

Karol Wolski

Instytut Elektroenergetyki  
i Sterowania Układów

## ANALIZA NIEZAWODNOŚCI SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁU WŁÓKIENNICZEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono występujące w pracy silników elektrycznych niskiego napięcia zakłócenia pod względem ilościowym i jakościowym. Materiał statystyczny obejmuje analizę pracy ok. 1000 szt. silników w zakładzie włókienniczym, w latach 1966-1971. W wyniku przeprowadzonej analizy sprecyzowano wnioski i zalecenia dla służb elektroenergetycznych i projektantów instalacji elektrycznych w zakładach włókienniczych.

### 1. Wstęp

Względy gospodarcze wymagają prowadzenia procesów technologicznych w sposób niezawodny. Wszelkie niezamierzone przerwy w tych procesach powodują straty. Jedną z wielu przyczyn powstawania niezamierzonych przerw są uszkodzenia silników elektrycznych. Ostatnio zagadnieniu awaryjności silników poświęca się dość dużo miejsca, jednak w małym stopniu dotyczy ono silników niskiego napięcia. Przemysł lekki, szczególnie zakłady przemysłu włókienniczego są pod tym względem zaniedbane. Wprawdzie uszkodzenie silnika niskiego napięcia nie powoduje dużych strat jednostkowych, jednak ze względu na masowość tego zjawiska, problem niezawodnej pracy silników niskiego napięcia staje się ważny. Podstawowym czynnikiem umożliwiającym uzyskanie informacji o niezawodności silników elektrycznych jest materiał statystyczny zebrany w okresie ich eksploatacji.

### 2. Charakterystyka zakładu

W zakładzie włókienniczym, którego silniki elektryczne są przedmiotem niniejszej analizy, produkuje się materiały tkane wg następującego zestawienia ilościowego: wełniane-10%, elano-wełniane-45%, elano-argonowe-18%, elano-torlenowe-20% i tkaniny inne-7%. Dla zobrazowania wpływu procesu technologicznego na pracę silników elektrycznych podano krótką charakterystykę głównych wydziałów.

Przędzalnia - to wydział, którego końcowym produktem jest przędza zgrzebna. Silniki pracują w atmosferze silnego zapylenia. Obciążenie silników zależy od fazy cyklu produkcyjnego.

Oddział przygotowawczy - to wydział, w którym odbywa się przewijanie przędzy, w celu jej przygotowania do barwienia i dla tkalni. Pomieszczenia są suche i o niewielkim zapyleniu.

Tkalnia - to wydział, w którym produkuje się tkaniny w stanie surowym. Podstawową maszyną jest krosno, posiadające ponad 200 łożysk ślizgowych których stan zasadniczo wpływa na obciążenie silnika. Pomieszczenia tkalni są suche, ale zapyłone.

Farbiarnia - to wydział, w którym dokonuje się barwienia tkanin, przędzy i surowca. Pomieszczenia farbiarni są bardzo wilgotne.

Wykończalnia - to wydział, w którym przeprowadza się końcowe procesy technologiczne. Silniki elektryczne pracują tu w bardzo trudnych warunkach. Silniki pracują przy dużej częstotliwości łączeń. Pomieszczenia cechują się dużą wilgotnością.

Wydziały pomocnicze - to warsztaty, kotłownia, oczyszczalnia ścieków i obiekty socjalne.

Aktualnie, park maszynowy zakładu należy do przestarzałych. Około 60% maszyn pochodzi z 1920 r. W związku z wypieraniem z przemysłu wełnianego tradycyjnego surowca, jakim jest wełna, przez włókna syntetyczne, w zakładzie są instalowane nowe maszyny produkcyjne. Nowo zainstalowane maszyny charakteryzują się napędami wielosilnikowymi, np. przewijarka przędzy typu Bicomat o 30 wrzęcionach ma 30 silników po 0,53 kW i 30 silników po 0,25 kW. Wymiana parku maszynowego powoduje wzrost ilości silników z jednoczesnym obniżeniem jednostkowej mocy średniej, przypadającej na silnik elektryczny.

