



Электр қозғалтқыштарының біліктерінің ақауларын талдау және оларды қалпына келтіру әдістері

¹ЖАРКЕВИЧ Ольга Михайловна, т.ғ.к., профессор, zharkevich82@mail.ru,

²ТАЙМАНОВА Гульнара Кабжановна, т.ғ.к., доцент, gtaimanova@mail.ru,

^{1*}МУХИТОВА Аделия Ержановна, докторант, adeliemukusheva@gmail.com,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Алматы, әл-Фараби даңғылы, 71,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақаланың мақсаты – электр қозғалтқыштарының біліктерінің бетіндегі ақауларды анықтау және оларды қалпына келтірудің ұтымды әдісін таңдау. Электр қозғалтқыштарының біліктеріндегі істен шығу механизмдері анықталды, оларға мыналар жатады: тозу, шаршау, коррозия, шамадан тыс жүктеме. Электр қозғалтқыштарының біліктеріндегі ақаулық механизмдерінің себептері сипатталған. Ақаулық механизмін ескере отырып, электр қозғалтқыштарының біліктеріндегі ақаулардың жіктелуі келтірілген. Жұмыс кезінде электр қозғалтқыштарының біліктерінде беткі ақаулардың пайда болу сипаты сипатталған. Электр қозғалтқыштарының біліктерін қалпына келтіру әдістері табылды.

Кілт сөздер: білік, бұзылу, коррозия, тозу, шаршау, шамадан тыс жүктеме, қалпына келтіру.

Кіріспе

Айналмалы электр машиналарының біліктері әртүрлі ақаулық механизмдеріне немесе олардың комбинацияларына ұшырайтын қуат пен айналмалы қозғалысты беру элементтері болып табылады [1]. Олардың функциясы мен жүктемесіне байланысты біліктер әдетте жоғары кернеулі ком-

поненттер болып табылады. Айналмалы біліктерге әсер ететін негізгі ақаулық механизмдері шамадан тыс жүктеме, шаршау, коррозия және тозу болып табылады [2, 3].

Коррозия мен тозу әдетте біліктің бетінде көрінетін із қалдырады, өйткені олардың әсері артады, бірақ олар өздігінен біліктің сынуына

әкелмейді [2, 4]. Коррозия және тозу – ешқашан біліктің істен шығуына әкелмейді. Шаршау және шамадан тыс жүктеме – бұл істен шығу механизмдері бұл, сайып келгенде, біліктің бұзылуына әкеледі [4].

Біліктер электр қозғалтқыштарының маңызды құрамдас бөліктері болып табылады, сондықтан зақымдалған немесе басқаша істен шыққан біліктер бүкіл айналмалы механизмді істен шығарады [5]. Білікті немесе бүкіл электр қозғалтқышын толығымен ауыстыру айтарлықтай қаржылық шығындарға әкеледі [6]. Жаңа білік сатып алуға балама ретінде оның беткі қабатын шығындарды үнемдеуді қамтамасыз ететін жөндеу шешімі ретінде пайдалануға болады.

Зерттеу әдістері

Электр қозғалтқыштарының біліктерінің ақауларын зерттеу беттік топографияның визуалды әдісі арқылы жүзеге асырылады. Электр қозғалтқыштарының біліктеріндегі ақаулық механизмдерінің пайыздық қатынасын анықтау статистикалық талдау негізінде жүзеге асырылады. Электр қозғалтқыштарының біліктерінің бетін қалпына келтірудің ең ұтымды әдісі техникалық-экономикалық критерий негізінде анықталады.

Нәтижелер және талқылау

Талдау нәтижесінде істен шығудың төрт механизмінің ең көп кездесетіні тозу екендігі анықталды (1-сурет).

