

Zdzisław JASKÓŁA

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska, Gliwice

KIERUNKI DZIAŁALNOŚCI NAUKOWO-BADAWCZEJ PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN

1. Wprowadzenie

Działalność naukowo-badawcza w dziedzinie podstaw konstrukcji maszyn zapoczątkowana została z chwilą powołania Katedry Części Maszyn w 1946 roku, której kierownikiem został prof. Barłomiej Tokarski. Znaczące zmiany w zakresie prowadzonych badań nastąpiły w latach późniejszych, gdy w miejsce tej jednostki organizacyjnej powołana została Katedra Ogólnych Podstaw Konstrukcji Maszyn pod kierunkiem prof. dr inż. Janusza Dietrycha. Stopniowy wzrost liczby pracowników naukowo-dydaktycznych tej jednostki zapoczątkował na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych kilka nowych kierunków badań. Badania te częściowo są kontynuowane przez tych pracowników, którzy wchodzi w skład Zakładu Podstaw Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Energetycznych. Do głównych kierunków prowadzonej w Zakładzie działalności naukowo-badawczych należą:

- ogólna metodologia projektowania i konstruowania elementów maszyn,
- analityczne i doświadczalne badania konstrukcyjne elementów maszyn,
- diagnostyka techniczna maszyn.

2. Ogólna metodologia projektowania i konstruowania

Konieczność wprowadzenia zmian zarówno w treści, jak i metodach nauczania na kierunkach budowy maszyn, a także w praktycznej działalności inżynierskiej, a zwłaszcza projektowo-konstrukcyjnej dostrzeżona została już w latach pięćdziesiątych. Podjęte wówczas badania miały doprowadzić do sformułowania podstaw nauki konstrukcji.

Poszukiwania teoretycznych podstaw nauki konstrukcji rozwijane były w różnych kierunkach. Badania własne zmierzały do wykazania, że fundamen-

tem tej nauki powinna być ogólna teoria systemów i konstrukcji. Trzeba jednak podkreślić, że rozwinięta już na tej podstawie koncepcja „systemowo-konstrukcyjna” nie została do dzisiaj dokładnie uzgodniona w środowisku naukowym. Do chwili obecnej jedynie tzw. „ujęcie systemowe” nie stwarza większych problemów. Inaczej natomiast przedstawia się problem uogólnień konstrukcyjnych. Te bowiem pozostają jeszcze wciąż w sferze wstępnych opracowań.

Badania własne zmierzają do wykazania, że na najwyższym stopniu abstrakcji uogólnienia właściwe dla dziedziny konstrukcji można oprzeć na trzech głównych podstawach metodologicznych, obejmujących:

- ogólną teorię rzeczy i zdarzeń,
- ogólną teorię całości,
- ogólną teorię celu.

Niezależnie od tych badań zajęto się również samą metodologią konstruowania elementów maszyn.

Podstawowy problem metodologiczny konstruowania polega na tym, że proponowane rozwiązania konstrukcyjne są zawsze tylko względnie jednoznaczne, co stawia każdego z nas wobec problemu wyboru. Pod względem formalnym można to przedstawić w postaci następującej zależności:

$$V = f(X_i, Y_j)$$

gdzie:

V – miara wykonania lub spełnienia czegoś, co np. chcemy zoptymalizować,

X_i – cechy sytuacji, które podlegają wyborowi (sterowaniu – zmienne wyboru),

Y_j – cechy sytuacji, które stanowią stałe parametry badań.

Tak pojęty problem staje się problemem konstrukcyjnym wówczas, gdy zmiennymi wyboru X_i stają się cechy konstrukcyjne C_k .

Optymalizację w procesie konstruowania możemy pojmować w dwojaki sposób. Pierwszy sposób polega na rozpatrywaniu tylko tych związków pomiędzy zmiennymi niezależnymi i zmienną zależną, które przedstawione w postaci funkcji – kryterium optymalizacji, posiadają ekstremum funkcji. Drugi sposób, ogólniejszy, stawia konstruktora wobec konieczności przeprowadzenia wyboru rozwiązania ze względu na zadany układ kryteriów, gdzie nie można wykluczyć występowania kolizji celów. Przykładem może być postulowanie maksymalnej jakości wytworów przy minimalnych kosztach ich wytwarzania. Nie można wykluczyć również sytuacji, gdzie związek zależności między zmiennymi będzie charakteryzowała funkcja nie mająca ekstremum.

