

Є. В. МГЛИНЕЦЬ, М. Ю. МАНДРОВСЬКИЙ, М. Ф. ЧЕКАРАМІТ, О. Ю. ЮР'ЄВА

МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ У РОЗВИТКУ В МІЖПОЛЮСНИХ ПЕРЕМИЧКАХ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Подано принципи виявлення пошкоджень синхронних двигунів в процесі експлуатації. З'ясовано доцільність виявлення дефектів у розвитку під час технічного обслуговування синхронних двигунів. Виявлено та обґрунтовано причини виходу з ладу синхронних двигунів прокатного стану. При належній експлуатації найслабшим місцем є міжполюсна перемичка, яка з'єднує котушки полюсів в обмотку збудження. Обґрунтовано вплив перехідного опору місця з'єднання міжполюсних перемичок на тепловий стан ротора в цілому. Розроблено метод тест-режиму для діагностування дефектів у розвитку в міжполюсних перемичках за допомогою тепловізійного контролю. Проведено апробацію запропонованого методу на синхронних двигунах прокатного цеху. Достовірність методу підтверджено вимірюванням перехідного опору у місці з'єднання та капілярним методом. Створено рекомендації щодо застосування методу тест-режиму при експлуатації синхронних двигунів в умовах безперервного виробництва.

Ключові слова: синхронний двигун, дефекти у розвитку, діагностика, динамічні навантаження, тепловізійний контроль, перехідний опір місця з'єднання міжполюсних перемичок.

Наведені принципи виявлення пошкоджень синхронних двигателів в процесі експлуатації. Вияснена цілесобразність виявлення розвиваючихся дефектів во время технического обслуживания синхронных двигателей. Выявлены и обоснованы причины выхода из строя синхронных двигателей прокатного стана. При надлежащей эксплуатации слабым местом является межполюсная перемычка, соединяющая катушки полюсов в обмотку возбуждения. Обосновано влияние переходного сопротивления места соединения межполюсных перемычек на тепловое состояние ротора в целом. Разработан метод тест-режима для диагностирования развивающихся дефектов в межполюсных перемычках с помощью тепловизионного контроля. Проведена апробация предложенного метода на синхронных двигателях прокатного цеха. Достоверность метода подтверждена измерением переходного сопротивления в месте соединения и капиллярным методом. Созданы рекомендации по применению метода тест-режима при эксплуатации синхронных двигателей в условиях непрерывного производства.

Ключевые слова: синхронный двигатель, развивающиеся дефекты, диагностика, динамические нагрузки, тепловизионный контроль, переходное сопротивление места соединения межполюсных перемычек.

The principles of damage detection of synchronous motors during operation are presented. The expediency of detecting developing defects in synchronous motors maintenance has been determined. The reasons for failure of synchronous motors of rolling mill are identified and substantiated. In proper use, the weakest point is the inter-pole connector that connects the coils of the poles in the excitation winding. The action of the contact resistance of the inter-pole connector on the thermal condition of the rotor as a whole is substantiated. The test mode method is developed to diagnose developing defects in inter-pole connector by thermal imaging control. The proposed method was tested on synchronous motors of rolling mill. The accuracy of the method is confirmed by the measurement of the contact resistance at the inter-pole connector joint and the capillary method. Recommendations were made for the application of the test mode method for the operation of synchronous motors in the conditions of continuous production.

Keywords: synchronous motor, developmental defects, diagnostics, dynamic loads, thermal imaging control, contact resistance of inter-pole connector joint.

Постановка проблеми. Для забезпечення надійної роботи синхронних двигунів в умовах експлуатації необхідно своєчасне виявлення можливих пошкоджень вузлів та деталей електричної машини. Синхронні двигуни електромагнітного збудження середньої та великої потужності працюють в умовах безперервної роботи – двигуни припиняють роботу тільки для проведення поточного або капітального ремонтів із періодичністю, що визначається підприємством, де експлуатується електрична машина. Технічне обслуговування синхронних двигунів з періодичністю до 12 місяців скорочує кількість відмов на рік в шість разів у порівнянні з періодичністю від 13 до 24 місяців [1]. Але виведення з експлуатації синхронного двигуна для проведення технічного обслуговування призводить до зупинки виробництва, що, в свою чергу, відбивається на недоотриманні прибутків підприємства.

