ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ ТА ПІСЛЯРЕМОНТНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

В. В. Прус, О. О. Сьомка

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: prus@kdu.edu.ua

О. О. Дегтяренко

ПрАТ «МК «Азовсталь»
вул. Лепорського, 1, м. Маріуполь, 87500, Україна.

Розглянуто питання необхідності та можливостей врахування зміни властивостей шихтованих осердь електричних машин у ході їх ремонту та тривалої експлуатації. На сьогоднішній день відомі узагальнені результати досліджень відносно зміни властивостей листової електротехнічної сталі під впливом режимів її перемагнічування у ході тривалої експлуатації електромеханічних пристроїв. При цьому існують особливості старіння шихтованої сталі осердь електричних машин, які принципово відрізняються від листової сталі та приводять до суттєвої зміни основних параметрів і характеристик електричних машин, що практично не враховується при їх подальшій експлуатації. Обґрунтовано необхідність діагностики осердь статорів на етапі ремонту з метою забезпечення якості ремонтних робіт, перевизначення паспортних даних і робочих характеристик та підвищення експлуатаційної надійності електричних машин. Викладено основні можливості й перспективи використання результатів діагностики шихтованих осердь, що дозволяють підвищити якість ремонту, ефективність післяремонтної експлуатації електричних машин та надають можливість економічно обґрунтовано проводити відновлення електромашинного парку промислових підприємств.

Ключові слова: електрична машина, шихтоване осердя, технічний моніторинг, надійність, післяремонтна експлуатація.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА И ПОСЛЕРЕМОНТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В. В. Прус, А. А. Семка

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: prus@kdu.edu.ua

А. О. Дегтяренко

ПрАТ «МК «Азовсталь»
вул. Лепорского, 1, г. Мариуполь, 87500, Украина.

Рассмотрен вопрос о необходимости и возможности учета изменения свойств шихтованными сердечников электрических машин в ходе их ремонта и длительной эксплуатации. На сегодняшний день известны обобщенные результаты исследований относительно изменения свойств листовой электротехнической стали под влиянием режимов ее перемагничивания в ходе длительной эксплуатации электромеханических устройств. При этом существуют особенности старения шихтованной стали сердечников электрических машин, которые принципиально отличаются от листової стали и приводят к существенному изменению основных параметров и характеристик электрических машин, что практически не учитывается при их дальнейшей эксплуатации. Обоснована необходимость диагностики шихтованных сердечников на этапе ремонта с целью обеспечения качества ремонтных работ, переопределения паспортных данных и рабочих характеристик и повышения эксплуатационной надежности электрических машин. Изложены основные возможности и перспективы использования результатов диагностики шихтованными сердечников, позволяющие повысить качество ремонта, эффективность послеремонтной эксплуатации электрических машин и дающие возможность экономически обоснованно проводить восстановление электромашинного парка промышленных предприятий.

Ключевые слова: электрическая машина, шихтованный сердечник, технический мониторинг, надежность, послеремонтная эксплуатация.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На даний момент одним з основних завдань при експлуатації підприємствами існуючого парку електричних машин (ЕМ) є визначення їх залишкового ресурсу наробітку на відмову, а також розробка заходів щодо можливого його підвищення. Розв'язок цього завдання прямо пов'язаний з підвищенням ефективності роботи обладнання, до складу якого входять дані ЕМ, так як дозволяє знизити простой при їх виході з ладу, правильно розподіляючи резерви електрообладнання в межах підприємства.

Розглянута проблема стає ще більш гострою відносно електричних машин, що раніше підлягали капітальному ремонту, кількість яких складає від 50

до 75% від загального парку для підприємств різних галузей промисловості. Складність завдання тут полягає у тому, що капітальний ремонт практично завжди приводить до зміни їх паспортних даних і робочих параметрів, що підтверджується роботами як вітчизняних [1, 2], так і закордонних дослідників [3, 4]. При цьому відсутність однозначних способів визначення повного набору параметрів відремонтованих електричних машин не дозволяє оцінити можливості їх експлуатації у складі виробничого обладнання. До того ж визначення паспортних даних у ході післяремонтних випробувань дозволяє у більшості випадків просто констатувати факт непридат-

ності до експлуатації ЕМ, на відновлення якої вже витрачені певні кошти.

