

Atila Kiss, GE HUNGARY Kft

Ryszard Nowicki, GE POWER CONTROLS Sp. z o.o., Poznań

ZARZĄDZANIE STANEM TECHNICZNYM NAPĘDÓW POMP KRYTYCZNYCH

CONDITION MANAGEMENT OF CRITICAL PUMP DRIVERS

Streszczenie: W artykule omówiono wykorzystanie różnego typu analiz dla diagnostyki silników elektrycznych wykorzystywanych do napędów pomp i zorientowanych na pęknięcia prętów wirnika. Pokazano dwa przykłady analiz. Pierwszy z nich dotyczy silnika napędzającego krytyczną pompę garnkową na instalacji opóźnionego koksowania, drugi natomiast dotyczy agregatu nadzorowanego z pomocą sprzętowego systemu detekcji anomalii.

Abstract: This paper describes various analysis used for technical condition diagnostics of electric motors used as pump drivers and oriented on recognition of broken rotor bars. There are discussed two case studies. The 1st one is dedicated to a motor driving a barrel pump operating as a water cutting pump on delayed cooking unit. The 2nd study considers an aggregate monitored by an anomaly detecting system.

Słowa kluczowe: stan techniczny, diagnostyka silnika, pęknięte pręty wirnika, UR bazujące na stanie technicznym

Keywords: technical condition, motor diagnostics, broken rotor bars, Condition Based Maintenance

1. Wstęp

W [1] i [2] pokazano szereg uszkodzeń wirników silników, natomiast nie zostały omówione metody rozpoznawania i diagnozowania pogarszającego się stanu technicznego silnika.

Ocena stanu technicznego może być realizowana z pomocą metod On-Line lub / i Off-Line. W niniejszej publikacji pokazane zostaną przykłady monitorowania stanu technicznego z pomocą podejścia On-Line.

2. Analizy widmowe w diagnostyce silników

Celem oceny stanu technicznego wirnika silnika indukcyjnego można posłużyć się analizami widmowymi wykonywanymi dla sygnałów z czujników drgań mechanicznych oraz dla sygnałów elektrycznych (analizy prądów, a czasami także napięć). Przykład wykorzystania sygnałów drgań mechanicznych zostanie zaprezentowany w punkcie #3, a w punkcie #4 zostanie przedstawiony przykład wykorzystania w celach diagnostycznych analiz widmowych wykonywanych dla sygnałów elektrycznych. Podejście to zwane jest w literaturze MCSA¹

¹ Motor Current Signature Analysis, tzn. *analiza podpisu prądu silnika* (gdzie słowo „podpis” w angielskim piśmiennictwie diagnostycznym wskazuje na charakterystyczny obraz jakiejś analizy – najczęściej dla dobrego stanu technicznego).

i wykorzystuje się je przede wszystkim w ramach badań diagnostycznych Off-Line (np.[3]).

3. Przykład Nr 1



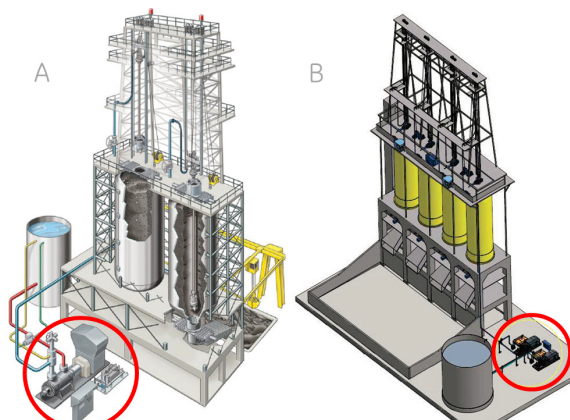
Rys. 1. Agregat PICW na stanowisku testowym

Jednym z krytycznych urządzeń instalacji opóźnionego koksowania (=DCU) jest agregat pompy wykorzystywany do cięcia wodnego koksu (PICW = pompa instalacji cięcia wodnego).

