

Tabela 3C

Naprężenia w rurkach spowodowane siłami wzdłużnymi dla MNŻ101 ( $\sigma_{kr} = 0,725 \times 10^8$ , N/m<sup>2</sup>)

Liczba przegród sitowych		4	5	6
24 × 1,0	T, N	L	3028	
		Z	1925	
	$\frac{T}{F} = \sigma_r \times 10^8$ , N/m <sup>2</sup>	L	0,419	
		Z	0,266	
	$\sigma_{kr} \times 10^8$ , N/m <sup>2</sup>	1,9076	2,7589	3,7714
$P_w$ , N	3446	4984	6813	
25 × 1,0	T, N	L	3151	
		Z	2003	
	$\frac{T}{F} = \sigma_r \times 10^8$ , N/m <sup>2</sup>	L	0,4179	
		Z	0,2657	
	$\sigma_{kr} \times 10^8$ , N/m <sup>2</sup>	2,0778	3,0047	4,1075
$P_w$ , N	3916	5664	7742	
24 × 1,5	T, N	L	4455	
		Z	2832	
	$\frac{T}{F} = \sigma_r \times 10^8$ , N/m <sup>2</sup>	L	0,4202	
		Z	0,2672	
	$\sigma_{kr} \times 10^8$ , N/m <sup>2</sup>	1,8298	2,6463	3,6174
$P_w$ , N	4850	7014	9588	
25 × 1,5	T, N	L	4640	
		Z	2950	
	$\frac{T}{F} = \sigma_r \times 10^8$ , N/m <sup>2</sup>	L	0,419	
		Z	0,266	
	$\sigma_{kr} \times 10^8$ , N/m <sup>2</sup>	1,997	2,888	3,9479
$P_w$ , N	5529	7995	10929	

Jeżeli siła wzdłużna  $T$  nie przekroczy siły powodującej wyboczenie  $P_w$  przy zachowaniu  $n=4$ , to nie zachodzi wyboczenie, czyli:

$$T_{max} < P_w = \frac{\sigma_{kr} F}{n} \quad N$$

W tabelach 3A, 3B i 3C zebrano wartości obliczonych naprężeń. Wynika z nich wyraźnie, że zwiększenie liczby przegród sitowych z 4 do 5 istotnie poprawia bezpieczne warunki pracy dla rurek. Ogólne wskazania dla bezpiecznej pracy rurek, to omijanie częstotliwości 50 Hz, gdy prędkość obrotowa turbiny wynosi 3000 obr./min w myśl ograniczeń wyrażonych poniżej (jako przedział do omijania): 0,7 · 50 Hz — 1,3 · 50 Hz.

## LITERATURA

- [1] Pawlik-Dobrowolski S., Winnicki A.: Obliczenia drgań rurek skraplacza na przykładzie skraplacza turbiny TK-50. *Energetyka* 1997, nr 3
- [2] Błudew W. P.: Kondensacyjne urządzenia parowych turbin. G.E.I., 1951
- [3] Miller S. S.: Condenser vibration analysis by mikrokomputer. *Power Engineering* 1985, nr 11
- [4] Wytyczne konstrukcji skraplaczy turbin parowych. Energopomiar — Gliwice, 1957
- [5] Ochędusko S.: Teoria maszyn ciepłych — Tablice. PWT, Warszawa 1953
- [6] Kurowski R., Parszewski Z.: Zbiór zadań z wytrzymałości materiałów. PWN, Warszawa 1962
- [7] Soler A. I.: Thermal stresses and initial deformation of heated condenser tubes. *Journal of Engineering for Power*. April, 1973
- [8] Saunders E. A. D.: Heat exchanger selection et construction. Longman, 1988
- [9] Anderson George A.: Condenser tube mechanical considerations. *Power Engineering* 1975, nr 2
- [10] Pawlik-Dobrowolski S., Winnicki A.: Sposób obliczania sił wzdłużnych działających na rurki górnego pęczka w skraplaczu, na przykładzie skraplacza turbiny TK-50. *Energetyka* 1997, nr 9
- [11] Pawlik-Dobrowolski S., Winnicki A.: Sposób obliczania sił wzdłużnych działających na rurki chłodnicy mieszanki parowo-powietrznej w skraplaczu na przykładzie turbiny TK-50. *Energetyka* 1998, nr 3



Dr inż. Jędrzej Hlebowicz

Pro Novum — Katowice

UKD 621.31:620.179.1

## Badania wizualne w energetyce — zastosowanie i ograniczenia

Badania wizualne są najczęściej stosowaną w energetyce metodą badań nieniszczących, obejmującą zarówno wykrywanie wad wykonania czy montażu, jak również uszkodzeń eksploatacyjnych urządzeń i instalacji energetycznych.