### 3. Statystyczne wskaźniki niezawodności eksploatacyjnej silników elektrycznych

W zakładzie obserwuje się stały wzrost ilości zainstalowanych silników elektrycznych. W końcu 1971 r. liczba zainstalowanych silników wynosiła 1311 szt., o sumarycznej mocy zainstalowanej 2342 kW. Jednostkowa moc średnia przypadająca na jeden silnik wynosiła 1,8 kW. Rzeczywista moc silników zawarta jest w granicach od 0,1 do 40 kW. Około 15% silników jest eksploatowanych od przeszło 25 lat.

Przeważającą większość (ok. 95%) stanowią silniki asynchroniczne zwar-  
te, budowy zamkniętej typu: SZJmD, SZDMd, SZJd, BZTe i Schwabe D4. Silniki asynchroniczne-pierścieniowe stanowią ok. 4% ogólnej ilości, a reszta (ok. 1%), to silniki komutatorowe typu Schrage i silniki bocznikowe prądu stałego. Prawie wszystkie silniki są wyposażone w zabezpieczenia

przebieżeniowe termobimetalowe. W maszynach aktualnie importowanych, silniki wyposażone są w zabezpieczenia czujnikowe.

Zainstalowane i uszkodzone silniki elektryczne podzielono na 6 grup mocy: do 0,6 kW; 0,7 ÷ 1,1 kW; 1,2 ÷ 2,2 kW; 2,3 ÷ 4,0 kW; 4,1 ÷ 10,0 kW i ponad 10,0 kW. Dla każdej z tych grup oraz dla scharakteryzowanych w p.2 wydziałów, podano w tablicy 1 ilość zainstalowanych i uszkodzonych silników w latach 1966-1971 r.

W zakładzie obserwuje się szybki wzrost ilości zainstalowanych silników. Największy przyrost występuje w grupie mocy do 0,6 kW, co jest spowodowane modernizacją parku maszynowego. Najwyższy poziom uszkodzeń silników występuje w przędzalni, w której występuje silne zapylenie. Najbardziej zawodną grupą mocy są silniki o mocach 1,2-2,2 kW i 2,3-4,0 kW. Silniki te są zainstalowane na wydziałach: przędzalni, oddziale przygotowawczym i wykończalni.

W wyniku przeprowadzonej analizy uszkodzeń, wyodrębniono następujące ich przyczyny: praca niepełnofazowa, zwarcie międzyzwojowe, zawilgocenie uzwojenia, przeciążenie, zwarcie międzyfazowe, uszkodzenie łożysk, uszkodzenie wałka, zwarcie do korpusu, uszkodzenie wirnika i inne uszkodzenia mechaniczne. Dla każdej z tych przyczyn uszkodzeń, podano w tablicy 2 ilość uszkodzonych silników w rozbiciu na grupy mocy i wydziały w okresie 1966-1971. Najczęściej, przyczyną uszkodzeń silników jest praca niepełnofazowa. Przyczyna ta występuje przeważnie w grupie mocy 0,7 - 1,2 kW. W wydziale tkalni pracuje większość (77%) silników tej grupy mocy. Charakterystyczną przyczyną uszkodzeń w wydziale tkalni jest oprócz pracy niepełnofazowej, uszkodzenie wałka silnika. Na wydziałach farbiarni i wykończalni najczęstszą przyczyną jest zawilgocenie uzwojeń.

Dla uchwycenia stopnia uszkodzeń i jego porównania z innymi gałęziami przemysłu, obliczono dla podanych zestawień procentowe wskaźniki uszkodzeń wg poniższych zależności:

$$W = \frac{U}{Z} \cdot 100\% \quad \text{oraz} \quad W_1 = \frac{U_1}{U} \cdot 100\%,$$

gdzie

- W - wskaźnik uszkodzeń w danej grupie mocy, wydziale lub zakładzie,
- U - ilość uszkodzonych silników w danej grupie mocy, wydziale lub zakładzie,
- Z - ilość zainstalowanych silników w danej grupie mocy, wydziale lub zakładzie,
- $W_1$  - udziałowy wskaźnik uszkodzeń, to udział danej przyczyny uszkodzeń w ogólnej ilości uszkodzonych silników dla podanych grup mocy, wydziałów lub zakładu,
- $U_1$  - ilość uszkodzonych silników spowodowana daną przyczyną.