W tym celu są stosowane pompy podobne do pracujących w energetyce pomp wody zasilającej (=PWZ). Ze względu na wymagane duże ciśnienie wody są to pompy garnkowe wymagające napędu o mocy kilku MW. Typowy agregat składa się z silnika, przekładni oraz ww. pompy garnkowej. Na rysunku 1 pokazano przykład typowego agregatu PICW przeznaczonego dla instalacji DCU (wydatek: 295 m³/godz.,

napór: 3231 m, obroty wirnika pompy 4180 RPM, łożyska agregatu: ślizgowe).

Na Rys.2 [4,5] pokazano przykłady dwóch konfiguracji DCU, na których zaznaczono lokalizację agregatów PICW. W przypadku instalacji dwubębnowych (Rys.2A) jest to na ogół pojedynczy agregat, natomiast w przypadku instalacji cztero- (Rys.2B) lub więcej bębnowych wykorzystywane są na ogół dwa agregaty. Są to agregaty krytyczne, bowiem od poprawności ich działania zależy wynik finansowy całej instalacji (wartość dobową produkcji przekracza na ogół 2 mln zł).



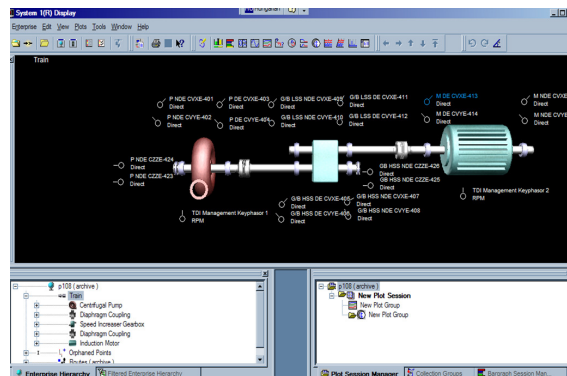
Rys. 2. Konfiguracje instalacji opóźnionego koksowania z zaznaczonymi agregatami PICW

W odróżnieniu od agregatów PWZ, które pracują w reżimie ciągłym, agregaty PICW uruchamiane są od jednego (w przypadku instalacji jak na rysunku 2A) do kilku razy dziennie (dla DCU wielobębnowych) na czas ~1 godziny.

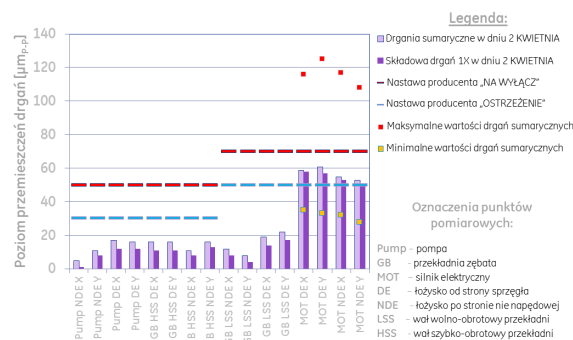
Ze względu na krytyczność agregaty PICW są wyposażane w system monitorowania i zabezpieczenia stanu technicznego On-Line obejmujący pierwszoplanowo kontrolę drgań, położenia i temperatur węzłów łożyskowych oraz uzwojeń silnika. Nad systemem monitorowania i zabezpieczeń nadbudowywany jest na ogół system diagnostyki stanu technicznego.

Na rysunku 3 pokazano przykładowy zrzut startowego ekranu systemu diagnostyki agregatu PICW.

W jednej rafinerii stwierdzono podniesienie poziomu drgań silnika agregatu PICW tak, jak to pokazano na rysunku 4. Z analizy wynika, że pozostałe elementy agregatu cechowały się poziomami drgań znacznie poniżej nastaw alarmowych.



Rys. 3. Ekran systemu diagnostyki **SYSTEM 1** agregatu PICW

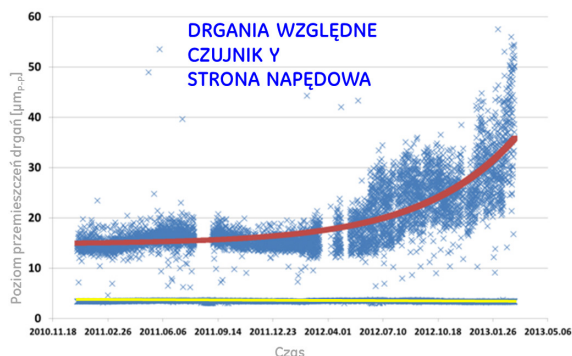


Rys. 4. Wyniki pomiarów agregatu PICW

Dokonano przeglądu bieżących i historycznych danych zarejestrowanych w dwóch różnych systemach diagnostyki, bowiem pierwotnie wykorzystywany był system skaningowy, który następnie zastąpiono bardziej zaawansowanym systemem diagnostyki On-Line **SYSTEM 1**.

