

Teodor WERBOWSKI
Mohmoud HOUSSIN
Politechnika Śląska, Gliwice

DIAGNOSTYKA EKSPLOATACYJNA WENTYLATORÓW KOŁOWYCH W ZAKŁADACH ENERGETYKI CIEPLNEJ

Streszczenie. W prezentowanym artykule przedstawiono wybrane aspekty diagnostyki technicznej w odniesieniu do wentylatorów kołowych eksploatowanych w krajowych zakładach energetyki cieplnej. W szczególności, na podstawie wieloletnich doświadczeń podano najważniejsze przyczyny niesprawności oraz wpływ różnych czynników na żywotność tej grupy maszyn. Przedstawione zostały najważniejsze błędy konstrukcyjne wentylatorów krajowych, obniżające dyspozycyjność i zwiększające koszty eksploatacji.

MAINTENANCE DIAGNOSIS OF BOILER FANS IN THERMAL POWER PLANTS

Summary. Authors of this paper described some aspects of maintenance diagnosis boiler's fans in some home thermal power plant. Particular they made know their experiences in this subject and described more important reasons of inefficiency boiler's fans.

BETRIEBSDIAGNOSTIK DER DAMPFERZEUGERVENTILATOREN IN HEIZKRAFTWERKEN

Zusammenfassung. Es wurden auserwählte Aspekte technischer Diagnostik von Dampferzeugerventilatoren in den Heizkraftwerken dargestellt. Die wichtigsten Schadenursachen und der Einfluß verschiedenen Faktoren auf die Lebensdauer o.e. Maschinenklasse wurde gegeben. Die wichtigste Konstruktionsfehler, die die Verfügbarkeit vermindern und die Betriebskosten vergrößern wurden dargestellt.

1. WSTĘP

Badania w ramach bieżącej i interwencyjnej diagnostyki eksploatacyjnej wentylatorów kołowych prowadzono na przestrzeni ostatnich kilku lat w zakładach ciepłowniczych, przeważnie Przedsiębiorstw Energetyki Ciepłej i sporadycznie w kotłowniach zakładów przemysłowych Śląska. W większości przypadków były to promieniowe wentylatory spalin, wyłącznie produkcji krajowej, głównie typoszereg WPWD i WPWDS. Z czasem większość badań miała charakter profilaktyczny, a tylko w niewielkim stopniu interwencyjny w związku z różnymi objawami awarii. Bardzo niską świadomość potrzeby profilaktycznej diagnostyki eksploatacyjnej w służbach technicznych powodowała, że współpraca w tym zakresie była nawiązywana dopiero po likwidacji, przy naszej pomocy, uciążliwej awarii. Czasami dopiero po kilku takich przypadkach. Należy przy tym podkreślić, że nawiązana już raz współpraca nabrała trwałego charakteru. Profilaktyczna diagnostyka eksploatacyjna stała się w takich przypadkach uznawaną i wymaganą praktyką przygotowania remontów i sprawdzania maszyn przed sezonem grzewczym. Poza sytuacjami wyjątkowymi, badania sprowadzały się do rutynowych oględzin oraz pomiarów i wibracji obudów łożysk wentylatora i silnika. Ponadto obserwowano zachowanie się maszyn w warunkach przejściowych (rozruch – odstawianie). Przy tym nie ograniczono się wyłącznie do opiniowania stanu technicznego, ale wskazywano na sposoby likwidacji usterek, a tam, gdzie to było niezbędne lub możliwe, nadzorowano niektóre prace lub wykonywano niezbędne prace specjalistyczne. Skojarzenie diagnostyki profilaktycznej z planem remontów doprowadziło po 2–3 sezonach do uporządkowania eksploatacji, likwidacji wszelkich niespodziewanych awarii i wydłużenia czasów bezawaryjnej pracy między poszczególnymi remontami, planowanymi elastycznie na podstawie bieżącej oceny diagnostycznej na przełomie kolejnych sezonów. Zainteresowani potwierdzają nie tylko wzrost niezawodności maszyn, ale również obniżkę kosztów eksploatacji.

