

FLORIAN KRASUCKI
JAN KULESZA
INSTYTUT ELEKTRYFIKACJI
I AUTOMATYZACJI GÓRNICtwo
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
GLIWICE

* O ZAWODNOŚCI SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH KOMBajnÓW ŚCIANOWYCH

Omówiono skutki uszkodzeń i uzasadniono celowość prowadzenia badań nad określeniem przyczyn powodujących uszkodzenia silników elektrycznych kombajnów ścianowych. Przeprowadzono analizę wyników badań i przyczyn 388 uszkodzeń silników, zwracając szczególną uwagę na uszkodzenia izolacji oraz zalanie silnika olejem lub wodą; dyskutowano najczęściej występujące przyczyny uszkodzeń oraz przedstawiono możliwe sposoby zapobiegania im. Omówiono podstawy proponowanej metody obliczania współczynników intensywności uszkodzeń silników oraz średniego czasu pracy między uszkodzeniami, zakładając, że prawdopodobieństwo poprawnej pracy do chwili t ma rozkład wykładniczy; podano wartości liczbowe wskaźników niezawodności, obliczone dla analizowanych uszkodzeń silników.

1. Wstęp

Uszkodzenie silnika elektrycznego kombajnu ścianowego jest jedną z najpoważniejszych, a zarazem częściej występujących, przyczyn przerywania procesu urabiania węgla. Biorą pod uwagę dużą i wciąż zwiększającą się liczbę zmechanizowanych kompleksów ścianowych, a także wartość wydobycia osiąganego dzięki ich stosowaniu, bezawaryjna praca elementów kompleksu jest wymaganiem podstawowym.

I tak na przykład z analizy 313 uszkodzeń elementów trzech zmechanizowanych kompleksów ścianowych, które doprowadziły do wstrzymania na pewien okres czasu produkcji [1], 118 /38% dotyczyło kombajnów wraz z przewodem zasilającym i wyłącznikiem, z czego 22 /18,6% uszkodzeniom uległ silnik elektryczny kombajnu. Usuwanie wymienionych uszkodzeń kombajnów trwało 324 godziny, w tym uszkodzeń silników - 140 godzin. Wynika z tego, że niemal 40% ogólnej liczby zaobserwowanych przerw w pracy ścian powodują uszkodzenia kombajnów, a ich usuwanie obejmuje przeszło 50% czasu wszystkich postojów - w tym silniki 43%.

Przytoczone przyczynkowe dane potwierdzają, że problem niezawodności działania silników elektrycznych kombajnów ścianowych jest istotny, a ograniczenie liczby uszkodzeń powinno przynieść dość znaczne efekty.

2. Silniki elektryczne stosowane do napędu kombajnów ścianowych

W latach sześćdziesiątych zaznaczył się wyraźny postęp w dziedzinie budowy i zastosowania silników asynchronicznych. Dotyczyło to przede wszystkim wartości ich mocy [znamionowych] i parametrów rozruchowych. Rozpoczęto na przykład produkcję silników asynchronicznych dwuklatkowych w osłonach ognioszczelnych serii SKB. Pierwszy typ silnika /SKB-84/ produkowany był w latach 1964-69, następny - 2SKB-84 w latach 1969-71, 4SKB-84 w latach 1971-72 a 4SKBm-84 i 4SKBk-84 oraz 41SKB-84 produkowane są obecnie. Silników tych wyprodukowano [2]: SKB-750 sztuk, 2SKB-825 sztuk 4SKB-300 sztuk. Silniki /135 kW, 500 lub 1000 V/ typów 4SKBm-84 i 4SKBk-84 oraz 41SKB-84 są ulepszonymi wersjami ich poprzedników. Różnią się od nich konstrukcją węzła łożyskowego, położeniem wlotu wody chłodzącej, klasą izolacji /F/ oraz wzmocnieniami korpusu. Silnikami tych typów napędzane są m.in. kombajny KWB-3DU, KWB-3RU, KWB-3RUZ, KWB-3RDU, KWB-3RDS. Silniki SKB-116 oraz 2SKB-116 /250kW, 1000V/ stosowane są w kombajnach KWB-6 i KWB-5.