Na rysunku 5 pokazano historię (~30 miesięcy) zmiany poziomu drgań dla wybranego czujnika silnika (pozostałe czujniki zainstalowane na silniku prezentowały bardzo podobne trendy drgań).

Niebieskie punkty pokazują wartości pomiarów drgań natomiast dwie dodatkowe linie informują o trendzie drgań: linia czerwona pokazuje zmianę poziomu drgań dla pracującego silnika, natomiast linia żółta w czasie jego postoju. Na rysunku widoczny jest wyraźny wzrost poziomu drgań (w ciągu ostatnich ~18 miesięcy pracy agregatu) oraz wyraźne zwiększenie rozrzutu mierzonych wartości. Rozrzut w warunkach roboczych jest konsekwencją pracy agregatu PICW pod różnym obciążeniem, natomiast drgania obserwowane w czasie postoju agregatu są rezultatem pobudzenia generowanego przez środowisko, w którym PICW jest zainstalowana.



Rys. 5. Wyniki pomiarów drgań silnika agregatu PICW

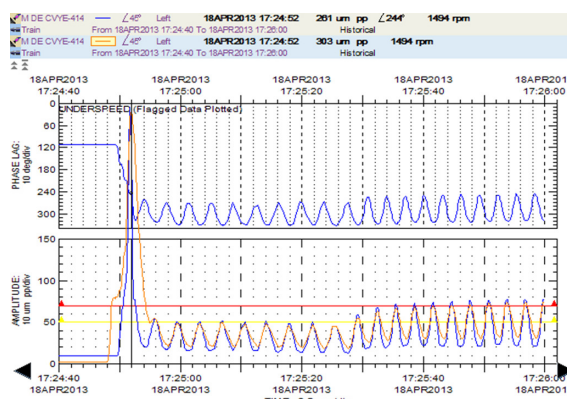
Dodatkowo system nadzoru stanu technicznego umożliwił zaobserwowanie dwóch problemów natury rozruchowej silnika, których istota jest zaprezentowana na rysunkach 6 i 7. Przedstawiają one stosunkowo rzadko wykorzystywane przez diagnostów analizy APHT NX. Nazwa APHT analizy pochodzi od angielskiego zwrotu *Amplitude and Phase in Time* co oznacza zmianę amplitudy i fazy wektora drgań NX w czasie. Charakterystyki APHT mogą być wykonywane w układzie współrzędnych *prostokątnych* (Rys.6) lub *biegunowych* (Rys.7). Charakterystyka APHT w prostokątnym układzie współrzędnych składa się z dwóch wykresów, z których jeden (tu ten górny) przedstawia zmianę fazy drgań składowej NX (tu: N=1), natomiast wykres dolny winien pokazywać charakterystykę zmiany amplitudy wektora NX w czasie.

W omawianym przypadku na charakterystyce dolnej widoczne są dwie krzywe. Jedna z nich (tu: w kolorze granatowym) przedstawia rzeczony zmianę amplitudy 1X, natomiast druga krzywa (tu: pomarańczowa) informuje o sumarycznym poziomie drgań (zmiana magnitudy drgań w czasie).

Z charakterystyki tej wyciągnąć można następujące wnioski: pierwszym problemem jest silny wzrost drgań w trakcie rozruchu agregatu, co jest spowodowane przechodzeniem obrotów przez częstotliwość rezonansową (najprawdopodobniej) wirnika. Problem drugi pojawia się w jakiś czas po zakończeniu rozruchu, a więc w fazie ustabilizowanej pracy agregatu PICW.