2. USTERKI I NIESPRAWNOŚCI WENTYLATORÓW KOTŁOWYCH

Przez usterki i niesprawności rozumiemy, w dalszym ciągu, te wszystkie przyczyny zakłóceń normalnej eksploatacji, które spowodowane są:

- błędami konstrukcyjnymi,
- błędami i niską jakością wykonania,
- błędami i niską jakością montażu,

- błędami eksploatacyjnymi,
- zużyciem eksploatacyjnym.

Rozgraniczenie to jest dość umowne, ponieważ najczęściej mieliśmy do czynienia z pewnymi splotami sytuacyjnymi, w których jedne błędy pociągały za sobą dalsze. Na przykład, brak właściwych rozwiązań konstrukcyjnych przy niekompletnej obsłudze wymuszał niską jakość montażu i nadzoru eksploatacyjnego. Za istotną przyczynę istniejącego stanu rzeczy uważamy bardzo złe wyposażenie w narzędzia i oprzyrządowanie pomocnicze. Należy przy tym mieć świadomość tego, że praca w służbach utrzymania ruchu typowych kotłowni jest bardzo uciążliwa, szczególnie zimą. Stąd dotychczas trudno było znaleźć pracowników o odpowiednich kwalifikacjach. Obecnie, ze względu na recesję w przemyśle sytuacja ulega zmianie. Bez względu jednak na okoliczności należy podkreślić chęć uczenia się właściwej obsługi i montażu ze strony obsługi na miarę możliwości, dużą otwartość na współpracę. Zgromadzone doświadczenia upoważniają nas do stwierdzenia jak niżej.

Podstawową przyczyną nadmiernych drgań jest niewyważenie wirników. W zdecydowanej większości przypadków, w tym również ze względu na rozwiązania konstrukcyjne, jest ono spowodowane niezrównoważoną siłą bezwładności wirowania. Można ją usunąć przez wyważenie kinetostatyczne w łożyskach własnych. Z potrzebą ograniczenia niewyważenia momentowego (wyważenie dynamiczne) spotykaliśmy się sporadycznie. W większości przypadków niewyważenie było spowodowane korozją, erozją lub osadami. Szczególnie kłopotliwe w tym względzie były wirniki z profilowanymi łopatkami powłokowymi. Ich perforacja powodowała dostawanie się do wnętrza wilgoci, pyłów i rdzy. Ze względu na losowe przemieszczanie się zawartości wewnątrz łopatek, wyważanie takich wirników stwarzało problemy techniczne spowodowane dużą zmiennością fazy mierzonych drgań. Z tego powodu należałoby zrezygnować ze stosowania tego typu wirników w wentylatorach spalin lub odpowiednio zabezpieczyć łopatki. W przypadku niektórych kotłowni korozja i „nacieki” związków siarki były szczególnie widoczne. Zapewne uzależnione to było od spalanych węgla. Zauważono znacznie intensywniejszą korozję wirników i obudów wentylatorów w czasie dłuższych postojów, np. w okresie remontu kotła. Dlatego zalecono w takich przypadkach nanoszenie powłok ochronnych przez malowanie natryskowe. Inne przyczyny niewyważenia (wtórne) to: znaczne rozosiowanie wału wentylatora i silnika, znaczna różnica sztywności podparcia oraz nadmierne luzy łożyskowe. Ponadto odnotowano przypadki niedokładnego wyważenia wirnika przez producenta czy też wykonawcę remontu. Należy stwierdzić, że producenci wentylatorów nie zabezpieczyli konstrukcyjnie możliwości poprawnego osiowania wałów wentylatora i silnika. Przy braku oprzyrządowania i kwalifikacji pracowników kotłowni, w większości przypadków problem ten rozwiązano przekonstruowując sprzęgła na "elastyczne". Ogranicza to co prawda siły i momenty obciążające wały w