Powszechność stosowania tej stosunkowo prostej i pozornie łatwej do wprowadzenia metody badań nie idzie niestety w parze ze znajomością podstaw czy wiedzą na temat jej zalet i niedogodności, toteż w niniejszym artykule — mającym charakter przeglądowy — znalazł się również punkt przedstawiający ograniczenia i niepewności metody wizualnej.

## Techniki badań wizualnych

Szeroki zakres badań wizualnych wymaga stosowania różnorodnych technik badawczych. Ogólnie badania można podzielić na:

- bezpośrednie
- zdalne

**Badania bezpośrednie** — są to badania prowadzone na powierzchniach bezpośrednio dostępnych do obserwacji wzrokowej i pomiarów, a więc na zewnętrznych powierzchniach obiektów lub wewnętrznych powierzchniach obiektów dużych, do których można wejść. Są one najczęściej prowadzone okiem nieuzbrojonym, a wyposażenie dodatkowe mogą stanowić lupy, specjalne mikroskopy, przyrządy pomiarowe, spoinomierze itp.

**Badania zdalne** — są to badania wykonywane na wewnętrznych powierzchniach obiektów lub na powierzchniach zewnętrznych, niedostępnych do badań bezpośrednich, np. w strefach o wysokiej temperaturze czy w strefach narażonych na promieniowanie jonizujące. Są one najczęściej prowadzone przy użyciu endoskopów sztywnych lub giętkich, ale również za pomocą różnego rodzaju zestawów lusterkowych, teleskopów, kamer telewizyjnych i videoskopów.

W energetyce są szeroko stosowane zarówno badania zdalne jak też badania bezpośrednie. Te ostatnie zresztą mają szerszy zakres zastosowań, są bowiem prowadzone jako badania ogólne, szczegółowe i specjalne.

**Badania wizualne ogólne** — są przeprowadzane w celu identyfikacji obiektu, sprawdzenia jego kompletności, sprawdzenia ogólnego stanu poszczególnych elementów urządzenia czy instalacji, kontroli uszczelnień, integralności połączeń, oszacowania stopnia zużycia, wykrywania korozji, erozji, osadów, nalotów itd.

**Badania wizualne szczegółowe** — są przeprowadzane w celu skontrolowania określonych cech obiektu, np. odchyłek kształtu, położenia, wymiarów, wykrycia nieciągłości i innych wad wytwarzania, wykrycia uszkodzeń eksploatacyjnych itd.

**Badania wizualne specjalne** — są to np. badania wykonywane w celu wykrycia przecieków medium roboczego, oceny stanu izolacji, oceny stanu pokryć lakierniczych na dużych obiektach itp.

Jest oczywiste, że tak zróżnicowane techniki badawcze wymagają różnorodnego wyposażenia badawczego oraz personelu badawczego o wysokich umiejętnościach i dużym doświadczeniu. Najważniejsze problemy z tym związane zostaną więc przedstawione w dalszej części artykułu.

## Zakres zastosowań badań wizualnych w energetyce

Badania wizualne są stosowane przy przeglądach w praktycznie wszystkich obszarach energetyki: od układów zasilania paliwem, przez urządzenia kotłowe, turbiny, generatory, skraplacze, silniki i układy powiązań elektrycznych elektrowni, aż po elektrofiltry i inne urządzenia służące ochronie środowiska. Największą wagę przykładają się w energetyce do

badania wizualnych elementów krytycznych, tzn. tych elementów bloku energetycznego, których uszkodzenie może stanowić zagrożenie dla obsługi i naraża elektrownie na duże straty. Wszystkie te elementy podlegają bezpośrednim badaniom wizualnym ogólnym i szczegółowym oraz w większości przypadków dodatkowym badaniom zdalnym, głównie endoskopowym.

Badania szczegółowe i endoskopowe należy koncentrować na strefach i węzłach najbardziej narażonych na pęknięcie, korozję czy erozję.