Na charakterystyce amplitudowej zaznaczono dwie linie poziome (żółtą i czerwoną – odpowiednio na poziomie 50 i 70 μm), które informują o pierwotnych nastawach alarmowych w systemie zabezpieczeń (tu: **SYSTEM 3500**). W fazie rozruchu silnika poziomy drgań zna-

cznie przewyższają nastawę „na wyłącz”, bowiem maksymalny zaobserwowany poziom drgań dla prezentowanego rozruchu wynosił (krótkotrwanie) 303 μm , co ponad czterokrotnie przewyższało nastawę „na wyłącz”. W związku z tym, że system zabezpieczeń **SYSTEM 3500** dysponuje funkcjonalnością *trip multiply* (dla wykorzystywanych monitorów do 300% z krokiem 25%) mogła być ona uwzględniana w procesie konfiguracji zabezpieczenia. Natomiast wykorzystanie jedynie tej funkcjonalności okazało się niewystarczające dla skutecznego rozruchu agregatu.



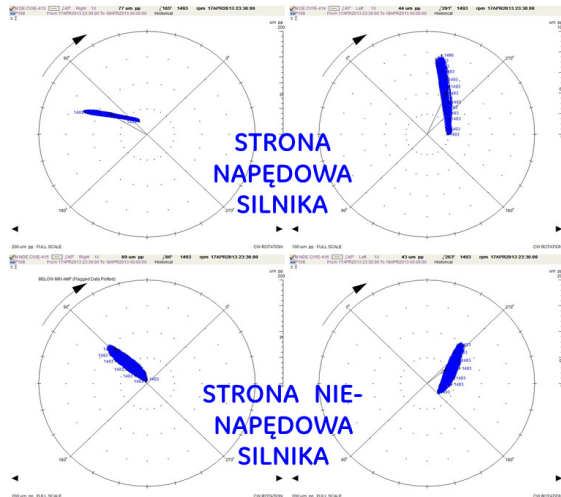
Rys. 6. Krótkoczasowa analiza APHT 1X dla sygnału drgań względnych wirnika silnika

Po osiągnięciu pełnej prędkości obrotowej ~ 1495 RPM (czas rozruchu nie przekraczał 6 [s]) obserwowana jest okresowa zmiana poziomu drgań i fazy, a czas tej okresowości wynosi kilka sekund. Bezpośrednio po rozruchu silnika chwilowe maksymalne poziomy drgań są zbliżone do wartości nastawy ALERT systemu monitorowania (tzn. 50 μm).

Następnie, w przeciągu kilkudziesięciu sekund od uruchomienia obserwuje się wzrastający trend poziomu drgań, czemu towarzyszy wzrastający rozrzut ich minimalnych i maksymalnych wartości. Po czasie ~ 1 minuty wartości maksymalne poziomu drgań zaczynają chwilowo (na czas ~ 1 [s]) przekraczać wyższą wartość alarmową w systemie zabezpieczeń (co jest widoczne w prawej części charakterystyki pokazanej na Rys.6).

Charakterystyka fazowa na rysunku 6 pokazuje zmianę kąta fazowego o $\sim 180^\circ$ co wskazuje, że wirnik pracuje z obrotami znacznie wyższymi od obrotów odpowiadających jego pierwszej częstotliwości rezonansowej drgań giętych (ta częstotliwość rezonansowa może być najlepiej określona w oparciu o wykresy BODE'go dla sygnałów z czujników drgań względnych).

Z wykresu amplitudowego widać również, że składowa drgań 1X różni się nieznacznie od magnitudy drgań sumarycznych (co świadczy o znikomym udziale energetycznym innych składowych drgań – a praktycznie o ich braku).