Виявлення ознак несправності є важливою задачею при експлуатації синхронних двигунів.

Основні можливості містять використання систем безперервного контролю температури та вібрації та застосування технологій і практик технічного обслуговування, які дозволяють уникнути або виявити електричні та механічні несправності. Результатом є скорочення відмов приблизно на дві третини і значне скорочення простоїв виробництва [1].

Більшість методів діагностування ушкоджень, що існують натеper, дозволяють виявити дефекти, що вже розвинулися та призводять до ускладнень роботи синхронних двигунів [2].

З огляду на зростаючі вимоги до підвищення надійності устаткування і скорочення коштів на проведення капітальних ремонтів, пошуку заходів щодо виявлення прихованих дефектів та дефектів у розвитку і запобіганню виходу з ладу обладнання приділяється велика увага [2].

Синхронні двигуни електромагнітного збудження середньої та великої потужності виконуються із явно вираженими полюсами. Це обумовлено можливістю розташування обмотки збудження із необхідною кількістю витків. Явнополюсне виконання ротора має значно меншу механічну міцність у порівнянні з неявнополюсним. З досвіду експлуатації відомо, що при належній експлуатації найслабшим місцем синхронного двигуна є місце з'єднання котушок обмотки збудження двох сусідніх полюсів – міжполюсна перемичка (рис. 1). Міжполюсні перемички з'єднують котушки полюсів в одне електричне коло, що утворює обмотку збудження. Міжполюсні перемички та котушки полюсів в синхронних двигунах середньої потужності з'єднуються між собою спаюванням. Таким самим чином здійснюється кріплення вивідних кінців обмотки збудження до струмознімальних кілець.



а



б

Рис. 1 – Міжполюсні перемички синхронного двигуна СДС-17-94/10: а – під полюсним наконечником; б – над остовом ротора

Метою роботи є визначення умов і розробка заходів щодо виявлення на ранній стадії прихованих дефектів в міжполюсних перемичках явнополюсних синхронних двигунів для запобігання виходу з ладу електромагнітної системи ротора.

Аналіз проблеми. В листопрокатному цеху ЛПЦ-1700 на ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» головними приводами чорнової групи клітей є шість синхронних двигунів типу СДС-17-94/10, потужністю 4000 кВт, напругою живлення 10000 В, частотою обертання 600 об/хв, 1961 року випуску. В період експлуатації цих синхронних двигунів неодноразово фіксувалися випадки руйнування міжполюсних перемичок (рис. 2), що призводило до зупинки прокатного виробництва і тривалого відновлювального ремонту ротора двигуна залежно від характеру руйнувань.

Із розвитком первинних засобів діагностики, а особливо з появою тепловізорів, з'явилась можливість діагностування електричних машин під час їхньої роботи [3]. При експлуатації синхронних двигунів було зафіксовано, що деякі міжполюсні перемички нагріті більше, ніж інші, або спостерігається загальний нерівномірний нагрів полюсів.



Рис. 2 – Випадки руйнувань міжполюсних перемичок

Причини виникнення дефектів міжполюсних перемичок. На цілісність міжполюсних перемичок впливають температурні та динамічні навантаження, дія яких пов'язана між собою. В результаті дії відцентрових сил місце з'єднання міжполюсних перемичок втрачає цілісність і, як результат, збільшується перехідний опір у місці з'єднання. Це спричиняє підвищення температури міжполюсних з'єднань. Через високу теплопровідність міді тепло передається і в саму котушку обмотки. Це призводить до подальшого руйнування. Розвиток дефекту призводить до виплавлення міді обмотки та руйнування ізоляційного покриття. Збільшення перехідного опору і струму в роторному колі так само загрожує міжвитковим замиканням в полюсних котушках і замиканням на корпус.