Odrebnym zagadnieniem jest postulowanie tego, co ma być. Konstruktor – podobnie zresztą jak projektant – postuluje najpierw określone jakości, a następnie je opisuje. Najpierw je dobiera, a następnie weryfikuje.

Zatem aby można było mówić o istnieniu szeroko pojętego problemu optymalizacyjnego, każda sytuacja problemowa powinna zawierać co najmniej dwa możliwe wyniki, które stanowią rozwiązanie problemu.

Następnie, przy dochodzeniu do rozwiązania problemu, należy kierować się nie tylko tym, co aktualnie stwarza zbiór możliwych rozwiązań, ale także i tym, co wynika z potencjalnego zbioru możliwych rozwiązań. Zawsze bowiem należy mieć na uwadze, że przyjęte rozwiązanie problemu ze względu na kryterium wcale nie musi być tym, które „w maksymalnie możliwym stopniu spełnia zadane kryterium”.

Teorie odnoszące się do różnych dziedzin naszej działalności wymagają zawsze odpowiednich pojęć i zasad. Stąd niezależnie od pojęć i zasad nauk przyrodniczych należało również sformułować odpowiednie zasady dla dziedziny projektowo-konstrukcyjnej. Uznano, że operacyjne znaczenie dla konstruowania mają następujące zasady:

- zasada optymalnego obciążenia,
 - zasada optymalnego tworzywa,
 - zasada optymalnej stateczności,
 - zasada optymalnych stosunków wielkości związanych,
- co można uzasadnić w sposób następujący:
- Właściwością środków technicznych jest możliwość występowania różnego rodzaju obciążeń jako rzeczywistej funkcji różnych działań podejmowanych ze względu na konieczność zaspokojenia określonej potrzeby; bez względu na rodzaj wykonywanego działania zawsze jest z nim związane obciążenie.
 - Konieczność przenoszenia obciążeń prowadzi do uznania potrzeby występowania tworzywa jako podstawowej własności środka technicznego (elementu).
 - Warunkiem koniecznym możliwości skutecznego działania układu materialnego jest spełnienie przez ten układ warunku stateczności; stateczność jako istotną właściwość układu rozpatruje się zarówno ze względu na obciążenia jako przyczynę, jak i na wywołany obciążeniem skutek.
 - To, co konstruujemy, łączy się ściśle z czasoprzestrzennym jego istnieniem; wielkości warunkujące istnienie środka technicznego są ze sobą najczęściej powiązane różnymi stosunkami, które stanowią mogą przedmiot optymalizacji.

3. Badania trwałości elementów maszyn

Trwałość elementu osiągnięta w warunkach eksploatacyjnych zależy od bardzo wielu czynników. W dalszym ciągu słuszne jest to, na co zwraca uwagę E.H. Spaulding, stwierdzając, że: „w przewidywaniu trwałości można się pomylić 100-krotnie i nawet więcej, nie podejrzewając możliwości tak ogro-

mnych odchyłeń. W żadnej innej dziedzinie inżynier nie jest narażony na tak ogromne pomyłki i to bez możliwości ostrzeżenia przez zdrowy i logiczny sąd”.

Trwałość elementu, na którą oddziałuje obciążenie „mechaniczne”, przewidyje się lub wyznacza za pomocą jednej z następujących metod:

- metody „kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych”,
- metody „rozwoju pęknięcia zmęczeniowego”,
- metody „obniżającej się wytrzymałości trwałej”.

Wiele elementów współczesnych maszyn energetycznych poddanych jest również oddziaływaniu innych obciążeń, a zwłaszcza obciążeń termicznych. Zjawiska charakteryzujące trwałość elementów przy wysokiej temperaturze (pojęcie względne) klasyfikuje się wówczas w sposób następujący: pełzanie i wytrzymałość trwała (odkształcenie i pęknięcie przy rozciąganiu, relaksacja) pełzanie przy naprężeniu cyklicznym (pełzanie dynamiczne) małowykłowa wytrzymałość zmęczeniowa, wysokotemperaturowa mechaniczna wytrzymałość zmęczeniowa, termiczna wytrzymałość zmęczeniowa, termiczne skokowe zmiany odkształcenia (pełzanie przy cyklicznej zmiennej temperaturze).