miejscu zasprężenia, ale jest przyczyną pewnego niewyważenia. Znaczne różnice w sztywności podpór występowały ze względów konstrukcyjnych, z powodu z pododu obluźowania lub zerwania śrub mocujących do fundamentu, uszkodzeń i wad fundamentu, ze względu na charakterystykę gruntu (przy wadliwym fundamentowaniu). Na ogół są to zjawiska związane z tendencją do narastania procesów degradacyjnych wraz ze wzrostem drgań. Na przykład nadmierne długotrwałe podwyższone drgania powodowały zrywanie śrub kotwiących, luzowanie ich w marnej jakości betonie, źle zabrojonym, poddanym działalności korozji olejowej, zamarzającej w szczelinach wody itp. Powoduje to dalszy wzrost drgań wskutek wtórnego niewyważenia, przyśpieszone zużycie łożysk przejawiające się w powiększeniu luzów i dalszy wzrost niewyważenia. W niektórych przypadkach stwierdzono pękanie blach podpór łożyskowych przy podstawie w sąsiedztwie spoin. W skrajnych sytuacjach niebezpiecznych drgań stwierdzono luzowanie śrub łączących oprawy łożyskowe, mocujących oprawy do podpór oraz śrub kotwiących podpory do fundamentów. Niekorzystnie nadmierne luzy promieniowe w łożyskach są powodowane przez zalecenia producenta (obawa przed zatarciem wskutek wzrostu temperatury), w których dostrzega się tendencję do „przewymiarowywania” łożysk i preferowania powiększonych luzów. Dalszy wzrost luzów następuje wskutek zużycia eksploatacyjnego. W skrajnych przypadkach odnotowano pękanie bieżni wewnętrznej. Zalecono w miarę możliwości regulowanie luzów w trakcie eksploatacji, zmniejszając je do granicy, kiedy występuje samoczynny wyczuwalny wzrost temperatury. Wbrew intencjom producentów i ich obawom przed nadmierną temperaturą łożysk zrezygnowano w większości przypadków z wodnego chłodzenia oleju smarującego i chłodzącego łożyska. Nie spowodowało to przekroczenia dopuszczalnych temperatur łożysk, a pozwoliło zlikwidować uciążliwe instalacje chłodzenia wodnego (zamarzanie, wycieki na fundament). W następnej kolejności przewiduje się rezygnację z olejowego smarowania łożysk. Jest ono wymagane w przypadku maszyn szybkoobrotowych, a takimi wentylatory nie są. Ponieważ chłodzenie olejowo-wodne okazuje się zbędne, wydaje się odpowiednie przejście na smary stałe i zwarte obudowy łożysk. Uprości to obsługę i pozwoli uniknąć uciążliwych wycieków oleju powodujących między innymi olejową korozję fundamentu. Zwiększy to również niezawodność, ponieważ brak lub niski poziom oleju mogą być przyczyną pogorszenia warunków smarowania i chłodzenia. Stwierdzono bowiem takie przypadki wycieków przez nieszczelności oraz z powodu pęknięcia obudowy łożyska.

W przypadku niektórych typów wentylatorów zbyt wysokie stojaki łożyskowe na swobodnym końcu wału mają za małą sztywność, szczególnie w kierunku osiowym. Było to przyczyną kłopotów eksploatacyjnych. W związku z nadmiernymi drganiami nawet przy dobrym wyrównoważeniu i osiowaniu

wału pękały i luzowały się śruby kotwiące wskutek dużych momentów gnących ze strony podatnych w kierunku osiowym stojaków.

