Л. Математическое моделирование электромагнитного поля индукционного нагревателя // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Материалы междунар. науч.-техн. конф., Харьков-Мишкольц, 19-21 апр. 1995 г.-Ч. 2.-Харьков, 1995.-С. 6.

Особистий внесок. В роботах /3, 8/ дисертанту належать формулювання та постановка проблеми, теоретичне обгрунтування, участь в експериментах, узагальнення результатів, висновки; в роботах /4, 5/ запропоновано відмітні ознаки, що увійшли у формули винаходів; в /9/ - обгрунтування моделі, складання алгоритму, участь в розробці програм, оцінка і узагальнення результатів.

Iantovski I.L., Master of science. Resource-saving and ecologically clean technology of disassembling induction motors stators.

Thesis (manuscript) submitted for a Ph.D. degree (candidate of technical sciences) in the field of electrical machines (05.09.01). Kharkov state polytechnic university, Kharkov, 1997.

The thesis is devoted to working out a new method of fully disassembling stators of the extensively employed induction motors and to its theoretical and experimental studies. The method can be widely used to repair induction motors and to obtain the salvage when they are utilized. The method enables the winding to be extracted with no thermal or chemical destruction of insulating materials and the aluminum frame to be removed without its being damaged so that the core and the frame can be re-used. The data on the efficiency of applying the method are given.

Янтовская И.Л. Ресурсосберегающая и экологически чистая технология разборки статоров асинхронных двигателей.

Диссертация /рукопись/ на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - электрические машины. Харьковский государственный политехнический университет. Харьков, 1997 г.

Диссертация посвящена разработке нового способа полной разборки статоров широко используемых асинхронных двигателей и его теоретическому и экспериментальному исследованию. Этот способ может быть широко применен при ремонте асинхронных двигателей и для получения вторсырья при их утилизации. Способ позволяет снять алюминиевый корпус без его разрушения и извлечь дефектную обмотку из пазов без термической или химической деструкции изоляционно-пропиточных материалов, так что корпус и сердечник могут быть использованы повторно. Приведены данные об эффективности внедрения способа.

Ключові слова: статор, демонтаж, ресурсозбереження, екологія.

Підп. до друку 23.05.1997р. Формат 60х84 / 16. Папір друк.
Ум. друк. арк. 1,0. Тираж 100. Зам. 52-10.

Харківський державний політехнічний університет,
редакційно-видавничий відділ.
Надруковано на ризографі ХДПУ.
310002, м.Харків, вул. Фрунзе, 21.

U32718

Особистий внесок. В роботах /3, 8/ дисертанту належать формулювання та постановка проблеми, теоретичне обґрунтування, участь в експериментах, узагальнення результатів, висновки; в роботах /4, 5/ запропоновано відмінні ознаки, що увійшли у формули винаходів; в /7/ – обґрунтування ідеї, складання алгоритму, участь в розробці програм, оцінка і узагальнення результатів.

Antonovski I.I. Master of science. Resource-saving and ecologically clean technology of disassembling induction motors stators.

Thesis (manuscript) submitted for a Ph.D. degree (candidate of technical sciences) in the field of electrical machines (05.09.01). Kharkov state polytechnic university, Kharkov, 1997.

The thesis is devoted to working out a new method of fully disassembling stators of the extensively employed induction motors and to its theoretical and experimental studies. The method can be widely used to repair induction motors and to obtain the salvage when they are utilized. The method enables the winding to be extracted with no thermal or chemical destruction of insulating materials and the aluminium frame to be removed without its being damaged so that the core and the frame can be re-used. The data on the efficiency of applying the method are given.

Антоновский И.А. Ресурсосберегающая и экологически чистая технология разборки статоров асинхронных двигателей.

Диссертация /рукопись/ на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – электрические машины. Харьковский государственный политехнический университет. Харьков, 1997 г.

Диссертация посвящена разработке нового способа полной разборки статоров широко используемых асинхронных двигателей и его теоретическому и экспериментальному исследованию. Этот способ может быть широко применен при ремонте асинхронных двигателей и для получения вторсырья при их утилизации. Способ позволяет снять изношенный корпус без его разрушения и извлечь дефектную обмотку из пазов без термической или химической деструкции изоляционно-пропиточных материалов, так что корпус и сердечник могут быть использованы повторно. Приведены данные об эффективности внедрения способа.

Ключевые слова: статор, демонтаж, ресурсосбережение, экология.

Підп. до друку 23.05.1997р. Формат 60x84/16. Папір друк.
Ум. друк. арк. 1.0. Тираж 100. Зам. 52-10.

Харківський державний політехнічний університет,
редакційно-видавничий відділ.
Надруковано на ризографі ХДПУ.
310002, м.Харків, вул. Фрунзе, 21.

432719

Ав 38.159