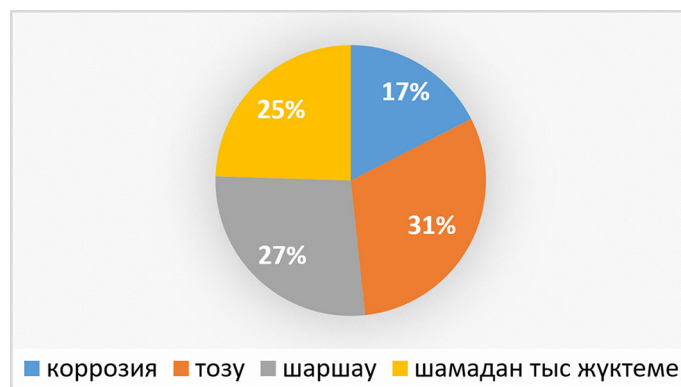
Электр қозғалтқыштарының біліктерінің тозуы себептері: (2-сурет) [7]:

- біліктерге түсетін жүктеме, жылдамдық және жылу режимдері;
- біліктің тозуы кезінде оның жанасу аймағы табиғи түрде өзгереді;
- майлау материалдарының физика-химиялық қасиеттерінің ауытқуы.

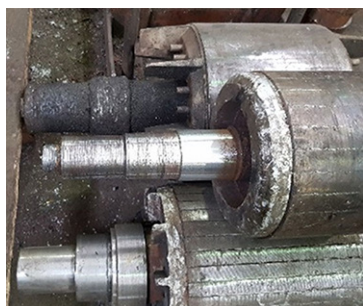
Шаршау циклдік кернеулерден туындайды және шаршаудың бұзылуын тудыратын күштер пластикалық деформацияны тудыруы мүмкін, бірақ күштерге қарағанда айтарлықтай аз [8]. Коррозия материалдың шаршау күшін төмендетіні, жағдайды одан әрі шатастырады. Төмендеу дәрежесі коррозия дәрежесіне де, кернеу циклдерінің санына да байланысты. Шаршау салдарынан электр қозғалтқыштарының біліктерінің бұзылуы 3-суретте келтірілген.

Үйкеліс жағдайында жұмыс істейтін электр қозғалтқышының білігінің коррозиясының негізгі көздері қоршаған атмосфераның ылғалдылығы мен оттегі болып табылады, әсіресе қозғалтқыш ұзақ уақыт тоқтаған кезде [9]. Фреттинг коррозиясындағы қозғалыстың себептері діріл, динамикалық жүктемелер, электр қозғалтқышындағы конъюгат бөлшектерінің мезгіл-мезгіл иілуі немесе бұралуы болуы мүмкін.

Электр қозғалтқыштарының біліктерін шамадан тыс жүктеу кезіндегі ақаулар материалдың беріктігі немесе созылу беріктігі шегінен асатын күштерден туындайды. Бірде-бір білік материа-



1-сурет – Электр қозғалтқыштарының біліктеріндегі ақаулы механизмдердің пайыздық қатынасы



2-сурет – Тозуға байланысты электр қозғалтқыштарының біліктерінің бұзылуы

лы мүлдем сынғыш немесе мүлдем иілгіш емес. Барлық дерлік электр қозғалтқыштарында қолданылатын біліктер төмен немесе орташа көміртекті болаттан жасалған және салыстырмалы түрде икемді. Нәтижесінде, бұл материалдарға шамадан тыс жүктеме түскенде, олар бұралып, деформацияланады.

Электр қозғалтқыштарының біліктерінің істен шығу механизмін біле отырып, олардан туындаған ақауларды толығырақ жіктеуге болады. Электр қозғалтқыштарының біліктерінің жіктелуі 6-суретте көрсетілген.

Біліктердің беттеріндегі қауіптер (6,а-сурет) қатты ластаушы бөлшектердің үйкеліс беттерін бөлетін майлау қабатына түсуінен пайда болады.

Білік беттеріндегі бөртпелер (6,б-сурет) жоғары айналу жиілігінде үйкеліс беттері арасында майлау сұйықтығы болмаған кезде жиі кездеседі.