Rys. 7. Biegunowe analizy APHT 1X dla czujników drgań względnych wirnika silnika

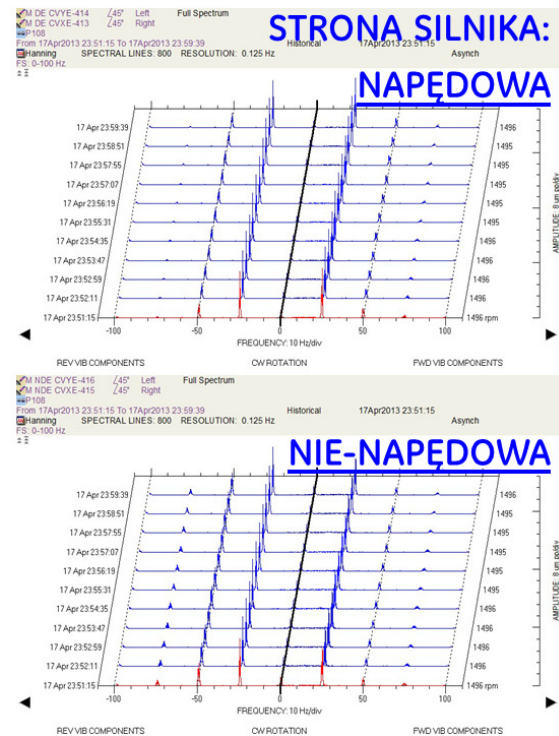
Na rysunku 7 pokazano charakterystyki biegunowe APHT 1X dla obu węzłów łożyskowych silnika w warunkach jego pracy stacjonarnej (czas wykonywania charakterystyk: ~40 s). Widoczna jest elipsoidalna zmiana składowej drgań 1X odpowiedzialnej za niewyważenie wirnika.

W przypadku analizowanego obiektu, na wektor niewyważenia składają się wektor niewyważenia mechanicznego oraz wektor niewyważenia elektromagnetycznego. Fluktuacja wektora całkowitego niewyważenia wirnika jest okresowa i wyraźnie widoczna tak na rysunku 6, jak i na rysunku 7. Za tę fluktuację musi być odpowiedzialna składowa elektromagnetyczna, bowiem nie jest praktycznie możliwe, aby za tak szybką zmianę mogła być odpowiedzialna fluktuacja składowej mechanicznej.

W analizowanym przypadku, widoczny na Rys. 6 wzrost średnich drgań, obserwowany po czasie ~1 minuty od uruchomieniu silnika, świadczy o postępującej stabilizacji cieplnej wirnika, której towarzyszył wzrost jego niewyważenia². Celem stwierdzenia występowania modulacyjnych składowych drgań mechanicznych (można się spodziewać ich występowania w przypadku

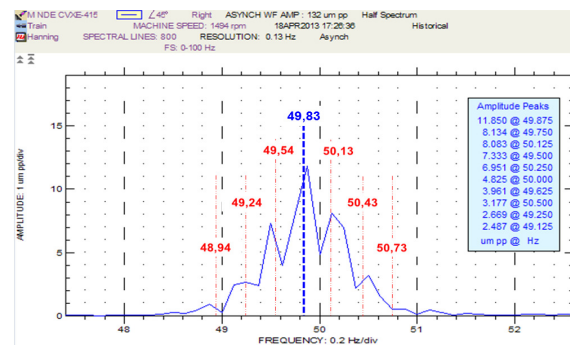
² Stabilizacja cieplna nie w każdym przypadku powoduje wzrost poziomu drgań. Może ona również dobrze nie wpływać na jego zmianę, lub powodować jego obniżenie.

silników asynchronicznych) wykonano analizy pełnych widm dla łożysk DE i NDE silnika.



Rys. 8. Analizy widma pełnego dla obu stron silnika napędzającego PICW

Analizy te pokazano na rysunku 8. W widmach po stronie dodatniej częstotliwości widoczne są przede wszystkim składowe drgań 1X natomiast po stronie ujemnej widma obserwuje się dodatkowo nieco większą energię dla składowych 2X oraz 3X. Wykonanie bardziej rozdzielczej analizy w rejonie częstotliwości odpowiadającej częstotliwości sieci zasilającej silnika pozwala na lepsze rozpoznanie problemu. Znamienne jest występowanie składowych modulacyjnych drgań wokół składowej obrotowej i jej harmonicznych – na rysunku 9 pokazano przykładowo ZOOM w paśmie częstotliwości zawierającym składową 2X.



Rys. 9. ZOOM analizy widmowej wokół wybranej harmoniki drgań mechanicznych

Taki charakter drgań mechanicznych, będący wynikiem pobudzenia elektromagnetycznego jest na ogół powodowany złym stanem technicznym wirnika silnika (pęknięte pręty klatki) i może być także obserwowany dla analiz typu ZOOM wykonywanych w paśmie zawierającym składową obrotową, jak i jej harmoniczne. Postępujący w czasie wzrost drgań widoczny na rysunku 5 jest powodowany pogłębiającym się wzrostem niewyważenia wirnika będącego następstwem postępującej dezintegracji prętów z pierścieniami zwierającymi klatki.