Відомо, що зміна параметрів відремонтованих машин відбувається як внаслідок порушення технології ремонту, так і через погіршення властивостей основних конструктивних матеріалів, у першу чергу шихтованих осердь. Виходячи із цього, необхідно оцінювати вплив останнього на параметри ЕМ на етапі до укладання нової обмотки, що дає можливість оцінити доцільність наступного ремонту.

Комбінація таких випробувань із післяремонтними з наступною сертифікацією дозволить дати відповіді на всі поставлені питання, розробивши систему найбільш ефективних з економічної точки зору заходів, пов'язаних з підтримкою працездатності й обґрунтованим відновленням парку ЕМ промислових підприємств.

Метою роботи є економічне обґрунтування структури системи комплексних випробувань і сертифікації електричних машин у ході ремонту, спрямованих на підвищення ефективності експлуатації, збереження працездатності й розробку програми раціонального відновлення парку ЕМ промислових підприємств.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Аналізуючи існуючі методи забезпечення надійності й ефективності експлуатації електричних машин по частоті, характері робіт і ефективності, їх можна розбити на дві основні групи:

- проведення планово-попереджувальних ремонтних робіт з періодичністю, зазначеною виробником або відповідно до міжремонтних циклів, установлених ремонтними службами підприємства;
- застосування систем моніторингу, що здійснюють безперервний або періодичний контроль обладнання безпосередньо у процесі його експлуатації.

Необхідність і доцільність планово-попереджувальних ремонтів обумовлена тим, що для одержання повної й достовірної інформації про технічний стан ЕМ у складі будь-якої промислової установки без припинення її роботи з наступним вилученням і повним або частковим розбиранням практично неможливо. При цьому існує ймовірність невірного визначення міжремонтного періоду: у випадку, якщо він менше реального – виникає ризик аварійної ситуації; якщо ж ЕМ підлягають обстеженню частіше, ніж того вимагає їх технічний стан, мають місце невиправдані матеріальні витрати, а також вносяться непередбачувані дефекти в конструктивні частини машини, які неминучі внаслідок недосконалості існуючих технологій ремонту.

Застосування моніторингових систем із вбудованими в обладнання вузлами захистів і блокувань значною мірою знижує ризик аварійних ситуацій [5]. Подібні системи дозволяють:

- визначати основні uszkodження конструктивних елементів машини;
- вчасно вивести ЕМ з експлуатації, у випадку, якщо контрольовані параметри досягли критичних значень;
- прогнозувати період безвідмовної роботи машини з урахуванням зміни умов її експлуатації.

Основним обмеженням у застосуванні подібних систем є той факт, що, поряд із значними капітальними витратами, вони не визначають зміни параметрів і характеристик ЕМ, оцінюючи працездатність на підставі досить неточних уявлень про причини виникнення й закономірності розвитку дефектів. А якщо до цього додати той факт, що багато видів дефектів, особливо на ранніх стадіях розвитку, проявляють себе або нехарактерною або незначною зміною контрольованих параметрів, можна дійти висновку, що системи моніторингу найчастіше оцінюють тільки фактичну працездатність і дають прогноз наробітку на відмову тільки на незначний період часу.

Таким чином, за допомогою наведених методів завдання забезпечення надійності роботи обладнання зводиться до попередження аварій і прогнозованому виходу з ладу ЕМ, що значною мірою скорочує матеріальний збиток від позапланових простоїв обладнання й витрат на ремонтно-відновлювальні роботи.

Однак, при всіх перерахованих перевагах існуючих технологій контролю й ремонту, завдання збереження працездатності наявного парку ЕМ залишається невирішеним. Про це свідчить тенденція зростання числа повторних ремонтів експлуатованих машин і відповідно скорочення часу їх наробітку на відмову. Отже, необхідний пошук ефективних способів підвищення робочого ресурсу ЕМ, що можливо як у ході їх ремонту, так і в процесі післяремонтної експлуатації.