Для фізичного розуміння перехідного опору місця з'єднання можна скористатись теорією електричних контактів в електричних апаратах [4].

Як відомо, активний опір провідника довжиною l площею поперечного перерізу S , виконаний з матеріалу з питомим опором ρ ,

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (1)$$

При визначенні перехідного опору плоского контакту в (1) за довжину провідника береться середня висота мікронерівностей поверхні контакту h_R , яка визначається класом обробки поверхні. Для міжполюсних перемичок шорсткість поверхні $Ra_{6,3}$, тобто середня висота мікронерівностей поверхні контакту становить 6,3 мкм [5].

Для пластичних деформацій, які виникають при контакті поверхонь міжполюсних перемичок, площею поперечного перерізу S в формулі (1) є корисна площа контактування S_c , яка визначається силою контактного натискання F_c та границею міцності матеріалу (міді) σ ,

$$S_c = \frac{F_c}{\sigma}. \quad (2)$$

Таким чином, перехідний опір місця з'єднання міжполюсних перемичок

$$R_c = \rho \cdot \sigma \cdot \frac{h_R}{F_c}. \quad (3)$$

З виразу (3) виходить, що перехідний опір визначається силою контактного натискання, якістю обробки поверхні, електричними і механічними властивостями матеріалу міжполюсних перемичок.

Наявність динамічних навантажень в процесі експлуатації призводить до утворення тріщин в середині та на поверхні міжполюсних перемичок. Це погіршує механічну міцність і зменшує силу контактного натискання, викликаючи тим самим нагрівання, що призводить до подальшого руйнування міжполюсних перемичок та обмотки ротора в цілому під впливом температури (рис. 3).



Рис. 3 – Ділянки міжполюсних перемичок, зруйнованих впливом температури (а) та динамічними навантаженнями (б)

Беручи до уваги руйнівні дії відцентрових сил на пайку перемичок, де з'являються мікротріщини, що сприяє зменшенню контактного натискання, розшарування контактів і зростання перехідного опору.

У період капітального ремонту при розбиранні машини такі руйнування виявляють і відновлюють цілісність з'єднання перемичок спаюванням. Дані дефекти складно виявити на ранніх стадіях розвитку і при несвоєчасному їх виявленні відбувається вихід з ладу електромагнітної системи ротора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З проблемою виходу з ладу синхронних двигунів через пошкодження міжполюсних перемичок стикалися всі підприємства, які використовують синхронні двигуни у своєму виробництві. Одним із заходів, що застосовують на металургійних підприємствах компанії «Северсталь» (Російська Федерація), є встановлення сталевих або силумінових розпірок між полюсами в період капітального ремонту. Цей захід передбачає внесення змін у конструкцію ротора синхронного двигуна. Така конструкція кріплення міжполюсних розпірок наводиться у книзі О.Є. Алексєєва «Конструкция электрических машин» видання 1949 року (рис. 4). Від застосування такого кріплення відмовились у 60-х роках минулого століття через виникнення вихрових струмів в сталевих елементах конструкції, що підвищує температуру синхронного двигуна в динамічних режимах.

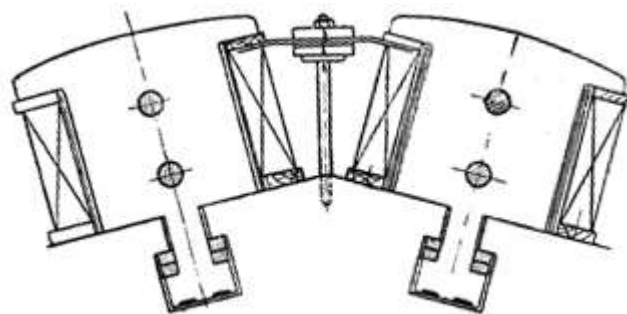


Рис. 4 – Конструкція міжполюсних розпірок

Пошуку рішень з діагностики та усунення дефектів в місцях з'єднання перемичок між полюсними котушками явнопольсних роторів синхронних машин в період середніх і планових ремонтів для запобігання виходу їх з ладу не приділяється належної уваги. Можливо в умовах промислових підприємств якісь конструктивні рішення або методи застосовуються, але в науково-технічній літературі дані з зазначених питань відсутні.