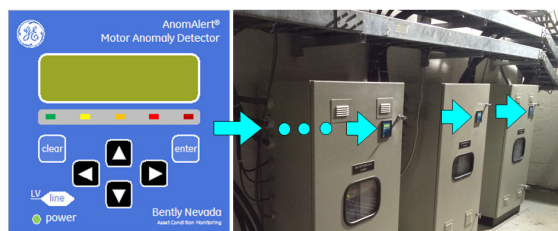
Rys. 10. Uszkodzenie wirnika silnika PICW

Stan techniczny agregatu będzie w sposób oczywisty wpływał na postępujące tempo destrukcji. Na rysunku 10 pokazano zaawansowanie dezintegracji mechanicznej klatki silnika pompy cięcia wodnego po przekazaniu silnika do remontu.

4. Przykład Nr 2

W [6] omówiono szereg przykładów zastosowania sprzętowego systemu rozpoznawania anomalii On-Line AnomAlert dedykowanego pracy agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi wykorzystywanymi w hucie. Takie samo rozwiązanie może być wykorzystywane dla rozpoznawania anomalii pracy innych agregatów, w tym także agregatów pompowych.

Na rysunku 11 pokazano przykład zastosowania sprzętowego systemu detekcji anomalii AnomAlert dla oceny grupy agregatów pompowych (pompa robocza + dwie pompy rezerwowe). Na fotografii widoczne są 3 szafy sterujące tymi agregatami. Każdy agregat pompowy jest nadzorowany z pomocą indywidualnego systemu AnomAlert, do którego są podłączone sygnały napięciowe i prądowe zasilania silnika ze wszystkich trzech faz. Monitory AnomAlert zostały w tym przypadku zainstalowane w drzwiach szaf (pokazane na fotografii strzałkami).



Rys. 11. Monitor AnomAlert wykorzystywany w systemach sterowania i nadzoru pomp

Na rysunku 12 pokazano przykład oceny stanu technicznego agregatu z pomocą monitora AnomAlert. W lewej kolumnie prezentowana jest ocena integralności mechanicznej agregatu wraz z oceną jego konstrukcji wsporczej, natomiast w prawej kolumnie ocena właściwości elektrycznych. Historycznie, dla opisywanego przypadku, pojawiły się najpierw komunikaty „1” i „2” zgłaszające wątpliwości, co do poprawności wyważenia, osiowania, zaszprzęglenia oraz stanu technicznego łożysk tocznych, tak w odniesieniu do jednostki napędowej, jak i napędzanej maszyny. W jakiś czas potem pojawił się alarm „3” zgłaszający celowość sprawdzenia wirnika. Natomiast po stronie ocen elektrycznych system AnomAlert zwrócił uwagę na: „4” - stosunkowo niską wartość współczynnika mocy (0,78); „5” - stosunkowo wysokie niewyważenie prądowe (17%), oraz „6” - stosunkowo wysoki współczynnik zniekształceń harmonicznych (6,5%).

EQUIPMENT STATUS		ELECTRICAL VALUES	
OK	Loose Foundation / Components	Watch 4	Power Factor 0.78
OK	Unbalance/Misalignment/Coupling/Bearing	OK	Active Power [kW] 148
OK	Transmission Element / Driven Equipment	OK	Reactive Power [kVar] 118
OK	Bearing	OK	Vrms [V] 3191
Examine 3	Rotor	OK	Irms [A] 20
OK	Loose Windings / Stator / Short Circuit	Watch 5	V Imbalance[%] 0.57
OK	Internal Electrical Fault	OK	I Imbalance[%] 17
OK	External Electrical Fault	Watch 6	Frequency [Hz] 50
OK	Other	OK	THD [%] 6.5
OK	Line Status	OK	3th Harmonic [%] 1.9
OK	Load Status	OK	5th Harmonic [%] 4.9
		OK	7th Harmonic [%] 1.7
		OK	9th Harmonic [%] 0.16
		OK	11th Harmonic [%] 0.66
		OK	13th Harmonic [%] 0.40

Rys. 12. Wynik raportu zbiorczego AnomAlert oceny agregatu pompowego

W przypadku podłączenia systemu AnomAlert do komputera możliwe jest wykonanie analiz widmowych podłączonych do monitora sygnałów elektrycznych. Na rysunku 13 pokazano wynik analizy widmowej prądu.