Również w innych krajach o wysoko rozwiniętym górnictwie stosowane są kombajny o dużej mocy zainstalowanej - do 900 kW zasilane napięciem do 6000 V. W miarę wzrostu wydobywania i mechanizacji urabiania, moc silników elektrycznych maszyn urabiających i napięcia ich zasilania będą wzrastać, bądź stosowane będą inne rodzaje silników [8].

3. Przyczyny uszkodzeń silników elektrycznych kombajnów ścianowych

Przyczynom uszkodzeń silników elektrycznych kombajnów ścianowych poświęconych zostało już wiele opracowań, na przykład [2, 3, 4, 5, 7, 10, 13]. Występuje jednak dość znaczna rozbieżność odnośnie względnego udziału poszczególnych przyczyn, powodujących uszkodzenia. Rozbieżności danych wynikają prawdopodobnie nie z faktycznie różnych przyczyn uszkodzeń, a raczej z ich rozsmitej często klasyfikacji. Praktycznie najbardziej istotne są pierwotne przyczyny powstawania uszkodzeń. Określenie ich jest jednak dość trudne, gdyż wymaga dużego nakładu pracy, oraz dochodzenia przyczyn awarii jak najwcześniej po jej zaistnieniu, kiedy nie zachodzi podejrzenie, że część uszkodzeń występujących przy oględzinach została spowodowana podczas np. transportu do miejsca awarii do miejsca naprawy. Uogólniając wyniki badań krajowych, obejmujące 388 silników kombajnowych /SKB-84, 2SKB-84, 4SKB-84, SKB-116/ pracujących w kopalniach Rybnickiego i Bytomskiego Zjednoczenia Przemysłu Węglowego, uśrednione wartości udziału poszczególnych przyczyn przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Główne przyczyny uszkodzeń silników kombajnów ścianowych

Lp	Przyczyna uszkodzenia	Procentowy udział %
1	Uszkodzenie izolacji	44
2	Zalanie uzwojeń silnika wodą lub olejem	27
3	Uszkodzenie wału	13
4	Pęknięcie korpusu lub płaszcza wodnego	9
5	Uszkodzenie łożysk	7

Z przytoczonych danych wynika, iż najwięcej uszkodzeń, których skutkiem jest wymiana silnika, skupia się w dwu grupach: zalanie silnika wodą lub olejem na skutek złej jakości uszczelnień oraz cieplne, klimatyczne i mechaniczne uszkodzenia izolacji uzwojeń stojana, w wyniku których dochodzi do zwarć doziemnych lub międzyfazowych. Nasuwałby się tutaj oczywisty wniosek, iż w celu zwiększenia pewności działania silnika należy zwiększyć skuteczność uszczelnień oraz uodpornić izolację na wyższe temperatury. O ile poprawa jakości uszczelnień faktycznie powinna zmniejszyć ilość uszkodzeń silników, to podwyższając klasę izolacji można tylko pozornie wpłynąć na zwiększenie niezawodności silników. Wynika to z tego, że nawet izolację wyższej klasy można przegrzać przeciążając silnik kombajnu /np. drogą zwiększenia prędkości posuwu lub obniżenia się napięcia zasilania/. Z badań wynika, że izolacja uzwojenia stojana ulega szybszemu zniszczeniu na czołach i przede wszystkim w miejscach wyjścia ze żłobków. Ponieważ stosowane są obecnie izolacje z materiałów krzemooorganicznych, wykazujących dużą kruchość, a amplitudy drgań maszyny osiągają 3 cm przy częstotliwościach 15÷20 Hz i przyśpieszeniach rzędu 30g [4], to występujące w czołowych częściach uzwojeń momenty gnące doprowadzają do powstania porów i mikroszczelin. Zasysanie wilgoci podczas stygnięcia, oraz wycieki wody lub oleju do wnętrza silnika powodują znaczne obniżenie oporu i trwałości izolacji.

Celem ograniczenia tego rodzaju uszkodzeń izolacji należałoby zastosować nowe materiały i technologie jej wykonywania. Zamiast materiału krzemooorganicznego nasycanego lakierami zastosowano na przykład [1,4] izolację z mikataśny nasycanej żywicą epoksydową. Izolacja taka posiada większą wytrzymałość dielektryczną, jest bardziej spójna, czyli odporniejsza na oleje i wodę, a przede wszystkim, żywicą epoksydową można zalać czoła uzwojeń i przymocować je do obudowy silnika, tak aby drgały wraz z całym korpusem.