Tablica 1

Zestawienie ilości zainstalowanych i uszkodzonych silników elektrycznych dla grup mocy, wydziałów i zakładu w latach 1966-1971 r.

Wyszczególnienie	Ilość silników szt.											
	1966		1967		1968		1969		1970		1971	
	zainst.	uszk.	zainst.	uszk.	zainst.	uszk.	zainst.	uszk.	zainst.	uszk.	zainst.	uszk.
1. Grupa mocy:												
do 0,6 kW	204	9	219	10	242	12	248	12	364	17	388	16
0,7 ÷ 1,1 kW	348	19	360	19	470	25	475	24	478	25	482	27
1,2 ÷ 2,2 kW	111	12	116	14	129	14	146	14	146	17	152	15
2,3 ÷ 4,0 kW	92	10	96	10	110	12	115	9	116	11	118	13
4,1 ÷ 10 kW	128	5	131	4	136	6	139	8	140	5	154	6
powyżej 10 kW	10	1	-	-	12	1	12	1	12	-	17	1
2. Wydział:												
- Przedzalnia	88	8	88	9	90	10	90	9	95	9	101	12
- Oddział przygot.	119	5	128	6	135	7	142	6	203	8	211	7
- Tkalnia	268	17	272	18	365	25	369	24	370	24	374	25
- Farbiarnia	59	5	59	5	60	4	62	4	63	7	66	4
- Wykończalnia	230	14	238	13	242	16	253	15	283	22	313	18
- Warsztaty i kotł.	99	5	105	4	118	3	126	3	132	2	135	6
- Oczyszczalnia ścieków	-	-	-	-	39	3	39	3	42	1	44	3
- Inne	40	2	42	2	50	2	54	4	63	2	67	3
3. Zakład	863	56	932	57	1099	70	1135	68	1256	75	1311	78

Tablica 2

Zestawienie ilości uszkodzonych silników elektrycznych w zależności od przyczyn uszkodzeń dla grup mocy, wydziałów i zakładu w okresie 1966-1971

Wysz. ogólnienie	Przyczyna uszkodzenia										Razem	
	Praca niebezpieczna fazowa	Zwarcie między zwojowymi	Zawilgo cenienie u zwojenia	Przebieg uciążenie	Zwarcie między fazowe	Uszkodzenie wałka	Uszkodzenie łożysk	Zwarcie do korpusu	Uszkodzenie wirnika	Inne uszkodzenia mechaniczne		
1. <u>Grupa mocy:</u>												
do 0,6 kW	31	12	4	13	7	-	-	4	2	3	76	
0,7 + 1,1 kW	71	14	5	11	8	19	1	1	2	2	139	
1,2 + 2,2 kW	10	14	17	12	11	-	-	5	4	4	86	
2,3 + 4,0 kW	9	13	17	8	5	-	-	5	3	-	65	
4,1 + 10,0 kW	4	4	10	3	3	-	-	2	4	-	34	
powyżej 10 kW	-	-	1	1	1	-	-	1	-	-	4	
2. <u>Wydział:</u>												
- Przędzalnia	15	10	-	11	7	-	-	5	2	2	57	
- Oddział przysot.	13	7	-	8	3	1	-	3	1	1	39	
- Tkalnica	68	13	-	10	10	19	-	2	3	5	133	
- Parbiarnia	3	3	17	12	1	-	-	1	-	-	29	
- Wykonalnia	17	12	26	12	8	-	-	6	6	1	98	
- Warsztaty i kotłownia	4	6	4	1	4	-	-	1	3	-	23	
- Oczyszczalnia ściek.	1	4	3	2	-	-	-	-	-	-	10	
- Inne	4	2	4	2	2	-	-	-	-	-	15	
3. <u>Zakład</u>	125	57	54	48	35	20	23	18	15	9	404	

Tablica 3

Zestawienie wskaźników uszkodzeń silników elektrycznych dla grup mocy, wydziałów i zakładu w latach 1966 + 1971