Одним з напрямків розв'язку поставлених питань є введення до програми випробувань, проведених у процесі ремонту, діагностики шихтованих осердь ЕМ [6].

Особлива увага до даної конструктивної складової пояснюється тим, що шихтовані осердя становлять основу магнітної системи ЕМ і безпосередньо впливають на якість і надійність їх роботи. Оскільки повністю замінити даний конструктивний елемент ЕМ або відновити його вихідну структурну цілісність у процесі ремонту неможливо, зміна його електричних і магнітних властивостей, а також наявність ушкоджень носять накопичувальний характер.

Відповідно до загальної схеми етапів ремонтних робіт (рис. 1) діагностику осердь статорів доцільно проводити після повного розбирання ЕМ, що обумовлено наступними причинами:

- високий ступінь ушкодження осердя при демонтажі з пазів ушкодженої обмотки, що знижує вірогідність діагностики, проведеної на передремонтному етапі до розбирання ЕМ;
- високий відсоток відбраковування машин при післяремонтних випробуваннях.

Таким чином, повинне вирішуватися завдання прогнозування паспортних даних відремонтованої машини зі зміненим станом осердя, з метою оцінки доцільності проведення ремонту. Проблема полягає у тому, що найчастіше висновок про непридатність ЕМ до експлуатації роблять на основі результатів післяремонтних випробувань, внаслідок чого витрати на її ремонт виявляються невиправданими.

Рисунок 1 – Основні етапи процесу ремонту ЕМ

Одержувані у ході діагностики осердь дані дозволяють:

1. Визначати точне місце розташування ушкоджених ділянок, що дає можливість сформулювати рекомендації щодо ремонту осердя.

2. Проводити перерахунок обмотувальних даних ЕМ на основі інформації про розподіл втрат в осерді [7].

3. Прогнозувати робочий ресурс відремонтованої машини. Передумовами для цього можуть бути приклади отриманих експериментально емпіричних математичних співвідношень, що описують залежності відмов ЕМ від ряду найпоширеніших причин виходу з ладу, періоду експлуатації й попереднього числа ремонтів [8–10].

Загальний вид таких моделей представляється у формі суперпозицій законів Вейбула з відповідними ваговими коефіцієнтами для різних інтервалів наробітку:

$$F(t) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot F_i(t) = \sum_{i=1}^n c_i \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{a_i} \right)^{b_i} \right] \right\}, \quad (1)$$

де n – кількість інтервалів; c_i – ваговий коефіцієнт; b_i , a_i – параметри закону розподілу Вейбула на i -му інтервалі.

Параметри закону Вейбула визначаються шляхом обробки статистичних даних по експлуатації ЕМ з певними видами дефектів:

– відмови розділяються на незалежні групи залежно від причини виходу з ладу ЕМ та від умов експлуатації. При цьому на основі результатів діагностики осердь пропонується додатково класифікувати відмови залежно від стану магнітної системи статора. Загальна інтенсивність відмов ЕМ при цьо-

му представляється як сукупність інтенсивностей відмов окремих розглянутих груп:

$$\lambda_p(t) = \lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \lambda_3(t) + \dots + \lambda_n(t), \quad (2)$$

де $\lambda_i(t)$ – інтенсивність відмов для кожної з розглянутих груп, $\lambda_p(t)$ – результуюча інтенсивність відмов.

– визначаються закони розподілу відмов у часі, що дозволяють простежити взаємозв'язок змін значень діагностичних параметрів зі зміною міжремонтного періоду для досліджуваної ЕМ;

– перераховуються значення ймовірності безвідмовної роботи ЕМ для будь-якого моменту часу. Виходячи з умови відсутності явного взаємозв'язку між розглянутими групами, результуюча ймовірність безвідмовної роботи з урахуванням усіх видів відмов представляється у формі наступного співвідношення:

$$P_p(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \cdot \dots \cdot P_n(t), \quad (3)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи для кожної з розглянутих груп, а $P_p(t)$ – загальна ймовірність безвідмовної роботи, отримана з урахуванням усіх видів відмов.