Жарықтар (7,а-сурет) соққы және діріл жүктемелерінің әсерінен, созылу кернеулерінің қайта бөлінуінен, металдың шаршауынан алынады. Жарықтың өсуі қаттылықтың баяу төмендеуіне және жарықшақты біліктің динамикалық өнімділігінің өзгеруіне әкеледі, нәтижесінде шаршау дегра-



3-сурет – Шаршау салдарынан электр қозғалтқыштарының біліктерінің бұзылуы



4-сурет – Шамадан тыс жүктеме салдарынан электр қозғалтқыштарының біліктерінің бұзылуы



5-сурет – Электр қозғалтқыштары біліктерінің ақауларының жіктелуі

дациясы пайда болады. Баяу төмендейтін даму кезінде қаттылық тез және мезгіл-мезгіл өзгереді.

Біліктің салмағы мен оның айналуына байланысты беттік жарықшақ мезгіл-мезгіл ашылып, жабылады, бұл әр айналу кезеңінде қаттылықтың өзгеруіне әкеледі және көбінесе білік сатысының бұзылуына әкеледі.

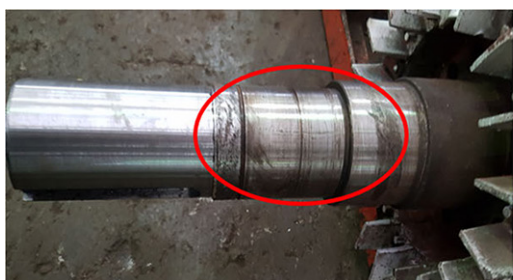
Үзіліс (7,б-сурет) майлаудың жеткіліксіз болуынан, негізгі металдың ақауларынан, жарықтың пайда болуынан, кернеу концентрациясынан, дірілмен бірге пайда болады.

Электр қозғалтқыштарының біліктерінің сынуы өте сирек кездеседі. Барлық шаршау сынықтары сияқты, олар жарықшақ тұрақты жыл-

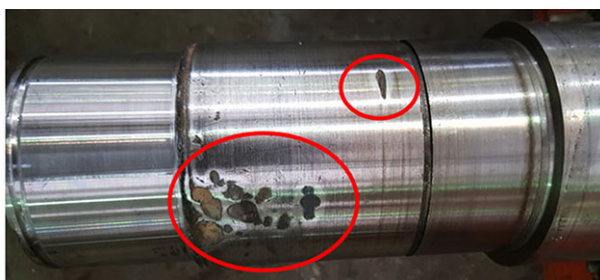
дамдықпен таралатын беттің салыстырмалы түрде біркелкі кедір-бұдырымен сипатталады.

Электр қозғалтқышының білігі айналған кезде қаттылық, көлемдік беріктік пен тозуға төзімділік пен сұйықтықтың ағуы немесе жоғары ылғалдылық коррозияның әртүрлі түрлерін тудырады, мысалы, питтингтер (8,а-сурет), жолақтар (8,б-сурет); жаралар (8,в-сурет); беттің қарқынды тотығуы (8,г-сурет).

Шамадан тыс жүктеме кезінде 9-суретте көрсетілген ақаулар бар. Оларға кілтсөздің немесе саңылаулардың мыжылуы мен деформациясы (9,а,г-сурет), кілтсөздің жыртылуы (9,в-сурет), бұралу (9,г-сурет) жатады.