Wyszczególnienie	Wskaźniki uszkodzeń w [%]					
	1966	1967	1968	1969	1970	1971
<b>1. Grupa mocy:</b>						
do 0,6 kW	4,4	5,6	5,0	4,8	4,7	4,1
0,7 ÷ 1,1 kW	5,5	5,3	5,3	5,1	5,2	5,6
1,2 ÷ 2,2 kW	10,9	12,1	10,9	9,6	11,6	10,0
2,3 ÷ 4,0 kW	10,9	10,4	10,0	7,8	9,5	11,0
4,1 ÷ 10,0 kW	3,9	3,1	4,4	5,6	3,6	34,9
powyżej 10 kW	10,0	-	8,2	8,2	-	5,8
<b>2. Wydział:</b>						
- Przędzalnia	9,1	10,2	11,1	10,0	9,5	11,9
- Oddział przygot.	4,2	4,7	5,2	4,2	3,9	3,3
- Tkalnia	6,3	6,6	6,8	6,5	6,5	6,9
- Farbiarnia	8,5	8,5	6,7	6,5	11,1	6,1
- Wykończalnia	6,1	5,5	6,6	5,9	7,7	5,8
- Warsztaty i kotł.	5,1	3,9	2,5	2,4	1,5	4,5
- Oczyszczalnia ściek.	-	-	7,7	7,7	2,4	6,8
Inne	5,0	4,8	4,0	7,4	3,2	4,5
<b>3. Zakład</b>	6,3	6,1	6,4	6,0	6,0	5,9

W tablicy 3 zestawiono wskaźniki uszkodzeń silników elektrycznych dla grup mocy, wydziałów i zakładu w latach 1966-1971. Wskaźniki uszkodzeń dla analizowanego zakładu wynosi 6%. Wartość ta jest wysoka w porównaniu z zakładami tworzyw sztucznych, dla których wskaźniki uszkodzeń wynosi 3,2% [3].

W tablicy 4 zestawiono udziałowe wskaźniki uszkodzeń silników elektrycznych w zależności od przyczyny uszkodzeń dla grup mocy, wydziałów i zakładu w okresie 1966÷1971. Najczęściej występujące przyczyny uszkodzeń to: praca niepełnofazowa - 31%, zwarcie międzyzwojowe - 14,1%, zawilgoce- nie uzwojenia - 13,4%, i przeciążenie - 11,9%. Najbardziej zawodnymi silnikami są silniki należące do grup mocy: 0,7 ÷ 1,1 kW - 34,4%; 1,2 ÷ 2,2 kW - 21,3%; do 0,6 kW - 18,8% i 2,3 ÷ 4,0 kW - 16,1%. Wydziałami, które cechują się największą ilością uszkodzeń silników są: tkalnia - 33%, wykończalnia - 24,2%, przędzalnia - 14,1% i farbiarnia - 7,2%.



Tablica 4

Zestawienie udziałowych wskaźników uszkodzeń silników elektrycznych w zależności od przyczyn uszkodzeń dla grup mocy, wydziałów i zakładu