Rys. 13. Wynik analizy widmowej natężenia prądu z systemu AnomAlert

Na analizie tej widoczne jest bardzo silne zaawansowanie wstęg bocznych w stosunku do składowej odpowiadającej częstotliwości sieci, bowiem wstęgi są niższe od wymienionej składowej jedynie o $\sim 3,2$ dB.

Oszacowanie stopnia zaawansowania destrukcji wirnika możliwe jest analitycznie bazując na zaawansowaniu rozwoju wstęg bocznych. W tym celu można posługiwać się tabelaryzowanymi wytycznymi podanymi w [7] lub zależnością estymującą liczbę n zerwanych prętów wirnika [8]:

$$n = \frac{2R}{\left(10^{\frac{N}{20} + p}\right)}$$

gdzie:

- n – estymowana liczba urwanych prętów,
- R – liczba żłobków wirnika,
- N – obniżenie średniej wartości amplitud wstęg bocznych w stosunku do poziomu składowej częstotliwości sieci w [dB],
- p – liczba par biegunów.

W świetle ww wytycznych zaleca się natychmiastowe zatrzymanie agregatu ze względu na katastrofalnie zaawansowane uszkodzenie wirnika silnika, natomiast powyższa zależność (przyjmując $R=60$ i $p=2$) prowadzi do oszacowania, że urwanych jest 35 prętów wirnika.

5. Przyczyny kumulacji naprężeń w klatce

Uzwojenia klatki wirnika podlegają złożonemu stanowi naprężeń, który cechuje się szczególnie dużą dynamiką zmian w fazie rozruchu agregatu pompowego. Zmiany w czasie rozruchu oraz bezpośrednio po nim powodowane są przede wszystkim przez:

- (i) siły elektrodynamiczne działające na pręty klatki wirnika (głównie w części żłobkowej),
- (ii) siły odśrodkowe wzrastające parabolicznie wraz ze wzrostem prędkości obrotowej, aż do osiągnięcia nominalnej prędkości obrotów wirnika,

(iii) siły tnące / giętne będące konsekwencją momentu skręcającego wirnika; siły te są skierowane w kierunku prostopadłym tak do osi wirnika, jak i do w/w sił odśrodkowych; zmieniają się one dynamicznie w fazie rozruchu i wynikają z różnicy między momentem napędowym (generowanym przez pole elektromagnetyczne) oraz momentem oporowym (generowanym przez pompę oraz opory ruchu medium w układzie hydraulicznym),

(iv) zmienność lub przemienność kierunku działania sił: zmiana znaku naprężeń dynamicznych może mieć miejsce w przypadku maszyn napędzanych poprzez przekładnie zębate; siły o zmieniającym się znaku mogą się pobudzać w przypadku częstotliwości wymuszenia momentowego bliskiego skrajnej częstotliwości rezonansowej systemu wirników; w przypadku takich napędów będą się okresowo pojawiać drgania skrętne, które są trudno rozpoznawalne, bowiem maszyny rzadko są wyposażane w system monitorowania momentu i/lub drgań skrętnych; drgania te są wysoce destrukcyjne ze względu na bardzo słabe tłumienie materiałowe odpowiadające tej formy drgań; w tradycyjnym systemie monitorowania możliwe jest zaobserwowanie przejściowego wzrostu mierzonych wartości, co może mieć miejsce w przypadku sprzęgania się drgań skrętnych z drganiami giętymi wirnika (wirników) lub pobudzenia do drgań pewnych elementów konstrukcyjnych agregatu (np. na kierunku osiowym); w przypadku agregatów pompowych pracujących w warunkach ustalonych rzadko będzie dochodzić do pojawienia się okoliczności sprzyjających generowaniu drgań skrętnych; natomiast można znaleźć przykłady wielu agregatów napędzanych silnikami, dla których moment oporowy może charakteryzować się dużymi skokami (także o charakterze impulsowym), jak np. dla omawianych w [2] kombajnów górniczych,

(v) zróżnicowanie pola temperatur oraz duży gradient jego zmiany.