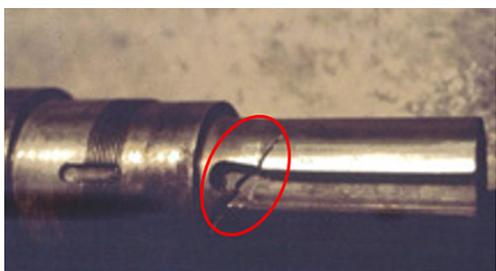


а



б

6-сурет – Тозуға байланысты электр қозғалтқыштары біліктерінің бетіндегі ақаулар

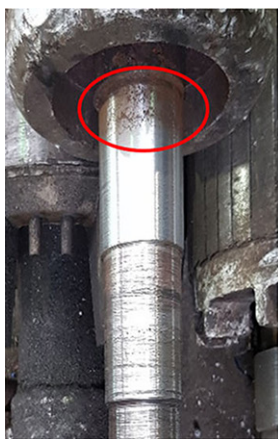


а



б

7-сурет – Шаршауға байланысты электр қозғалтқыштарының білік беттерінің ақаулары



а



б



в



г

8-сурет – Коррозияға байланысты электрвал беттерінің ақаулары

Кілттердің немесе саңылаулардың бұзылуы (алып тастау және жарылыстар) соққы және діріл жүктемелері кезінде немесе кілттер мен саңылаулардағы моменттердің рұқсат етілген мәндерінен асып кеткен кезде пайда болады. Бұрылыстар мен деформациялар біліктің шекті жүктемелерінен асып кеткенде немесе жұмыс кезінде қызып кеткенде пайда болады.

Электр қозғалтқыштарының біліктерінің тозған цилиндрлік беттері балқыту арқылы қалпына келтіріліп, кейіннен өңделеді.

Әр түрлі беткейлердің артықшылықтары:

- қолмен доға төсеу (әдістің қарапайымдылығы);

- қорғаныс газдары ортасында жартылай автоматты балқыту (үнемділік, негізгі және балқытылатын металл арасындағы жақсы адгезия);

- ағын қабатының астында автоматты балқыту (жоғары өнімділік, жоғары сапалы балқытылған металл).

Әр түрлі беткейлердің кемшіліктері:

- қолмен доғалық қаптау (дәнекерлеушінің біліктілігіне тәуелділік, өнімділігі төмен, қоршаған ортаға зиян);

- қорғаныш газдар ортасында жартылай автоматты балқыту (металдың шашырауын 10-12%-ға арттыру, металл құрамының органикалық өзгеруі);

- ағын қабатының астында автоматты балқыту (балқыту кезінде бөліктің жоғары қызуы; тозуға төзімділікті арттыру үшін термиялық өңдеуді қолдану қажеттілігі).

Қаптау қолмен, көмірқышқыл газының ортасында жартылай автоматты, автоматты болуы мүмкін.

Балқыту әдісін таңдағанда, әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескеруден басқа, техникалық-экономикалық критерийдің минималды мәнін қамтамасыз ететін әдіс

ескеріледі [10]:

$$K_{Эi} = \frac{C_{Bi}}{K_{Di}} \rightarrow \min,$$

мұндағы $K_{Эi}$ – қалпына келтірудің I әдісінің техникалық-экономикалық критерийі;

C_{Bi} – I -ші тәсілмен бөлшектің бетін қалпына келтіруге арналған шығындар, тг.;

K_{Di} – I -ші әдіспен қалпына келтірілген беттің беріктік коэффициенті.

Бір электр қозғалтқышының білігін толық қалпына келтірудің техникалық-экономикалық критерийін бағалауға арналған деректер 1-кестеде келтірілген.

Кестедегі мәліметтерге сәйкес, электр қозғалтқыштарының біліктерінің зақымдалған беттерін қалпына келтіру үшін жартылай автоматты дәнекерлеуді таңдау керек.

Сонымен қатар, жартылай автоматты балқыту негізгі және балқытылған металл арасында жақсы адгезияны қамтамасыз етеді.

Қорытындылар

1. Электр қозғалтқыштарының біліктерінің беттерінің бұзылуы төрт негізгі механизмнен туындайды: тозу, шаршау, коррозия, шамадан тыс жүктеме.

2. Қозғалтқыш біліктерінің беттеріндегі негізгі ақаулар: тәуекелдер, бөртпелер, жарықтар, сынықтар, шұңқырлар, жолақтар, жаралар, беттің қарқынды тотығуы, кілттердің немесе саңылаулардың мыжылуы, бұралу және деформация.