Pochodne niesprawności eksploatacyjne o mniejszym znaczeniu to: ocieranie wlotów wirników o obudowy oraz wałów o uszczelnienia końcowe i dławiki obudów łożyskowych, powodujące drgania wyraźnie nieliniowe ze wszystkimi tego konsekwencjami. W niesprzyjających okolicznościach następowało wzajemne „zdudnianie” się drgań, wskutek przenoszenia ich za pośrednictwem fundamentów i gruntu, między sąsiadującymi maszynami o nieznacznie różnych prędkościach, przy niekorzystnych relacjach fazowych między niewyważeniem poszczególnych wirników. Obserwowano wówczas charakterystyczne wolnozmiennie narastanie poziomu drgań ze składową o częstotliwości $\Delta F = f_1 - f_2 = (f + \Delta F) - f$ oraz składową $2f + \Delta F = f_1 + f_2$, tzn. około $2f$. Zjawisko to eliminowano wyłączając/włączając jedną z maszyn w celu zmiany różnicy faz między niewyważeniem poszczególnych maszyn. W niektórych przypadkach nadmiernych luzów na zużytych gumowych tulejach sworzni sprzęgieł półsztywnych oraz zaburzeń napędu ze strony silnika elektrycznego, stwierdzaliśmy występowanie drgań skrętnych lub skrętnogiętnych w związku z wahaniami prędkości obrotowej. Główne usterki po stronie napędu to nadmierne luzy w łożyskach silnika wskutek zużycia. Szczególnie po stronie bardziej obciążonego dynamicznie łożyska od strony sprzęgła. Czasami występowało ocieranie o osłonę wirnika wentylatora chłodzącego silnik. Wzrost luzów promieniowych w łożyskach silnika powoduje niesymetrię szczeliny powietrznej. Wskutek tego powstaje niesymetria pola magnetycznego powodująca wypadkową siłę zmienną i moment działający na wirnik. Drgania wymuszane tymi siłami mają charakter synchroniczny. Obok wahań prędkości obrotowej, przy wyższych wartościach można również obserwować po stronie elektrycznej nieznaczne wahania pobieranego prądu. Podobnie pojawiają się drgania spowodowane zakłóceniami po stronie zasilającej. Są to jednak przypadki incydentalne.

Odrębnym problemem były fundamenty wentylatorów, źle zaprojektowane i wadliwie wykonane. W warunkach niestabilnego gruntu, zagrożenia ze strony szkód górniczych, posadowienie wentylatorów na dwóch odrębnych bryłach (każda z podpór na odrębnej, a często jeszcze obudowa wentylatora na kolejnej) jest wręcz głupotą. Powoduje to trudności z utrzymaniem osiowości oraz wrażliwości na oddziaływanie samej instalacji spalin nawet w przypadku stosowania kompensatorów. Konsekwencją tego są również trudności w utrzymaniu luzów w uszczelnieniach, zrywanie kołnierzy i śrub fundamentowych. Dochodzi do tego wadliwe wykonanie (np. brak powiązania między zbrojeniem lub w ogóle jego brak) i marna jakość betonu oraz błędy zalewania (dwukrotne zalewanie fundamentu w znacznych odstępach czasu prowadzi do utworzenia dwóch słabo związanych brył).

Warto jeszcze wspomnieć o korozji. Obok oddziaływań atmosferycznych oraz ze strony spalin do przyspieszania tejże przyczyniają się niektóre nieprzemysłane rozwiązania konstrukcyjne. Na przykład brak odwadniania w najniższej części obudowy spiralnej powoduje zaleganie tam wody w niektórych okresach. Podobnie wygląda zewnętrzna część obudowy od strony wylotu w sąsiedztwie kompensatora. Tworzy ona rezerwuuar wody o pojemności kilkunastu litrów.