4. Визначати припустимі режими післяремонтної експлуатації ЕМ. Доповнюючи результати післяремонтних випробувань, діагностика шихтованих осердь надає інформацію, що дозволяє прийняти найбільш раціональний розв'язок у визначенні припустимих навантажень й характеру роботи машини після ремонту. При зіставленні перевизначених паспортних даних і робочих характеристик відремонтованої ЕМ з вимогами, обумовленими режимами роботи установки, у складі якої вона експлуатувалася до ремонту, і її реальними навантажувальними діаграмами, можливі декілька варіантів розв'язку щодо подальшої післяремонтної експлуатації (рис. 2):

– значення параметрів відремонтованої ЕМ відповідають номінальним (необхідним) – машина повертається на колишнє місце експлуатації;

– ЕМ зберігає працездатність, однак її робочі параметри не відповідають умовам експлуатації на установці, у складі якої вона працювала до ремонту (номінальна потужність, що розвивається на валу двигуна, менше необхідного значення або інші причини). В останньому випадку також можливі декілька варіантів;

– ЕМ повертається на установку й працює у попередніх режимах експлуатації, при цьому закономірним є зниження надійності її роботи, а значить скорочується й час наробітку на відмову (головним чином внаслідок невідповідності теплового режиму роботи припустимому);

– якщо установка дозволяє експлуатувати ЕМ у припустимих по нагріванню режимах – підвищується надійність роботи машини, підтримуються більш економічні режими енергоспоживання (у випадку, якщо при проектуванні установки ЕМ обрана із запасом за потужністю);

Рисунок 2 – Вибір умов та місця післяремонтної експлуатації ЕМ

– у випадку, якщо машина працездатна, але експлуатація на колишньому місці неможлива, постає питання про оцінку залишкової вартості ЕМ з метою її наступної реалізації.

5. Скоротити потік машин, що відбраковуються, на етапі післяремонтних випробувань за рахунок попереднього відбраковування їх у ході ремонту через незадовільний стан магнітної системи й відповідно виключити збитки, пов'язані з витратами на їх відновлення.

Для прийняття оптимального з технічної й економічної точки зору рішення необхідно, щоб у кожному окремому випадку враховувався минулий досвід експлуатації відносно числа й характеру ремонтів, а також виконувались економічні розрахунки

кожного з можливих варіантів (відповідно до наведеного вище переліку). Таким чином, необхідно, щоб у розпорядженні ремонтного підрозділу була база даних, куди повинна бути зведена інформація про кожну ЕМ, що перебуває в експлуатації (рис. 3), а саме:

- паспортні дані й робочі характеристики;
- кількість, причина та регламент кожного з ремонтів (при цьому за можливістю повинний бути зазначений перелік конструктивних елементів машини, замінені або модернізовані у процесі ремонту);
- відомості про призначення й місце експлуатації ремонтної ЕМ із зазначенням вимог, яким вона повинна відповідати.

Рисунок 3 – Схема формування бази даних

Подібна інформація є основою для прогнозування надійності й визначення можливостей післяремонтної експлуатації машини. На підставі цього, у свою чергу, можна прорахувати передбачуваний (або очікуваний) обсяг витрат на ремонт разом із супутнім збитком від простою обладнання для визначення доцільності відновлення ЕМ і економічно зіставити їх з витратами на покупку нової.

Поступово, по ходу виконання ремонтних робіт, формування подібної бази даних для всього переліку наявних в експлуатації машин надає можливість розробити «безболісний» відносно економічних витрат план відновлення машинного парку промислових підприємств.

ВИСНОВКИ. 1. Обґрунтована необхідність тестування шихтованих осердь ЕМ, як незамінної та не підлягаючої повному відновленню у процесі ремонту конструктивної складової, яка є основним елементом магнітної системи і обумовлює безпосередній вплив на надійність роботи відремонтованої машини.