W badaniach własnych uwagę skoncentrowano na metodzie „kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych”. Podstawą tej metody jest funkcja trwałości (funkcja Wohlera), którą wyznacza się bądź doświadczalnie, bądź analitycznie i to zarówno dla przekroju, jak i dla warstwy wierzchniej elementu.

Wytrzymałość zmęczeniową Z oraz funkcje zmęczeniowe (funkcje Wohlera) $\sigma = N$ wyznacza się dla tworzywa na podstawie badania znormalizowanych próbek kwalifikacyjnych. Funkcje te są dziś znane dla wszystkich metalowych tworzyw konstrukcyjnych. Dlatego jeśli nawet prowadzi się badania na próbkach kwalifikacyjnych, to tylko po to, aby dokonać kontroli jakości tworzywa. Wnioski natomiast wypływające z dotychczas przeprowadzonych badań trwałościowych elementów maszyn są następujące:

1. Jeśli w zakresie tych czynników, które mają wpływ na trwałość zmęczeniową, a zostały szczegółowo uprzednio zbadane, zachowane zostało podobieństwo w przyjmowanym rozwiązaniu konstrukcyjnym, to nie jest konieczne dodatkowe i bardziej szczegółowe sprawdzenie związku tych czynników z trwałością czy wytrzymałością na zmęczenie. Sama zaś znajomość tych związków jest powszechnie wykorzystywana przez konstruktorów w trakcie obliczeń wytrzymałościowych opartych na naprężeniach dopuszczalnych.
2. W zakresie tych czynników, których wpływ zbadano tylko powierzchownie lub których wpływ na trwałość zmęczeniową nie został udokumentowany w sposób zadowalający, wskazane jest przeprowadzenie próby zmęczeniowej zwłaszcza wówczas, gdy przemawiają za tym określone racje techniczne.
3. Funkcję Wohlera natomiast należy koniecznie wyznaczyć wtedy, gdy wymagana jest wysoka wiarygodność danych dotyczących własności elementu. Takie wymagania stawiamy wówczas, gdy chcemy zminimalizować

współczynnik bezpieczeństwa jako miarę naszej niewiedzy, a dostępne w literaturze funkcje Wohlera nie mają wyraźnie określonych warunków, dla których zostały wyznaczone.

W badaniach trwałości elementu maszyn rozróżnia się metodę klasyczną i systemową. Pierwsza traktuje przedmiot badań jako zbiór niezależnych czynników, których wpływ bada się na zasadzie niezależnej zmiany każdego czynnika z osobna. Druga zakłada, że zachodzi ich wzajemne powiązanie w taki sposób, że zmiana jednego z nich może wywołać zmianę zachowania się innych czynników (synergizm).

Podstawową i najczęściej stosowaną metodą określania wytrzymałości elementu maszyn jest metoda bilansu naprężeń, której podstawowe założenia są następujące:

- Wytrzymałość elementu może być wyznaczona na podstawie badania wytrzymałości próbki kwalifikacyjnej.
- Przy wskaźnikowym przedstawieniu zależności wytrzymałości elementu od wytrzymałości próbki można przyjąć, że

$$\sigma'_e = \sigma' \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{\beta}$$

gdzie:

σ'_e – wytrzymałość elementu,

σ' – wytrzymałością próbki,

ε – liczbowa miara wpływu wielkości przedmiotu (miara względna odniesiona do próbki),

β – liczbowa miara wpływu karbu (względna odniesiona do próbek gładkiej).

Wielkości ε i β są wyznaczone dla określonych warunków fizycznych. Ich miary liczbowe są funkcją takich czynników, jak rodzaj tworzywa, rodzaj obróbki cieplno–chemicznej, plastycznej, wiórowej i wykańczającej oraz rodzaj obciążenia. Problemy te są szeroko dyskutowane w literaturze specjalistycznej.