Wyszczególnienie	Udziałowy wskaźnik uszkodzeń w, %										Razem
	Praca niepełno fazowa w% 7,7 17,6 2,5 2,2 1,0 -	Zwarcie międzyzwojowe 3,0 3,5 3,5 3,2 1,0 -	Zawilgozcenie u- zwojenia 1,0 1,2 4,2 2,5 0,2	Przebieg u- ciążenie 3,2 2,7 3,0 2,0 0,7 0,2	Zwarcie międzyfazowe 1,7 2,0 2,7 1,2 0,7 0,2	Uszkodzenie łożysk 1,5 2,0 1,2 1,0 -	Uszkodzenie wałka - 4,7 0,2 -	Zwarcie do korpusu 1,0 0,2 1,2 0,5 0,2	Uszkodzenie wirnika 0,5 0,5 1,0 0,7 1,0 -	Inne uszkodzenia mechaniczne 0,7 0,5 1,0 -	
1. Grupa mocy: do 0,6 kW 0,7 + 1,1 kW 1,2 + 2,2 kW 2,3 + 4,0 kW 4,1 + 10,0 kW powyżej 10,0 kW	7,7 17,6 2,5 2,2 1,0 -	3,0 3,5 3,5 3,2 1,0 -	1,0 1,2 4,2 2,5 0,2	3,2 2,7 3,0 2,0 0,7 0,2	1,7 2,0 2,7 1,2 0,7 0,2	1,5 2,0 1,2 1,0 -	- 4,7 0,2 -	1,0 0,2 1,2 0,5 0,2	0,5 0,5 1,0 0,7 1,0 -	0,7 0,5 1,0 -	18,8 34,4 21,3 16,1 8,4 1,0
2. Wydział: Przedziałnia - Oddział przygot. - Tkalnia - Parobielnia - Wykończalnia - Warsztaty i ko- tłownie - Oczyszczalnia - Ścieków - Inne	3,7 3,2 16,9 0,7 4,2 1,0 0,3 1,0	2,5 1,7 3,2 0,7 3,0 1,5 1,0 0,5	- - 4,2 6,5 1,0 0,7 1,0	2,7 2,0 2,5 0,5 3,0 0,2 0,5 0,5	1,7 0,7 2,5 0,2 2,0 1,0 0,5	1,2 0,5 0,7 0,5 2,5 -	- 0,2 4,7 -	1,2 0,7 0,5 0,3 1,5 0,3	0,5 0,3 0,7 - 1,5 0,7	0,5 0,2 1,2 0,3 - -	14,1 9,6 33,0 7,2 24,2 5,7 2,5 3,7
3 Zakład	31,0	14,1	13,4	11,9	8,6	5,7	4,9	4,5	3,7	2,2	100

#### 4. Analiza przyczyn uszkodzeń silników elektrycznych

Praca niepełnofazowa (31% wszystkich uszkodzeń) jest powodowana między innymi przerwaniem przewodu jednej z faz przy tabliczce zaciskowej silnika. Przerwanie przewodu występuje przy silnikach na wydziale tkalni. Krosno w czasie pracy drga. Drgania te przenoszą się na silnik. Silnik jest podłączony do obwodu przewodami jednodrutowymi, umieszczonymi w węźle elastycznym. Drgania krosien doprowadzają w efekcie do ułamania przewodów, doprowadzających energię elektryczną do silników. Poza ułamaniem w przewodach przerwy powodowane są przez nieodpowiednie złącza stykowe w łącznikach i przepalenie jednego z trzech bezpieczników.

Praca niepełnofazowa powoduje wzrost prądu ponad wartość znamionową. Przy poprawnym działaniu zabezpieczeń przeciążeniowych, uszkodzenie silnika w wyniku jego pracy niepełnofazowej nie powinno wystąpić. Przeprowadzone badania [5] wyzwalaczy termicznych, współpracujących z uszkodzonymi silnikami, wykazały zgodność ich charakterystyk z obowiązującymi normami.

Widać z tego, że do aktualnie produkowanych silników niskiego napięcia serii "e" nie ma pełnosprawnych zabezpieczeń przeciążeniowych. Szerokie uzasadnienie tego stwierdzenia jest podane w literaturze [4], [6], [7],

Zwarcia w silniku (27,2% wszystkich uszkodzeń). Uszkodzenia silników w wyniku zwarć wewnętrznych, wynikają przede wszystkim z nieodpowiedniego materiału. W rozpatrywanym zakładzie zwarcia wewnętrzne występują najczęściej w silnikach, remontowanych w warsztacie zakładowym. Ze względów dystrybucyjnych cewki wykonuje się z drutu nawojowego II-go gatunku. W wyniku tego silniki po remoncie cechuje duża zawodność.

Zawilgocenie uzwojeń (13,4% wszystkich uszkodzeń) występuje najczęściej w wydziałach farbiarni i wykończalni i jest związane z charakterem procesu technologicznego w tych wydziałach.