Діагностування дефектів, що розвиваються, в міжполюсних перемичках методом тест-режиму. На ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» під час проведення реконструкції цеху в 2019 році був розроблений метод діагностування для своєчасного виявлення дефектів, що розвиваються, в міжполюсних перемичках.

Запропонований метод діагностування полягає в такому. На обмотку ротора від тиристорного перетворювача, який є штатним для синхронного двигуна, подається постійний струм протягом від трьох до п'яти хвилин. Тиристорний перетворювач переводиться в тест-режим (режим для проведення випробування на відповідність вихідним даним перетворювача).

ча). Струм тиристорного перетворювача в тест-режимі відповідає струму збудження синхронного двигуна в номінальному режимі. Наприклад, для синхронного двигуна СДС-17-94/10 номінальною потужністю 4000 кВт·А в номінальному режимі при коефіцієнті потужності $\cos\phi = 0,8$ струм збудження становить 300 А, який отримується від тиристорного перетворювача, у якого струм тест-режиму становить 260 А – 280 А. При проходженні струму обмотка збудження нагрівається, і при наявності місць з більшим активним опором нагрівання відбувається сильніше. Далі виконується термографія полюсів і міжполюсних перемичок для виявлення місцевих перегрівів, які свідчитимуть про виникнення мікротріщин на перемичці. Запропонований метод діагностики отримав назву «метод тест-режиму».

Апробація методу діагностики. Метод тест-режиму був апробований при перевалці (заміні) валків в кліті прокатного стану листопрокатного цеху ЛПЦ-1700 на ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча». Для виконання цього технологічного процесу синхронний двигун, який працював у номінальному режимі, зупиняється, ремонтна бригада отримує допуск для проведення технічного обслуговування. Одразу після зняття захисних кожухів фіксується температура на міжполюсних перемичках та вивідних кінцях обмотки збудження (рис. 5).

Після вимірювання температури на всіх міжполюсних перемичках та вивідних кінцях через тиристорний перетворювач на обмотку збудження подається струм тест-режиму і через 3–5 хвилин знов фіксується температура.

Вимірювання були виконано на дев'яти міжполюсних перемичках (від 1-2 до 9-10) та двох вивідних кінцях з обмотки (1, 10) шести синхронних двигунів (СД1 – СД6) типу СДС-17-94/10 (табл. 1). Після проведення діагностики методом тест-режиму було виявлено відхилення температури на чотирьох синхронних двигунах з шести (див. табл. 1, затінені клітинки).

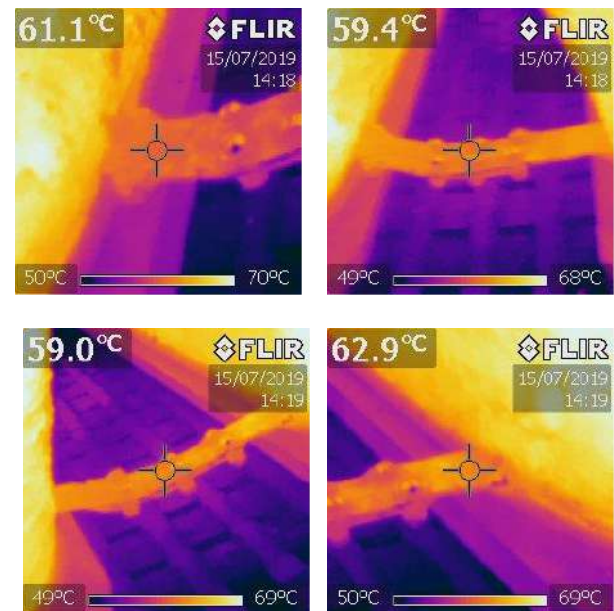


Рис. 5 – Термограми полюсної перемички при проведенні тест-режиму

Таблиця 1 – Тепловізійні заміри температури міжполюсних перемичок та вивідних кінців при тест-режимі