Druga metoda systemowa znalazła szerokie zastosowanie w badaniach trwałości uzębień. Założenia metody są następujące:

- Badania prowadzi się na kołach zębatych o ściśle określonych cechach konstrukcyjnych. Są to tzw. koła próbki.
- Wytrzymałość boku zęba σ_{Hlim} i wytrzymałość stopy zęba σ_{Flim} wyznacza się na stanowiskach badawczych określonej konstrukcji i określonych cechach działania.
- Cechy konstrukcyjne kół – próbek wyznacza się na podstawie zależności, które wykorzystywane są w konstrukcyjnych obliczeniach uzębień kół. Na

podstawie tych zależności określa się relację, jaka zachodzi między wytrzymałością uzębień kół σ_{eHlim} i σ_{eFlim} a wytrzymałością kół próbek σ_{Hlim} i σ_{Flim} .

Z tą metodą wiąże się jeszcze inny problem badawczy. Chodzi mianowicie o statystykę wielkości mierzalnych. Przedmiotem badań są bowiem wielkości, które są wielkościami losowymi.

Interesująca nas trwałość zmęczeniowa ma także charakter statystyczny. Dlatego nie można mówić o wytrzymałości zmęczeniowej na podstawie jednej tylko wartości. Funkcję Wohlera należy raczej traktować jako funkcjonalny związek zbioru krzywych, z których każda wskazuje na określone prawdopodobieństwo pęknięcia. Zatem konstruowanie ukierunkowane na ściśle określoną trwałość nie ma praktycznego sensu, podobnie jak nie ma sensu na ściśle określoną wytrzymałość zmęczeniową.

Najogólniejszą statystyczną charakterystyką krzywej zmęczeniowej (funkcja Wohlera) jest rozkład prawdopodobieństwa dwuwymiarowej zmiennej losowej (σ, N) , gdzie σ jest naprężeniem, N – liczbą cykli. Ze względów praktycznych wykorzystuje się dwa sposoby przedstawienia parametrów rozkładu zmiennej losowej (σ, N) , a mianowicie podaje się:

- warunkową dystrybuantę $F(N/\sigma)$, która określa prawdopodobieństwo zniszczenia przy $\sigma_g < \sigma$, gdzie σ_g jest naprężeniem granicznym dla określonej liczby cykli N ,
- warunkową dystrybuantę $F(N/\sigma)$, która określa prawdopodobieństwo zniszczenia, a przy $N_g < N$, gdzie N_g jest graniczną liczbą cykli dla określonego naprężenia σ .

Podstawowe znaczenie dla oceny trwałości elementów maszyn mają rozkłady zmiennych losowych:

- rozkład normalny (Gaussa),
- rozkład logarytmiczno-normalny,
- rozkład wykładniczy,
- rozkład Weibulla.

Badania wykazały, że rozkład wytrzymałości i trwałości zmęczeniowej m.in. łożysk tocznych i wytrzymałości kół zębatych z dokładnością wystarczającą dla praktyki można wyrazić za pomocą parametrów rozkładu Weibulla.

W przypadku rozkładu wytrzymałości otrzymamy wówczas następującą zależność:

$$\sigma(r) = \left[\sigma_M^a + (\sigma_E^a - \sigma_M^a) \cdot \frac{\left(\ln \frac{1}{R} \right)^{\frac{1}{\delta}}}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{\delta} \right)} \right]^{1/a}$$

gdzie:

- $\sigma(R)$ – wytrzymałość elementu możliwa do osiągnięcia z prawdopodobieństwem R ,
- σ_E – wartość progowa, dla której $R \approx 1$,
- σ_M – wartość oczekiwana,
- R – funkcja niezawodności przyjmująca wartości liczbowe w przedziale $R \in (0, 1)$,
- a – wykładnik potęgowy funkcji Wohlera,
- Γ – funkcja gamma Eulera,
- $\delta > 0$ – parametr kształtu.