Przeciążenie (11,9% wszystkich uszkodzeń) spowodowane jest z reguły przez urządzenie napędzane (zatarcie łożysk, uszkodzenie przekładni) oraz przez warunki otoczenia (utrudnione warunki chłodzenia). Przeciążenia wynikające z uszkodzeń mechanicznych powinny być eliminowane przez zabezpieczenie termiczne, czego niestety bardzo często nie da się zrealizować. Zabezpieczenie termiczne nie reaguje na przeciążenia spowodowane warunkami otoczenia, co ma miejsce w przędzalni. Wydatną poprawę można uzyskać przez stosowanie zabezpieczeń czujnikowych [7].

Uszkodzenie wałka (4,9% wszystkich uszkodzeń) występuje przeważnie w silnikach Schwabe - D3 wskutek pęknięcia. Silniki te posiadają wąski rozstaw łożysk w stosunku do długości czopa i przy silniejszym naprężeniu paska, co ma miejsce przy krosnach, wałki pękają. Występuje również bardzo często uszkodzenie rowków na kliny mocujące koło napędowe.



## 5. Wnioski i zalecenia

Wskaźnik uszkodzeń silników niskiego napięcia w Zakładzie Włókienniczym wynosi około 6% i ma tendencję zniżkową.

Najczęściej występującą przyczyną uszkodzeń jest praca niepełnofazowa (31% wszystkich uszkodzeń). Uszkodzenia te można ograniczyć przez:

- zastosowanie elastycznych podejść do silników zainstalowanych przy krosnach w wydziale tkalni,
- indywidualne cechowanie zabezpieczeń przeciążeniowych,
- nastawianie zabezpieczeń przeciążeniowych na prąd znamionowy silnika
- zastosowanie w wydziale przędzalni zabezpieczeń czujnikowych.

Zwarcia wewnętrzne występują przeważnie w silnikach remontowanych w zakładowym warsztacie, w którym używa się do przewijania (z konieczności) drut II-go gatunku. Należy zastąpić stosowany drut drutem nawojowym I-go gatunku. Należy przeprowadzać badania profilaktyczne silników, szczególnie tych, które pracują w trudnych warunkach.

## LITERATURA

1. Gogolewski Z.; Paszek W.; Gabryś W.; Kubek J.: Uszkodzenia maszyn elektrycznych. WNT Warszawa, 1967 r.
2. Kazubski M.: Niezawodność eksploatacyjna silników elektrycznych w prze-myśle materiałów budowlanych. Biuletyn Elektroprojektu nr 7/8, 1970.
3. Kazubski M.; Dyspozycyjność układów i urządzeń zasilania energią elektryczną cementowni. Praca doktorska, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska, 1971.
4. Kucharski J.; Pytel J.: Zabezpieczenia przeciążeniowe silników elektrycznych. Gospodarka Paliwami i Energią nr 1, 1968.
5. Plesch J.: Analiza awaryjności silników elektrycznych w Zakładach Włókienniczych. Praca Dyplomowa, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska, 1972.
6. Pytel J.: Zabezpieczenia czujnikowe silników elektrycznych. Gospodarka Paliwami i Energią cz. 1 nr 2, cz. 2 nr3, 1968.
7. Pytel J.: Wpływ zabezpieczeń przeciążeniowych na awaryjność silników elektrycznych. Materiały konferencyjne. Przemysłowa aparatura niskonapięciowa. Niezawodność elektrycznej aparatury przemysłowej. SEP, Jeleń-Góra, 1971.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ  
В ПРЕДПРИЯТИИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р е з ю м е

В статье представлен качественный и количественный анализ повреждений имеющих место в эксплуатации электрических двигателей низкого напряжения. Статистический материал охватывает анализ работы ок. 1000 штук двигателей в предприятии текстильной промышленности, в годах 1966-1971. В результате проведенного анализа даны рекомендующие указания для электроэнергетической службы и для проектирующих электрические установки в предприятиях текстильной промышленности.

THE ANALYSIS OF THE ELECTRIC MOTORS RELIABILITY IN THE TEXTILE  
INDUSTRY PLANTS

S u m m a r y

The disturbances stepping out in running of electric motors are presented in the paper from the quantitative and qualitative point of view. The statistic material comprises the analysis of about 1000 motors running in the textile industry plants in 1966-1971. The conclusions and recommendations for the electric service and electric installation designers are given as the issue of the analysis.