2. Проведення діагностики до повного збирання ЕМ дозволяє врахувати зміну властивостей осердя, сформувавши відповідні рекомендації з підвищення якості ремонтних робіт і зробити перерахунок паспортних даних відремонтованої ЕМ. Як результат, подібні заходи дають можливість скоротити число машин, що відбраковуються на етапі післяремонтних випробувань.

3. Формування бази даних за результатами діагностики, проведеної у процесі кожного наступного ремонту, з урахуванням попереднього досвіду експлуатації ЕМ, дозволяє прогнозувати їх працездатність при різних умовах і режимах роботи. Останнє дає можливість отримати найбільш раціональний розв'язок відносно місця й умов післяремонтної експлуатації ЕМ.

4. У сукупності одержувана у результаті діагностики інформація дає можливість підвищити якість ремонту, ефективність післяремонтної експлуатації ЕМ та економічно обґрунтовано проводити відновлення електромашинного парку промислових підприємств.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анемподистов В. П., Белонин В. К., Дегусаров Ю. А. и др. (1982), “Выявление местных нагрет-

вов сердечников статора”, *Электротехника*, 1982, № 10, С. 62–63.

2. Прус В. В., Кирьянов О. Ф., Гераскин А. С. “Оценка эксплуатационных параметров отремонтированных асинхронных двигателей” *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ*, Кременчук: КДПУ, 2002, Вип. 1/2002 (12), С. 174–179.

3. “Verkauf von gebrauchten Elektromaschinen” *Elektrische Maschinen*, 1988, Bd 66, № 12, S. 337–338.

4. Hamid A. Toliyat, Subhasis Nandi, Seungdeog Choi, Homayoun Meshgin-Kelk (2012), *Electric Machines: Modeling, Condition Monitoring, and Fault Diagnosis*, CRC Press.

5. Киричков В. А., Черный А. П., Лашко Ю. В. “Микропроцессорный комплекс энергомониторинга качества преобразования энергии двигателей переменного тока”, *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ*, Кременчук: КДПУ, 2006, Вип. 3/2006 (38), С. 71–74.

6. Суторміна А. О., Прус В. В. “Діагностика шихтованих пакетів сталі та сердечників електричних машин індукційним методом при зміні амплітуди та частоти напруги живлення”, *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ*, Кременчук: КДПУ, 2006, Вип. 4/2006 (39), С. 130–138.

7. Прус В. В. “Повышение надежности асинхронных двигателей в процессе ремонта путем перепроектирования обмоточных данных статора”, *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ*, Кременчук: КДПУ, 2003, Вип. 2/2003 (19), С. 214–218.

8. Котеленец Н. Ф., Кузнецов Н. Л. *Испытание и надежность электрических машин*, М.: Высшая школа, 1988.

9. Zagirnyak M., Prus V., Somka O., Dolezel I. “Models of Reliability Prediction of Electric Machine Taking into Account the State of Major Structural Units”, *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 13, no. 5, pp. 447–452.

10. Zagirnyak M., Prus V. “Use of neuronets in problems of forecasting the reliability of electric machines with a high degree of mean time between failures,” *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, R. 92, № 1, pp. 132–135.

THE WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF REPAIR AND POST-REPAIR OPERATION OF ELECTRIC MACHINES

V. Prus, O. Somka

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: prus@kdu.edu.ua

O. Dehtiarenko

PJSC “Azovstal iron & steel works”
vul. Leporskogo, 1, Mariupol, 87500, Ukraine.

