

Metoda analizy przyczyn źródłowych w praktyce serwisowej maszyn elektrycznych – zagadnienia wybrane

Piotr Janicki, Marek Trajdos

1. Wstęp

W niniejszej pracy przedstawiono zasady oraz metodologię prowadzenia analizy przyczyn źródłowych, jako najlepszej praktyki inżynierskiej. Analiza RCA znajduje zastosowanie w praktyce warsztatowej oraz przy wykonywaniu prac obiektowych dla układów napędowych, a w szczególności przy serwisie różnych rodzajów maszyn elektrycznych oraz urządzeń przez nie napędzanych. Powodem prowadzenia analiz RCA jest głównie dążenie do zmniejszenia wtórnych awarii maszyn, co ma miejsce w wypadkach, gdy wykonano naprawę, a nie określono faktycznej przyczyny zdarzenia. Prowadzi to do kolejnych, powtarzających się uszkodzeń. Dowodzi to faktu, iż w dłuższym okresie nie jest opłacalne nadmierne ograniczanie czasu poświęconego na naprawę kosztem braku głębszej analizy przyczynowo-skutkowej. Doświadczenie wskazuje na efektywność prowadzonych analiz RCA tak dla samych maszyn elektrycznych, jak i w wielu dziedzinach związanych z utrzymaniem ruchu układów napędowych oraz serwisem przemysłowym od organizacji pracy i logistyki po typowe czynności naprawcze.

Metoda RCA narzuca (czy też wymusza) pewnego rodzaju uporządkowanie analizy. Nadaje się też bardzo dobrze do „wmontowania” w różnego rodzaju systemy zarządzania. I wreszcie jest szczególnie efektywna dla powtarzalnych rozważań dotyczących pewnej klasy naprawianych urządzeń. Do której należą też maszyny elektryczne.

2. Zasady analizy RCA

Na rys. 1 pokazano ogólny schemat poszukiwania źródłowej przyczyny awarii. Awaria, a właściwie jej skutki, stanowi w tym ujęciu konsekwencję wystąpienia zjawiska niewidocznego na pierwszy rzut oka.

Poszukując przyczyn obserwowanych skutków, z reguły dość szybko natrafiamy na pierwsze wyjaśnienie, które nie musi jednak być faktycznym wytłumaczeniem zdarzenia. Poszukując dalej, znajdujemy inne, ukryte przyczyny, aby wreszcie dotrzeć do przyczyny źródłowej. Dopiero jej wyeliminowanie zagwarantuje, że dany rodzaj awarii nie będzie powtarzalny.

W tabeli 1 zaproponowano pięć kolejnych kroków poszukiwania przyczyny źródłowej dla obiektów pewnej klasy (tu maszyny elektryczne).

W kroku pierwszym należy ustalić wszystkie objawy zdarzenia awaryjnego, opisać ich formę i miejsca, w których wystąpiły. Wnosi to uporządkowanie do dalszej analizy i eliminuje zaniedbanie mniej na pozór znaczących objawów.

W kroku drugim ustala się przestrzenny obraz zaobserwowanych objawów, związany na przykład z symetrycznym ich wy-

THE METHOD OF THE ROOT CAUSE ANALYSIS IN THE SERVICE PRACTICE OF ELECTRIC MACHINES – CHOSEN QUESTIONS

Abstract: Principles and the methodology of the guidance of the Root Cause Analysis were introduced in the work, as the best engineering practice. The analysis RCA finds the use in the workshop practice and near doing object-oriented works for driving arrangements, and in the peculiarity the service of the various kinds of electric machines. The experience shows on the efficiency of guided analyses in many fields connected with maintenance of the movement of driving arrangements and industrial service from the organization of work and logistics for typical repair actions.

Theoretical considerations were supported examples illustrating the units of the use of this method in the practice of doing renovation and repair works.