Номери перемичок і вивідних кінців	Температура на початку та наприкінці проведення діагностики методом тест-режиму, °C											
	СД1		СД2		СД3		СД4		СД5		СД6	
1	64	90	79,9	92	48,9	51	50,9	52	48	57	46,7	48
1-2	60,7	63	59,5	61	57,6	62	60	64	64,8	70	62,1	61
2-3	51,5	57	56,5	56	56	59	52,7	58	65,5	70	52,1	47
3-4	59,8	61	60,3	62	61,5	63	59,7	62	72,9	69	57,4	62,2
4-5	51,1	55	53,5	57	52,3	57	56,6	58	65,6	73	55	55
5-6	56,2	59	59,3	60	61,2	64	60,1	61	68,6	75	64,2	63,4
6-7	49,2	54	49,2	60	54,1	60	55,7	60	61,7	70	56,2	58
7-8	61,6	65,1	61,4	63	59,8	65	61,9	63	58	75	61,4	60,5
8-9	51,9	57	55	60	56,3	63	58	62	65,6	68	51	50
9-10	62	65	60	64	60	67	64,8	66	73	79,3	77,9	78
10	68	112	61	114	49,5	52	52	52	53	57	48,6	52

Для підтвердження достовірності запропонованого методу було виміряно перехідний опір на всіх міжполюсних перемичках та вивідних кінцях (табл. 2, лівий підстовпець стовпців СД1 – СД6). Перехідний опір вимірювався промисловим мікроомметром МИКО-1, призначеним саме для таких вимірювань [6]. Перевищення перехідного опору спостерігалось на тих самих міжполюсних перемичках та вивідних кінцях, де було зафіксовано суттєве збільшення темпера-

тури або висока початкова температура (див. табл. 2, затінені клітинки).

Наявність мікротріщин в міжполюсних перемичках зі збільшеним перехідним опором була підтверджена капілярним методом контролю в зонах можливого доступу. Для цього міжполюсні перемички були зачищені від ізоляції та знежирені, пофарбовані індикаторним пенетрантом та оброблені проявником (рис. 5). Наявність мікротріщин спостерігалась на всіх міжполюсних перемичках та вивідних кінцях з підви-

щеною температурою. Використовувалась система капілярного контролю Helling Nord-Test. Треба зауважити, що перевірка однієї міжполюсної перемички капілярним методом триває до п'ятнадцяти хвилин.

Перевірка достовірності методу тест-режиму довела, що підвищення температури міжполюсної перемички свідчить про наявність мікротріщин і, як наслідок, збільшення перехідного опору.

Таблиця 2 - Заміри перехідного опору міжполюсних перемичок

Номери перемичок і вивідних кінців	Перехідний опір до та після ремонту, мкОм											
	СД1		СД2		СД3		СД4		СД5		СД6	
1	181,9	20,2	338	20,2	16,5	–	12	–	21,1	–	20,6	–
1-2	21,9	–	21,6	–	18,3	–	17,8	–	35,8	–	12,8	–
2-3	11,9	–	16,3	–	25,2	–	22,1	–	31,3	–	20,1	–
3-4	22,3	–	23,1	–	17	–	21,2	–	20,6	–	16,7	–
4-5	15,6	–	20,3	–	29,1	–	26,2	–	38,8	–	14,6	–
5-6	11,3	–	20,1	–	13,5	–	20,4	–	360,3	21,2	15,2	–
6-7	19,7	–	18,5	–	18,6	–	23,1	–	37,8	–	17,2	–
7-8	23,3	–	18,3	–	17,6	–	15	–	192,1	20,2	21,2	–
8-9	11,2	–	17,9	–	19,2	–	16,2	–	16,3	–	19,1	–
9-10	16,8	–	19,8	–	13,8	–	24,7	–	320,3	21,9	264,3	13,5
10	609	14,3	436,4	30,2	15,3	–	16,1	–	22,1	–	19,8	–