Purpose. At present generalized research results are known regarding changes in the properties of sheet electrical steel under the influence of its magnetization reversal modes during long-term operation of electromechanical devices. At the same time, there are peculiarities of the laminated steel aging of the electric machines cores, which are fundamentally different from sheet steel and result in a significant change in the basic parameters and characteristics of electric machines, which is practically not taken into account in their further operation. Economic substantiation of the structure of the complex testing and certification system of electric machines during repair is aimed at increasing the efficiency of operation, maintaining operability and developing a program for rational renewal of the electric machines stock at industrial enterprises. **Methodology.** The research used the methods of the theory of reliability of electric

machines, the provisions of technical diagnostics and approaches to a complex assessment of the economic efficiency of technical systems. **Results.** The necessity of diagnostics of laminated cores at the repair stage has been substantiated in order to ensure the quality of repairing work, redefine the published data and performance characteristics and improve the operational reliability of electric machines. **Originality.** The main possibilities and prospects of using the results of diagnostics with laminated cores, enabling the improvement of the quality of repair and the efficiency of post-repair operation of repaired electric machines, are stated. **Practical value.** The obtained results allow increasing the energy efficiency and reliability of repaired electric machines, and also make it possible to economically justify the restoration of the electric machines stock at industrial enterprises. References 10, figures 3.

Key words: electric machine, laminated core, technical monitoring, reliability, post-repair operation.

REFERENCES

1. Anempodistov, V. P., Belonin, V. K., Degusarov, Yu. A. i dr. (1982), "Vyyavlenie mestnykh nagrevov serdechnikov statora" [The identification of local heating of the stator cores], *Elektrotehnika*, 1982, №10, S. 62-63.
2. Prus, V. V., Kiryanov, O. F., Geraskin, A. S. (2002), "Otsenka ekspluatatsionnykh parametrov otmontirovannykh asinhronnykh dvigateley" [The assessment of the operation parameters of the repaired induction motors], *Visnik Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu: Naukovi pratsi KDPU*, Kremenchuk: KDPU, 2002, Vip. 1/2002 (12), S. 174-179.
3. (1988), "Verkauf von gebrauchten Elektromaschinen" *Elektrische Maschinen*, Bd 66, №12, S. 337-338.
4. Hamid A. Toliyat, Subhasis Nandi, Seungdeog Choi, Homayoun Meshgin-Kelk (2012), *Electric Machines: Modeling, Condition Monitoring, and Fault Diagnosis*, CRC Press.
5. Kirichkov, V. A., Cherniy, A. P., Lashko, Yu. V. (2006), "Mikroprotsessornyiy kompleks energomonitoringa kachestva. Preobrazovaniya energii dvigateley peremennogo toka" [A microprocessor complex of electrical monitoring of the quality of the conversion of the energy of alternating current motors], *Visnyk Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu: Naukovi pratsi KDPU*, Kremenchuk: KDPU, 2006, Vyp. 3/2006 (38), S. 71-74.
6. Sutormina, A. O., Prus, V. V. (2006), "Dyagnostyka shyxtovanykh paketiv stali ta serdechnykh" elektrychnykh mashyn indukciynym metodom pry zmini amplitudy ta chastoty napru gyzhyvlennya" [The diagnostics of the electric machine laminated cores by means of an induction method with the variation of the amplitude and frequency of the supply voltage], *Visnyk Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu: Naukovi pratsi KDPU*, Kremenchuk: KDPU, 2006, Vyp. 4/2006 (39), S.130 -138.
7. Prus, V. V. (2003), "Povyishenie nadezhnosti asinhronnykh dvigateley v protsesse remonta putem pereproektirovaniya obmotochnykh dannykh statora" [The improvement of the quality of induction motors in the process of repair due to the re-design of the stator winding data], *Visnyk Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu: Naukovi pratsi KDPU*, Kremenchuk: KDPU, 2003, Vip. 2/2003 (19), S. 214-218.
8. Kotelenets, N. F., Kuznetsov, N. L. (1988), *Ispytanie i nadezhnost elektricheskikh mashin* [Testing and reliability of electric machines], Moscow, Vysshaya shkola.
9. Zagirnyak, M., Prus, V., Somka, O., Dolezel, I. (2015), "Models of Reliability Prediction of Electric Machine Taking into Account the State of Major Structural Units", *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 13, no. 5, pp. 447-452.
10. Zagirnyak, M., Prus, V. (2016), "Use of neuronets in problems of forecasting the reliability of electric machines with a high degree of mean time between failures," *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, R. 92, № 1, pp. 132-135.

Стаття надійшла 13.07.2020.