Badania wizualne złączy spawanych, stanowiących przecięż w energetyce większość połączeń, powinny obejmować lico spoiny oraz strefę wpływu ciepła, więc pas szerokości 10–20 mm (licząc od linii wtopu) po obu stronach spoiny.

Inne poza spoinami strefy, na których należy koncentrować badania wizualne powinny obejmować miejsca, w których występują karby technologiczne lub konstrukcyjne.

Badania wizualne ogólne są najczęściej podstawowym elementem nadzoru stanu urządzeń i rurociągów. Najlepszą ilustracją zastosowań ogólnych badań wizualnych jest nadzór nad stanem rurociągów wysokoprężnych elektrowni.

Przytoczone przykłady ogólnych i szczegółowych badań wizualnych są bardzo ważną, ale tylko częścią zakresu badań wizualnych stosowanych w energetyce, dobrze jednak ilustrują różnorodność tych badań oraz ogromny zasób wiedzy i doświadczenia, jakim trzeba dysponować, aby je wykonać właściwie.

## Czynnik ludzki w badaniach wizualnych

W energetyce badania wizualne prowadzą niemal wszyscy: diagnostycy, inspektorzy dozoru technicznego, inżynierowie utrzymania ruchu, remontowcy, spawacze, kontrolerzy itd. Większość z tych ludzi nie posiada wiedzy na temat budowy oka, procesu widzenia, podstawowych praw optyki, wyposażenia do badań, techniki badawczej, problematyki oświetlenia badanych obiektów itd.

Tymczasem badania wizualne są dziedziną badań nieniszczących wymagającą — tak jak wszystkie metody badawcze — wiedzy podstawowej z tego zakresu oraz wiedzy specjalistycznej, innej dla kontrolerów konstrukcji spawanych, a innej dla specjalistów badań eksploatacyjnych czy inspektorów dozoru technicznego. Konieczne więc są: wyszkolenie, doświadczenie, umiejętności badawcze oraz stan zdrowia umożliwiający prowadzenie badań wizualnych. Chodzi tu oczywiście głównie o stan wzroku, a więc o zdolność rozdzielczą oka (ostrość wzroku), zdolność widzenia bliskiego oraz rozróżnialność kolorów, jednocześnie również o zdolność do prowadzenia badań na wysokości czy np. wewnątrz zbiornika.

Osobny problem stanowi pogarszająca się z wiekiem akomodacja oka, czyli zdolność skupiająca soczewki ocznej umożliwiająca zogniskowanie na siatkówce obrazu przedmiotu położonego w różnej odległości od oka. Zakres akomodacji wynoszący w wieku 20 lat przeciętnie 10 dioptrii zmniejsza się do 4,5 dioptrii w wieku 40 lat i 2,5 dioptrii w wieku 50 lat, a więc pogarsza się znacznie zdolność widzenia bliskiego, niezwykle ważnego w badaniach wizualnych.

Na proces widzenia wpływa ponadto wiele czynników zarówno fizycznych (warunki badania, pozycja badania, zmęczenie, długotrwałość badań itp.), jak też psychicznych (atmo-

sfera w pracy, kłopoty domowe, problem motywacji do badań itp.) — to wszystko wpływa więc i na skuteczność naszych badań. Ale nawet najlepiej wyszkolony i doświadczony personel musi mieć dostęp do odpowiedniego wyposażenia badawczego.

### Wyposażenie do badań wizualnych

Różnorodność zastosowań badań wizualnych spowodowała potrzebę konstrukcji zróżnicowanego wyposażenia do badań: od prostych lup, lusterek czy oświetlaczy latarkowych, poprzez mikroskopy, endoskopy, sztywne i giętkie, video-skopy, aż po videoanalizatory czy zestawy telewizyjne.

Osobną grupę stanowią przyrządy pomiarowe od spoiniarki i przymiarów zaczynając poprzez lupy pomiarowe, mikroskopy pomiarowe czy mierniki natężenia oświetlenia (luksomierze). Istnieją również specjalne typy endoskopów i videoskopów, które umożliwiają pomiar długości wady czy głębokości np. uskoku.