Wszystkie ww. przyczyny mogą sprzyjać skróceniu żywotności agregatów PICW.

6. Inne metody oceny wirnika

Oprócz dwóch technik opisanych w artykule, w praktyce wykorzystywanych jest jeszcze kilka innych technik rozpoznawania uszkodzeń klatek wirników w reżimie On-Line. Są to m.in.: analiza strumienia magnetycznego w szczelinie powietrznej (realizowana z pomo-

cą czujnika mocowanego do stojana i śledzącego zmiany pola na kierunku promieniowym), analiza strumienia magnetycznego na kierunku osiowym wirnika, analiza prędkości obrotowej wirnika, analiza wektorowa prądu z pomocą transformaty Park'a. Zdecydowana większość prac w tym kierunku bazuje na analizach wykonywanych w warunkach ustalonej pracy silnika, natomiast pojawiają się także coraz częściej prace badawcze dedykowane rozpoznawaniu tego typu uszkodzenia, realizowane w warunkach niestacjonarnej pracy silnika (lepiej: w czasie jego rozruchu).

7. Zakończenie

W przypadku instalacji opóźnionego koksowania z pomocą technik drganiowych jest nadzorowanych oprócz PICW kilka innych maszyn i urządzeń tak pod kątem zmiany stanu technicznego jak i ze względu na optymalizację realizowanego procesu produkcyjnego. Pierwsza tego typu instalacja w Polsce jest planowana do uruchomienia ok. roku 2017 przez LOTOS.

Przy realizowaniu tego typu inwestycji celem jest zadbanie o standaryzację rozwiązań systemu wspomagania oceny stanu technicznego, tak na poziomie już wykorzystywanych czujników oraz systemów monitorowania i zabezpieczeń, jak również na poziomie kompatybilności z wykorzystywanym aktualnie w przedsiębiorstwie systemem diagnostyki.

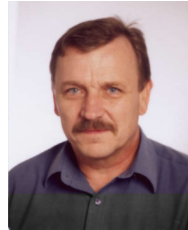
Literatura

- [1]. Drak B.: Typowe uszkodzenia silników indukcyjnych dużej mocy, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, Nr 89/2011.
- [2]. Drak B.: Zniszczenie kłatek rozruchowych wirników dwukłatkowych silników indukcyjnych, *Napędy i Sterowanie* Nr 3, Marzec 2013, str. 114-117.
- [3]. Thomson W. T., Gilmore R. J.: *Motor Current Signature Analysis to Detect Faults In Induction Motor Drives – Fundamentals, Data Interpretation, and Industrial Case Histories*, Proceedings of 32nd Turbomachinery Symposium, 2003.
- [4]. Paul W., *Automatic Coke Cutting - State of the art of Hydraulic Decoking Systems*, Barcelona, Spain 30th NOV – 2nd DEC 2010, RUHRPUMPEN GmbH.
- [5] *Hydraulic Decoking System Equipment*, Bulletin PS-90-6i (E) October 2014. © 2014 Flowserve Corp.
- [6]. Song J., Nowicki R., Duyar A.: Sprzętowe rozpoznawanie anomalii pracy agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi, *Napędy i Sterowanie* Nr 1, Styczeń 2014, str. 96-106.

[7]. Penrose H. W.: *Evaluating Induction Motor Rotor Bars with Electrical Signature Analysis*, © 2006, SUCCESS by DESIGN.

[8]. Thomson W. T., Rankin D.: *Case Histories of Rotor Winding Fault Diagnosis in Induction Motors*, 2nd International Conference on Condition Monitoring, University College of Swansea, Wales, UK, 1987.

Autorzy



Attila Kiss
GE Measurement & Controls
GE HUNGARY Kft
Akácos, East Gate Business
Park F2 Building
2151 Fót, Hungary
Attila1.Kiss@ge.com
(+36) 30 57 44 715



Dr inż. Ryszard Nowicki
GE POWER CONTROLS,
Od. Bently Nevada;
60-432 Poznań, ul. Myśluborska 62
Ryszard.Nowicki@ge.com
(+48) 601 710 700