3. Электр қозғалтқыштарының біліктерінің зақымдалған беттерін сапа мен үнемділікті ескере отырып қалпына келтірудің ең оңтайлы әдісі сапа мен үнемділікті, әдістің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескере отырып, қорғаныс газдарының ортасын жартылай автоматты түрде балқыту болып табылады.



а



б



в



г

9-сурет – Шамадан тыс жүктеме салдарынан электровалдардың бетіндегі ақаулар

Толық біліктердің техникалық-экономикалық критерийлері					
Қолмен дәнекерлеу		Жартылай автоматты дәнекерлеу		Автоматты дәнекерлеу	
C_{Bi}	K_{Di}	C_{Bi}	K_{Di}	C_{Bi}	K_{Di}
18009	0,4	32019	0,8	45024	0,9
$K_{Эi} = 45\ 022$		$K_{Эi} = 40\ 023 \rightarrow \min$		$K_{Эi} = 50\ 026$	

1. Nan Hou, Ning Ding, Shen Qu, Lawrence Wu. Failure modes, mechanisms and causes of shafts in mechanical equipment // Engineering failure analysis, 2022, 136 (2). – P. 106216
2. Sumit P.Raut, Laukik P.Raut. A Review of Various Techniques Used for Shaft Failure Analysis // International Journal of Engineering Research and General Science, 2014, Volume 2, Issue 2. – Pp. 159-171.
3. Miranda R.S., Cruz C., Cheung N., Cunha A.P.A. Fatigue Failure Analysis of a Speed Reduction Shaft // Metals 2021, 11. – P. 856.
4. Hariom, Vijoy Kumar, Chandrababu D. A Review of Fundamental Shaft Failure // International Research Journal of Engineering and Technology Analysis, 2016, Volume 03, Issue 10. – Pp. 389-395.
5. Tomerlin DRepair welding of a rotating electrical machine's broken shaft // Welding and Cutting, 2019, No. 3. Pp. 198-203.
6. Anil Midathada, Howard Miller, Chanyalew Belachew Corrosion Problems in Electrical Pumps: Identification and Solution // Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), 2020, P. 135.
7. Zjukov I.S. Analiz defektov i tehnologij vosstanovlenija raspreditel'nyh valov dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Molodezh' i nauka: shag k uspehu 3-ja Vserossiyskaja nauchnaja konferenciya perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh: v 5 t., tom 5, 2019. – Pp. 45-47.
8. Ibraeva N.R., Tuktamysheva R.I., Kim V.N. Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont kar'ernogo jelektromehanicheskogo oborudovanija: Uchebnoe posobie / N.R. Ibraeva, R.I. Tuktamysheva, V.N. Kim / Nur-Sultan: NAO «Talap», 2020. – 283 p.
9. Litvinova M.M., Goncharova Ja.S. Zashhita dvigatelja vnutrennego sgoraniya ot korrozii v nejelektrolitah. Vserossiyskaja nauchno-prakticheskaja konferenciya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Mashinostroenie: novye koncepcii i tehnologii», 2021. – Pp. 142-146.
10. Chebotarev M.I. Vybora optimal'nogo sposoba vosstanovlenija iznoshennoj poverhnosti detali. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – 91 p.

Анализ дефектов валов электродвигателей и способы их восстановления

¹**ЖАРКЕВИЧ Ольга Михайловна**, к.т.н., профессор, zharkevich82@mail.ru,

²**ТАЙМАНОВА Гульнара Кабжановна**, к.т.н., доцент, gtaimanova@mail.ru,

^{1*}**МУХИТОВА Аделия Ержановна**, докторант, adeliemukusheva@gmail.com,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», Казахстан, Алматы, пр. аль-Фараби, 71,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью статьи является определение дефектов поверхностей валов электродвигателей и выбор рационального способа их восстановления. Определены механизмы отказов в валах электродвигателей, к которым относятся: износ, усталость, коррозия, перегрузки. Описаны причины возникновения механизмов отказов в валах электродвигателей. Приведена классификация дефектов валов электродвигателей с учетом механизма отказа. Описана природа появления поверхностных дефектов на валах электродвигателей в процессе эксплуатации. Установлены способы восстановления валов электродвигателей.