W energetyce jest stosowane zarówno wyposażenie uniwersalne (lupy, endoskopy, video-skopy itp.), jak też wyposażenie specjalistyczne, budowane właśnie z myślą o tej branży. Duża liczba pokazów wyposażenia, dostępność prospektów firmowych czy wreszcie opracowanie *BADANIA WIZUALNE. Cz. 2. Wyposażenie do badań* zwalniają mnie do szczegółowego opisywania typów tego wyposażenia czy zasad eksploatacji. Wydaje mi się jednak celowe zwrócenie uwagi na dwa aspekty związane z wyposażeniem: niechęć do stosowania prostego wyposażenia badawczego i używanie niewłaściwych oświetlaczy.

W wielu przypadkach do oceny stanu grani spoiny w złączach króćców czy też stanu gniazda zaworowego są stosowane fiberoskopy lub video-skopy, które z powodzeniem mogłyby być zastąpione zestawami lusterkowymi, łatwiejszymi w operowaniu, lżejszymi i o wiele tańszymi.

I wreszcie oświetlacze: stosowane powszechnie różnego rodzaju oświetlacze bateryjne, zwykle z żarówkami halogenowymi — dają bardzo nierównomierne natężenie oświetlenia na badanej powierzchni, co oczywiście wpływa na uzyskiwaną wykrywalność wad.

W ostatnich latach pojawiły się specjalne oświetlacze z układem optycznym umożliwiającym uzyskanie nawet z odległości kilku metrów równomiernego natężenia oświetlenia powierzchni o wartości powyżej 500 lx, są również budowane oświetlacze w wykonaniu przeciwybuchowym czy oświetlacze do badań podwodnych. Wyposażenie ekip badawczych w odpowiednie oświetlacze powinno być pierwszym, łatwym do zrealizowania krokiem do poprawy niezawodności badań wizualnych w energetyce.

### Ograniczenia badań wizualnych

Jak każda metoda badań nieniszczących badania wizualne mają też określone ograniczenia, z których najważniejsze to:

możliwość wykrywania tylko wad powierzchniowych oraz konieczność uzyskania dostępu do badanych powierzchni, które ponadto powinny być odpowiednio oczyszczone. Wady powierzchniowe są to wady otwarte do powierzchni („wychodzące” na powierzchnię obiektu) a więc wszelkiego rodzaju pęknięcia powierzchniowe, rysy, braki przetopu, pory, naderwania, zakucia, wżery korozyjne, wyszczerbienia itp. Przygotowanie powierzchni do badań powinno uwzględniać konieczność usunięcia warstw osadów, nagarów, smarów itp. z metalu w taki sposób, aby nie doprowadzić do zamaskowania np. pęknięć. Zaleca się więc oczyszczenie powierzchni strumieniem wody, oczyszczenie chemiczne, piaskowanie drobnym piaskiem, oczyszczenie mechaniczne odpowiednio dobranymi szczotkami itp., a nie zaleca się szlifowania gruboziarnistymi ściernicami czy śrutowania.

Dostęp do badanych powierzchni określa projekt normy EN 13018, która w przypadku badań wizualnych bezpośrednich ustala, że powierzchnia powinna być badana z odległości większej niż 600 mm i pod kątem nie większym niż 30°. Tak więc często pojawia się konieczność przygotowania odpowiednich rusztowań czy też stosowania przemieszczanych gondoli; problem ten dotyczy jednak większości metod badań nieniszczących i zawsze jest sygnalizowany przy ustalaniu planu badania.

### Uwagi końcowe

Problematyka badań wizualnych jest na tyle szeroka, że w ograniczonym ramami artykułu zakresie można jedynie zasygnalizować najważniejsze zagadnienia i pokazać ich ciężar gatunkowy. Rosnąca rola badań wizualnych — widoczna zwłaszcza w badaniu złączy spawanych — zaczyna owocować pojawieniem się nowych norm EN i PN-EN, których znajomość i stosowanie będą kolejnymi czynnikami stymulującymi rozwój tych badań, także w energetyce.

Warto równocześnie uzmysłowić sobie, że kontrola wizualna stanowi główny element szeroko stosowanych w energetyce badań penetracyjnych czy magnetyczno-proszkowych, tak więc wiele z poruszanych w artykule problemów dotyczy również tych metod badań nieniszczących.

### LITERATURA

- [1] Hlebowicz J.: *Badania wizualne* — cz. 1. Wyd. Biuro Gamma  
[2] Hlebowicz J., Kalla C.: *Badania wizualne* — cz. 2. Wyd. Biuro Gamma

PRO NOVUM