4. Ilościowa ocena niezawodności silników elektrycznych kombajnów ścianowych.

Modelem matematycznym niezawodności grupy pracujących w dowolnym zakładzie produkcyjnym urządzeń jest proces odnowy. Zakładamy, że liczba jednego rodzaju silników /kombajnowych/ pracujących w podobnych warunkach jest duża oraz że w tym samym czasie pracują silniki nowe jak i te, którym po uszkodzeniach przywrócona została zdolność do pracy, a jednocześnie, że prawdopodobieństwo zajścia dwu lub większej ilości uszkodzeń w małym odcinku czasu jest bardzo małe. Wtedy można przyjąć, że proces odnowy jest stacjonarny, bez następstw i pojedynczy [5].

Przyjmujemy, że czas przestoju zmechanizowanych kompleksów ścianowych, wywołanych przez uszkodzenia, posiada rozkład logarytmo-normalny, natomiast prawdopodobieństwo poprawnej pracy do chwili t - rozkład wykładniczy [9, 10]. Prawdopodobieństwo to wyraża się wzorem:

$$P/t/ = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

gdzie λ jest współczynnikiem intensywności uszkodzeń.

znając wartość λ można obliczyć średni czas pracy między uszkodzeniami.

Zgodnie z [6] nieobciążonym estymatorem λ jest

$$\hat{\lambda} = \frac{d/t/}{N \cdot t} \quad (2)$$

a jego wariancja

$$D^2[\hat{\lambda}] = \frac{\lambda}{N \cdot t}. \quad (3)$$

Estymator ten jest dogodny ze względu na możliwość zastosowania wyników badań polegających na obserwacji w ciągu czasu t grupy N odbiorników i zanotowaniu liczby $d/t/$ uszkodzeń. Gdyby jednak w czasie obserwacji zdarzyło się, iż żaden / lub mała liczba/ z N elementów nie uległ uszkodzeniu, wówczas wartość estymatora $\hat{\lambda}$ byłaby równa /lub w przybliżeniu równa/ zeru. Prowadziłoby to do niezgodnego z rzeczywistością stwierdzenia, że prawdopodobieństwo poprawnej pracy w każdej chwili czasu jest równe jedności. Dlatego też, prócz wyznaczonego metodą największej wiarygodności efektywnego i nieobciążonego estymatora $\hat{\lambda}$ korzystne jest wyznaczenie drugiego estymatora - metodą przedziałów ufności. Dolna $\underline{\lambda}$ i górna $\bar{\lambda}$ granica przedziału ufności dla określonego współczynnika ufności α są odpowiednio równe [6]:

$$\underline{\lambda} = \frac{\Delta_1 - \epsilon_2^{1/d-1/}}{N \cdot t}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\Delta \epsilon_1 / d/}{N \cdot t}$$

gdzie $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 1 - \alpha$

najczęściej jednak

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \frac{1 - \alpha}{2}$$

$\Delta_{\varepsilon_1/d-1}$, $\Delta_{\varepsilon_2/d}$ - kwantyle rozkładu Poissona.

Dokonując estymacji λ metodą punktową (2) oraz przedziałów ufności (4) i (5) wyznaczono $\hat{\lambda}, \lambda, \bar{\lambda}$, $D^2[\hat{\lambda}]$, jak również t_{gr} - czyli średni czas między uszkodzeniami badanych [3] silników elektrycznych zastosowanych w kombajnach KWB-3DS, KWB-3RDS, KWB-3RDU, oraz KWB-6.

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2, przyjmując współczynnik ufności $\alpha = 0,9$ oraz $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,05$.

Z wstępnych badań wynika, że spodziewany czas pracy silników może wynosić od 72 do 140 dni.

Tabela 2

Wartości wskaźników niezawodności dla badanych silników elektrycznych kombajnów

Typ kombajnu	I kwart.	II kwart.	III kw.	łącznie za III kwartały				
	$\hat{\lambda}$ $10^{-3} \frac{1}{d}$	$\hat{\lambda}$ $10^{-3} \frac{1}{d}$	$\hat{\lambda}$ $10^{-3} \frac{1}{d}$	$\hat{\lambda}$ $10^{-3} \frac{1}{d}$	$\hat{\lambda}$ $10^{-3} \frac{1}{d}$	$\hat{\lambda}$ $10^{-3} \frac{1}{d}$	$D^2[\hat{\lambda}]$ $10^{-4} \frac{1}{d}$	t_{gr} d
KWB-3DS	4,6	4,8	7,9	7,6	4,4	11,8	6,2	131
KWB-3RDS	4,2	5,5	6,1	7,4	4,7	11,3	1,3	135
KWB-3RDU	8,3	20,8	6,7	13,9	8,5	21,2	95,5	72
KWB-6	<4,1	10,4	8,3	7,1	3,7	12,5	56,3	140