3. KRYTERIA OCENY WIBRACJI WENTYLATORÓW KOŁOWYCH

Przy ocenie wibracji wentylatorów z powodzeniem posługiwano się ocenami kryterialnymi [1]. Również w tych przypadkach potwierdziła się celowość ich stosowania, chociaż być może z niektórych ocen pośrednich można by zrezygnować. Mierzono szczytowe lub skuteczne amplitudy prędkości drgań absolutnych czujnikami mocowanymi w kierunkach pionowym, poziomym i osiowym do obudów łożysk wentylatorów i silnika. Poziom drgań oceniano zgodnie z [2]. Oto charakterystyka wyróżnionych stanów dynamicznych:

katastrofalny – maszyna wymaga natychmiastowego zatrzymania, korekta niezbędna natychmiast;

niedopuszczalny – praca maszyny szczególnie niespokojna i bardzo szkodliwa, dalsza eksploatacja grozi awarią, prawdopodobnie w najbliższych dniach, kontroluj często drgania i napraw w ciągu 48 godzin;

niebezpieczny – praca maszyny bardzo niespokojna, ze względu na możliwość awarii wymagana jest korekta w najbliższych tygodniach, kontroluj częściej drgania, a z naprawą nie zwlekaj dłużej niż 21 dni;

szkodliwy – praca maszyny niespokojna, a eksploatacja szkodliwa, zaleca się poprawę przy pierwszej nadarżającej się okazji, a drgania kontroluj przynajmniej raz w miesiącu;

zadowolający – ze względu na małe usterki praca maszyny nieznacznie niespokojna, nieszkodliwa dla maszyny, jednak ze względów ekonomicznych korekta jest zbyt rzadka, kontroluj drgania co najmniej raz na 3 miesiące;

dobry – praca maszyny spokojna, nieszkodliwe oddziaływanie drgań;

bardzo dobry – słabo wyczuwalne wibracje.

Zamieszczona tabela podaje, zależnie od wielkości maszyny (klasyfikacja wg rozmiaru osi wału napędzającego silnika elektrycznego h [mm]), graniczne wartości amplitud (V_{rk} – skuteczna, V_{sz} – szczytowa) dla maszyn posadowionych na sztywnych fundamentach. W przypadku maszyn podpartych „elasty-

cznie” (fundamenty nisko strojone) dopuszcza się dwukrotnie wyższe wartości amplitud.

Tabela 1

Oceny kryterialne stanów dynamicznych wentylatorów kotłowych

Charakterystyka stanu	Szczytowa amplituda prędkości drgań V_{sz} [mm/s]			Skuteczna amplituda prędkości drgań V_{sk} [mm/s]		
	$h < 132$	$132 < h < 225$	$225 < h < 400$	$h < 132$	$132 < h < 225$	$225 < h < 400$
bardzo dobry	$\leq 1,90$	$\leq 3,00$	$\leq 4,70$	$\leq 0,80$	$\leq 1,20$	$\leq 1,90$
dobry	1,90–3,00	3,00–4,70	4,70–7,50	0,80–1,20	1,20–1,90	1,90–3,00
zadowolający	3,00–4,70	4,70–7,50	7,50–12,0	1,20–1,90	1,90–3,00	3,00–4,80
szkodliwy	4,70–7,50	7,50–12,0	12,0–19,3	1,90–3,00	3,00–4,80	4,80–7,70
niebezpieczny	7,50–12,0	12,0–19,3	19,3–30,8	3,00–4,70	4,80–7,70	7,70–12,3
niedopuszczalny	12,0–19,3	19,3–30,8	30,8–49,3	4,80–7,70	7,70–12,3	12,3–19,7
katastrofalny	$\geq 19,3$	$\geq 30,8$	$\geq 49,3$	$\geq 7,70$	$\geq 12,3$	$\geq 19,7$

LITERATURA

- [1] Werbowski T.: Opracowanie systemu diagnostyki wibracyjnej wentylatorów, praca badawcza IMiUE Pol. Śl., Gliwice 1983.
- [2] PN-3/E-06020: „Maszyny elektryczne wirujące – dopuszczalne poziomy drgań”.

Abstract

Authors of this paper described some aspects of the exploitation diagnosis of boiler fans in some Polish thermal power plants.

Particularly, they presented their experiences in this subject and described the most important reasons of the inefficiency of boiler fans. They described the inefficiency classification of fans and their mutual relation. The vibration level related to the estimation of the technical condition of fans was estimated on the amplitudes of vibration velocity.

The authors confirm the relevance of it's application.