Rys. 1. Diagram ilustrujący zasadę poszukiwania przyczyny źródłowej

Tabela 1. Kluczowe kroki analizy RCA dla maszyn elektrycznych

Krok	Opis kroku analizy
Typ awarii	Zaobserwowane objawy, forma i miejsce wystąpienia
Wzorzec awarii	Konfiguracja – np. symetryczna, niesymetryczna, wielokrotna
Symptom awarii	Sprawdzenie elementów maszyny i badanie śladów awarii (np. zawilgocenie)
Zastosowanie	Ustalenie rodzaju pracy maszyny oraz charakterystyk obciążenia lub zasilania
Historia konserwacji	Sprawdzenie wykonywania czynności zalecanych w danym przypadku eksploatacji

stępowaniem (jest to ważne szczególnie dla obiektów z natury symetrycznych, jakimi są maszyny wirujące).

W kroku trzecim badane są poszczególne symptomy awarii. Na przykład wystąpienie uszkodzeń skrętnych wału maszyny wskazuje, że na wał działała siła o kierunku przeciwnym do kierunku obrotów. Wynika z tego, iż do powstania tej siły mógł przyczynić się transformator układu przełączania silnika z jednego źródła zasilania na drugie w warunkach braku zgodności faz lub układ służący do ponownego załączania danego silnika (SZR).

W czwartym kroku należy ustalić sposób pracy maszyny w układzie napędowym, co ściśle koresponduje z powyższym przykładem.

Tabela 2. Kluczowe metody prowadzenia analiz RCA dla maszyn elektrycznych

Metoda	Opis metody
Przyczyny oczywiste	Część przyczyn awarii jest oczywistych (przyczyna pozorna = przyczyna źródłowa wg rys. 1) – ta klasa awarii nie wymaga głębszej analizy
Przyczyny połączone	W wielu wypadkach na awarię składa się wiele przyczyn, różnej natury. Konieczne jest sklasyfikowanie kombinacji przyczyn (iloczyn kartezjański)
Podejście systemowe	Należy analizować maszynę jako element systemu/układu napędowego, ponieważ przyczyny mogą wynikać z szerszego otoczenia
Jednolitość terminologii	Znaczącym ułatwieniem analiz zróżnicowanych przypadków jest minimalizowanie błędów przypadkowych drogą uporządkowania terminologii
Formularze	Listy kontrolne wprowadzają dalsze uporządkowanie oraz chronologię działań (w tym wzrost efektywności analiz)

I wreszcie w kroku piątym należy ustalić, czy nie wprowadzono do napędu czynnika awarii wynikającego z zaniedbania koniecznych czynności eksploatacyjnych (co stanowi dość częstą przyczynę źródłową).

W tabeli 2 podano podstawową listę metod analiz RCA, a w szczególności:



Rys. 2. Uszkodzenie uzwojenia wirnika i chorągiewek komutatora



Rys. 5. Widok komutatora po demontażu. Widoczne wyraźne miejsce zwarcia



Rys. 3. Uszkodzenie prętów i połączeń uzwojenia kompensacyjnego



Rys. 6. Nadmierne smarowanie łożyska. Oczywista przyczyna źródłowa awarii silnika



Rys. 4. Widok komutatora. Zaznaczono miejsce zainicjowania zwarcia

- zastosowanie podejścia kompleksowego do maszyny wraz z jej otoczeniem (np. środowisko – miejsce zainstalowania, zasilanie, urządzenie sprzęgające itd.) – brak podejścia z uwzględnieniem otoczenia może doprowadzić do braku efektów analizy lub określenia jedynie przyczyny pozornej (rys. 1);
- uporządkowanie pojęć (nomenklatura, słownik pojęć, klasyfikacja);
- uporządkowanie postępowania (algorytm analizy narzucony formalizmem, np. lista kontrolna, wzorce analiz).

Celem stosowania wspomnianych wyżej metodologii jest zwiększenie niezawodności analizy przez sklasyfikowanie przypadków, uporządkowanie, narzucenie algorytmu postępowania i określonych technik poszukiwania przyczyn awarii. Metodologia ta zwiększa prawdopodobieństwo natrafienia na prawdziwą przyczynę źródłową.

- szybką eliminację konieczności głębszej analizy, ze względu na zaklasyfikowanie awarii do grupy wywołanej jednoznacznie przyczyną (np. zalanie uzwojenia wodą);
- zwrócenie uwagi na możliwość jednoczesnego wystąpienia wielu zróżnicowanych przyczyn awarii (np. oddziaływań dynamicznych zarówno na stojan, jak i wirnik);

3. Przykłady

Każda awaria maszyny elektrycznej może stanowić bodziec do przeprowadzenia analizy RCA. Wybór metody prowadzenia analizy zależy m.in. od rodzaju maszyny, stopnia uszkodzenia.