5. Zakończenie

Na podstawie analizowanych wyników badań uszkodzeń silników elektrycznych kombajnów ścianowych można stwierdzić, iż do najczęściej powtarzających się przyczyn awarii, które prowadzą do wymiary silnika należą :

- dynamiczne i mechaniczne uszkodzenia izolacji,
- zalanie uzwojeń wodą lub olejem na skutek złej jakości uszczelnień.

Aby podnieść więc pewność pracy tych silników i zwiększyć średni czas pracy między uszkodzeniami, należałoby również przeprowadzić badania możliwości zastosowania nowej izolacji, na przykład tzw. "monolitycznej", bardziej odpornej na wilgoć i posiadającej zdolność ochrony czoł uzwojenia stojana przed skutkami drgań. Ważne jest też wyeliminowanie silnika elektrycznego jako elementu przenoszącego w swoim korpusie siły od skrawania.

LITERATURA

- [1] Aleksander N.W. i in.: Issledowanije izolacji monolit elektrowigatielnej ugotnych kombajnow. Elektrotiechnika 1974, nr 9.
- [2] Byrka W.F., Rubinsztiejn B.Sz.: Issledowanije nadiežnosti elektroomorudowanija oczistnych kombajnow. Elektrotiechnika 1969, nr 1.
- [3] COPKAG-"Komag": Sprawozdania z prób i badań eksploatacyjnych silników elektrycznych kombajnów ścianowych za 1976 r.
- [4] Dokukin A.B. i in.: O powysszenije nadiežnosti elektrowigatielnej gornych maszyn. Promyszlennaja Energetika 1971, nr 6.
- [5] Froechlich T., Herok P.: Przyczyny awarii silników kombajnowych. Wiadomości Górnicze 1977, nr 10.
- [6] Gniedenko B.W., Bielajew J.K., Sołowiew A.D.: Metody matematyczne w teorii niezawodności. WNT, Warszawa 1968.
- [7] Kozioł W.: Analiza awaryjności silników elektrycznych stosowanych do napędu maszyn i urządzeń górniczych. IEAG Pol. Śl. Gliwice 1975 /praca dyplomowa/.
- [8] Krasucki F., Błaż J., Gruszczyński P.: Sposoby zasilania oddziałowych maszyn górniczych. Wiadomości Elektrotechniczne 1977, nr 14.
- [9] Kurzeja A., Wichowski W., Grochocki J.: Przykład zastosowania metody analizy danych dotyczących niezawodności przedkowych urządzeń elektromaszynowych. ZN Pol. Śl. 1976, Seria Górnictwo z. 72.
- [10] Kępiński Z., Skrobol T.: Awaryjność silników kombajnów węglowych. Wiadomości Elektrotechniczne 1977, nr 16.
- [11] Pałant G.Ja., Nariżnyj W.M.: Eksploataczonnaja nadiežnost schien elektrosnabżenija oczistnych zabojev. Ugol 1975, nr 5.
- [12] Rubinsztiejn B.Sz., Popow Ju.D.: Ocenka nadiežnosti elektroomorudowanija oczistnych szachtnych kombajnow. Promyszlennaja Energetika 1970.
- [13] Skumiał B.: Badanie niezawodności silników elektrycznych w oddziale wydobywczym. IEAG Pol. Śl., Gliwice 1975 /praca dyplomowa/.

О НЕНАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ КОМБАЙНОВ
ДЛЯ РАБОТЫ В ЛАВЕ

Резюме

В статье обсуждены результаты повреждений, обоснована целесообразность проведения исследований относительно определения причин вызывающих повреждения электрических двигателей комбайнов для работы в лаве.

ON FAILURES OF ELECTRIC MOTORS
OF MECHANICAL FACE MINERS

Summary

The consequences of failures have been described in this paper. Purposefulness of investigations carried out to determine reasons of electric motors failures of mechanical face miners has been justified too.