Ключевые слова: вал, разрушение, коррозия, износ, усталость, перегрузка, восстановление.

Analysis of Shaft Defects of Electric Motors and Methods of Their Restoration

¹**ZHARKEVICH Olga**, Cand. of Tech. Sci., Professor, zharkevich82@mail.ru,

²**TAIMANOVA Gulnara**, Cand. of Tech. Sci., Docent, gtaimanova@mail.ru,

^{1*}**MUKHITOVA Adeliya**, Doctoral Student, adeliemukusheva@gmail.com,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²NPJSC «Al-Farabi Kazakh National University», Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Avenue, 71,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of the article is to determine the defects of the surfaces of the electric motors shafts and the choice of a rational way to restore them. The mechanisms of destructions in the electric motors shafts are determined. They include wear, fatigue, corrosion, overloads. The reasons for the occurrence of failure mechanisms in the electric motors shafts are described. The classification of defects in electric motor shafts is given, taking into account the failure mechanism. The nature of the appearance of surface defects on the electric motors shafts during operation is described. Methods for restoring the electric motors shafts have been established.

Keywords: shaft, destruction, corrosion, wear, fatigue, overload, restoration.

REFERENCES

1. Nan Hou, Ning Ding, Shen Qu, Lawrence Wu. Failure modes, mechanisms and causes of shafts in mechanical equipment // Engineering failure analysis, 2022, 136 (2). – P. 106216
2. Sumit P.Raut, Laukik P.Raut. A Review of Various Techniques Used for Shaft Failure Analysis // International Journal of Engineering Research and General Science, 2014, Volume 2, Issue 2. – Pp. 159-171.
3. Miranda R.S., Cruz C., Cheung N., Cunha A.P.A. Fatigue Failure Analysis of a Speed Reduction Shaft // Metals 2021, 11. – P. 856.
4. Hariom, Vijoy Kumar, Chandrababu D. A Review of Fundamental Shaft Failure // International Research Journal of Engineering and Technology Analysis, 2016, Volume 03, Issue 10. – Pp. 389-395.
5. Tomerlin DRepair welding of a rotating electrical machine's broken shaft // Welding and Cutting, 2019, No. 3. Pp. 198-203.
6. Anil Midathada, Howard Miller, Chanyalew Belachew Corrosion Problems in Electrical Pumps: Identification and Solution // Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), 2020, P. 135.
7. Zjukov I.S. Analiz defektov i tehnologij vosstanovlenija raspreditel'nyh valov dvigatelej vnutrennego sgoranija. Molodezh' i nauka: shag k uspehu 3-ja Vserossijskaja nauchnaja konferencija perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh: v 5 t., tom 5, 2019. – Pp. 45-47.
8. Ibraeva N.R., Tuktamysheva R.I., Kim V.N. Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont kar'ernogo jelectromehaničeskogo oborudovanija: Učebnoe posobie / N.R. Ibraeva, R.I. Tuktamysheva, V.N. Kim / Nur-Sultan: NAO «Talap», 2020. – 283 p.
9. Litvinova M.M., Goncharova Ja.S. Zashhita dvigatelja vnutrennego sgoranija ot korrozii v nejelektrolitah. Vserossijskaja nauchno-praktičeskaja konferencija studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Mashinostroyenie: novye koncepcii i tehnologii», 2021. – Pp. 142-146.
10. Chebotarev M.I. Vybór optimal'nogo sposoba vosstanovlenija iznoshennoj poverhnosti detali. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – 91 p.