а



б

Рис. 5 – Міжполюсні перемички без дефектів (а) та з дефектами на виході з катушки обмотки збудження (б)

Аналізуючи результати діагностування, можна зробити висновок, що міжполюсна перемичка знаходиться в задовільному стані, якщо відносне змінення температури на початку та наприкінці проведення діагностування методом тест-режиму не перевищує 20 %.

На основі табл. 1 рекомендується створити контрольну карту технологічного процесу діагностування стану міжполюсних перемичок синхронного двигуна. По кожному двигуну, що знаходиться на технічному обслуговуванні, за результатами тепловізійного заміру температури вибираються ті міжполюсні перемички, температура яких більша за інших на початку та наприкінці або не змінилась під час проведення діагностування методом тест-режиму. Далі приймається рішення про ремонт конкретних вузлів обмотки ротора.

Висновки. На прикладі діагностики міжполюсних перемичок та вивідних кінців обмотки ротора синхронних двигунів СДС-17-94/10, які є головними приводами чорнової групи клітей стану ЛПЦ-1700 ПрАТ «Мариупольський металургійний комбінат імені Ілліча», доведено, що застосування методу тест-режиму при введенні в експлуатацію, проведенні середніх та капітальних ремонтів дозволить своєчасно виявляти дефекти у розвитку міжполюсної перемички та своєчасно запобігати позаплановому виходу з ладу синхронного двигуна.

Відносне перевищення температури, заміряне методом тест-режиму, більше, ніж на 20 % свідчить про наявність мікротріщин в міжполюсній перемичці, які повинні обов'язково усуватися при проведенні технічного обслуговування.

Рекомендується застосовувати метод тест-режиму не рідше двох разів на рік.

Для збільшення сили натискання контактів рекомендується при черговому технічному обслуговуванні синхронного двигуна середньої потужності паяне з'єднання міжполюсних перемичок замінювати та болтові з'єднання з пропаюванням по площині контакту.

Із застосуванням метода тест-режиму Натепер всі шість синхронних двигунів чорнової групи клітей стану ЛПЦ-1700 ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» працюють без відмов.

Список литературы

1. Penrose H. W. Large Electric Motor Reliability: What Did The Studies Really Say? / H. W. Penrose // Maintenance Technology. – Feb 23, 2012. – P. 18–24. – Режим доступу : https://issuu.com/appliedtechpub/docs/mt_0212_digital_mag/ – Дата звертання : 05 грудня 2019.
2. Васильовський Ю.М. Діагностика коротких замикань в обмотці збудження явнopolосної синхронної машини на основі аналізу віброзбуджувачих сил / Ю. М. Васильовський, О. А. Гераскін // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – 2015. – № 5(1114). – С. 20–26.
3. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/17889>
4. Привалов Е.Е. Тепловизионная диагностика электроэнергетического оборудования : учебное пособие / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 64 с.
5. Таев И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства / И.С. Таев. – М. : Энергия, 1973. – 424 с.
6. ДСТУ 2413-94. Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення. – К. : Держстандарт України, 1994. – 37 с.

8. Офіційний сайт ТОВ «Еталон-прилад». – Режим доступу : <https://etalonpribor.com.ua/miko-1-mikrooommetr.html>. – Дата звертання : 12 грудня 2019.