W niniejszej pracy przedstawiono dwa różne przykłady awarii, które poddano analizie, opierając się na wybranych metodach opisanych w tabeli 2.

Przykład 1

Awaria silnika prądu stałego o mocy 4300 kW

Awaria, której uległ ten silnik, miała katastrofalne skutki. Uszkodzeniu uległy niemal wszystkie elementy silnika. Analiza przyczyn źródłowych tej awarii wymaga zastosowania kompleksowego podejścia. Na rys. 2–3 przedstawiono skutki awarii.

Pierwszym krokiem analizy były dokładne oględziny i badania uszkodzonych elementów oraz stworzenie dokumentacji fotograficznej.

Dokonano również wywiadu z użytkownikiem, aby poznać szczegóły dotyczące przebiegu awarii oraz pracy silnika przed wystąpieniem awarii. Wykluczono w ten sposób błędy związane z obsługą oraz działanie czynników zewnętrznych.

Po wykonaniu analizy zlokalizowano miejsce inicjacji uszkodzeń. Widoczne jest ono na rys. 4. W tym miejscu powstał łuk elektryczny, który doprowadził do rozerwania bandaży szklanego na wyprowadzeniach uzwojenia do komutatora. Działająca na niezabezpieczone uzwojenie siła odśrodkowa rozerwała je i doprowadziła do zniszczeń w stojanie – rys. 2 i 3. Dalsze poszukiwania przyczyny źródłowej kierowały uwagę na komutator. Po badaniach i demontażu komutatora stwierdzono zwarcie wycinków (rys. 5) oraz uszkodzenie izolacji komutatora do masy. Przyczyna źródłowa została zidentyfikowana.

Podany przykład obrazuje, jak istotna jest potrzeba głębokiej analizy przyczyn awarii szczególnie w dużych napędach. Kompleksowe podejście, mimo iż bardziej czasochłonne, jest w dłuższym okresie czasu zdecydowanie bardziej opłacalne.

Przykład 2

Awaria silnika samotokowego

Użytkownik tego silnika nadmiernie nasmarował łożysko od strony napędowej. Smar przedostał się do wnętrza silnika, doprowadzając do uszkodzenia uzwojenia stojana.

Mimo iż w podanym przykładzie głębsza analiza nie jest wymagana, to działając zgodnie z metodologią analiz RCA, należy wskazać użytkownikowi przyczynę awarii, tak aby mógł w przyszłości wyeliminować awarie silników spowodowane nadmiernym smarowaniem łożysk.

5. Podsumowanie

Przedstawione wyżej metody i przykłady analizy mają na celu zwrócenie uwagi Czytelnika na potrzebę prowadzenia rzetelnych rozważań generowanych wystąpieniem awarii w kierunku zmniejszenia prawdopodobieństwa ich powtarzania się.

Największą efektywność w tej metodzie uzyskuje się oczywiście dla określonej klasy zagadnień (analizy obiektów określonej klasy) – tu maszyn elektrycznych. Zastosowane metody pozwalają również na przyspieszenie procesu zdobywania doświadczenia przez kadrę inżynierską rozpoczynającą drogę zawodową.

6. Literatura

- [1] *Root Cause Failure Analysis*. EASA St. Louis Missouri USA 2004.
- [2] *Analiza przyczyn źródłowych*. TQM Soft Kraków 2010, materiały szkoleniowe.

mgr inż. Piotr Janicki – kieruje warsztatem naprawczym, remontowym i diagnostycznym maszyn i urządzeń elektrycznych firmy Partner Serwis w Dąbrowie Górniczej,
e-mail: piotr.janicki@grupapartner.pl;
mgr inż. Marek Trajdos – Dyrektor Zarządzania Wiedzą, Rozwojem i Zasobami Ludzkimi firmy Partner Serwis,
e-mail: marek.trajdos@grupapartner.pl

artykuł recenzowany