References (transliterated)

1. Penrose H. W. Large Electric Motor Reliability: What Did The Studies Really Say? / H. W. Penrose // Maintenance Technology. – Feb 23, 2012. – P. 18–24. – Available at: https://issuu.com/appliedtechpub/docs/mt_0212_digital_mag/ (accessed 05.12.2019).
2. Vaskovsky Yu. N., Geraskin A. A. Diahnostyka korotkых замыкан v obmotci zbudzhennja javnopolusnoji synhronnoji mašyny na osnovi analizu vibrozbudžujučyx syl [Diagnosis of short-circuits in the synchronous machine winding of excitation based on a nanalysis of vibropereturbir forces]. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion"*. 2015, no. 5(1114), pp. 20–26. (Ukr)
3. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/17889>
4. Privalov E. E. *Teplovizionnaja diagnostika jelektroenergetičeskogo oborudovanija* [Thermal diagnostics of electric power equipment]: uchebnoe posobie. Moskva ; Berlin, Direkt-Media, 2015, 64 p. (Rus)
5. Taev I. S. *Jelektricheskie kontakty i dugogasitel'nye ustrojstva* [Electrical contacts and arcing devices]. Moscow, Jenerģija, 1973, 424 p. (Rus)
6. DSTU 2413-94. *Osnovni normy vzajemozaminnosti. Šorstkist' poverchni. Terminy ta vyznačennja* [StateStandard2413-94. Basic interchangeability standards. Surface roughness. Terms and definitions]. Kyiv, Deržstandart Ukraїny, 1994. 37 p. (Ukr)
8. Official site Ltd "Etalon-prylad". Available at: <https://etalonpribor.com.ua/miko-1-mikrooommetr.html> / (accessed 12.12.2019). (Ukr)

Надійшла (received) 02.02.2020

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Мглинець Є. В. Метод діагностування дефектів у розвитку в міжполюсних перемичках при експлуатації синхронних двигунів / Є. В. Мглинець, М. Ю. Мандровський, М. Ф. Чекарамїт, О. Ю. Юр'єва // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 56–61. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.10.

Мглинец Е. В. Метод диагностики развивающихся дефектов в межполюсных перемычках при эксплуатации синхронных двигателей / Е. В. Мглинец, М. Ю. Мандровский, М. Ф. Чекарамит, Е. Ю. Юрьева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 56–61. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.10.

Mglinets E. V. Diagnostics method of developing defects in inter-pole connectors during operation of synchronous motors / E. V. Mglinets, M. Yu. Mandrovsky, N. F. Chekaramit, O. Yu. Yurieva // Bulletin of NTU "KhPI". Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion." – 2020. – No. 3 (1357). – P. 56–61. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.10.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мглинець Євген Вячеславович (Мглинец Евгений Вячеславович, Mglinets Evgen Vjacheslavovych) – ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», провідний інженер з надійності відділу надійності обладнання Управління надійності та діагностики, м. Маріуполь, Україна, тел. 096-94-24-373; e-mail: e.v.mglinets@metinvestholding.com.

Мандровський Максим Юрійович (Мандровский Максим Юрьевич, Mandrovskiy Maksym Yuriyovych) – ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», начальник відділу розвитку технічного обслуговування та ремонту Управління надійності та діагностики, м. Маріуполь, Україна; тел. 098-300-10-83; e-mail: maksim.mandrovskiy@metinvestholding.com.

Чекарамїт Микола Федорович (Чекарамит Николай Федорович, Chekaramit Mykola Fedorovych) – ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», електрик цеху ЛПЦ-1700, м. Маріуполь, Україна; тел. 096-318-57-56, e-mail: nikolay.chekaramit@metinvestholding.com.

Юр'єва Олена Юрійівна (Юрьева Елена Юрьевна, Yurieva Olena Yuriyivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних машин, ORCID: 0000-0002-4156-8087, тел. (057)707-68-44, e-mail: ele6780@gmail.com.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ».

Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії № 3 (1357) 2020