W przypadku rozkładu trwałości funkcja przyjmuje postać zależności:

$$N(R) = N_M + (N_E - N_M) \cdot \frac{\left(\ln \frac{1}{R}\right)^{\frac{1}{\delta}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\delta}\right)}$$

gdzie:

- $N(R)$ – trwałość elementu możliwa do osiągnięcia z prawdopodobieństwa R ,
- N_M – wartość progowa, dla której $R \approx 1$,
- N_E – wartość oczekiwana.

Na podstawie tych zależności można wyznaczyć zbiór krzywych, z których każda wskazuje określone prawdopodobieństwo osiągnięcia wytrzymałości σ przy danej liczbie cykli N lub liczby cykli N zmian naprężeń σ na danym jego poziomie. Funkcja Wohlera przyjmuje zaś postać zbioru par:

$$[N, \sigma(R)] \text{ lub } [N(R), \sigma]$$

4. Wskaźnik bezpieczeństwa

Współczesne metody prognozowania bezpieczeństwa są oparte na:

- współczynnika bezpieczeństwa (poziom 1),
- wskaźniku niezawodności (poziom 2),
- prawdopodobieństwie awarii (poziom 3),
- wskaźniku klasy bezpieczeństwa (poziom 4).

Pierwszym i podstawowym pojęciem związanym z bezpieczeństwem jest wytrzymałość elementu. Świadome użycie określenia „wytrzymałość elementu” oznacza, że należy rozróżniać wytrzymałość tworzywa i wytrzymałość elementu.

Klasyczne konstrukcyjne obliczenia wytrzymałościowe elementów są prowadzone na podstawie tzw. stanów granicznych (poziom 1). Zasady tej metody opracowane zostały przez L.M. Naviera (1785–1836). Dzięki tym przyjętym założeniom ogromną różnorodność maszyn i ich elementów sprowadza się do jednego modelu, dla opisania którego wystarczające są równania teorii sprężystości i znajomość niektórych wielkości charakteryzujących własności mechanicznie stosowanych tworzyw (współczynnik sprężystości, granica proporcjonalności i plastyczności, doraźna wytrzymałość itp.).

Stosując w obliczeniach wytrzymałościowych elementów metodę stanów granicznych, możemy posłużyć się jednym z dwóch kryteriów weryfikacyjnych:

- kryterium naprężenia dopuszczalnego,
- kryterium współczynnika bezpieczeństwa.

W pierwszym przypadku wartość dopuszczalna stanu wyężenia jest oceniana za pomocą wartości granicznej i współczynnika bezpieczeństwa. W drugim przypadku wyznacza się obliczeniowy współczynnik bezpieczeństwa i sprawdza, czy przekracza on wartość wymaganą. Oznacza to, że w obu przypadkach o kryterium wytrzymałości decyduje współczynnik bezpieczeństwa.

Dobór własności liczbowej współczynnika bezpieczeństwa nie należy do prostych zagadnień. Źle dobrana liczba bezpieczeństwa prowadzi bowiem bądź do ogromnej rozrzutności w gospodarowaniu naszymi zasobami surowcowo–energetycznymi, bądź do większej zawodności środka technicznego.

W badaniach prowadzonych obecnie przez Zespół zajęto się możliwością wykorzystania metody stopnia II (poziom 2) w obliczeniach trwałościowych uzębień.

Metody stopnia II zostały po raz pierwszy zaproponowane przez A.P. Rzanicyna w latach czterdziestych, szerzej natomiast zastosowane dopiero w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych dzięki pracom różnych autorów.

Dalsze rozważania ograniczone zostaną do klasycznej metody II stopnia, gdzie przyjmuje się rozkłady dwuparametrowe, które charakteryzowane są za pomocą wartości średnich X_i i odchylenia standardowego σ_x . Przyjmuje się, że element ulega uszkodzeniu, jeśli wywołane w nim wyężenie (naprężenie σ) przekroczy wytrzymałość elementu R , tzn. gdy

$$\sigma - R > 0$$

Równocześnie zakłada się, że wielkości losowe σ i R mają rozkład normalny i ponadto, że są to zmienne niezależne.

Pojęcie metody stopnia drugiego nie jest jednak jednoznaczne. Występują różnice, które dotyczą przyjmowanych założeń co do postaci rozkładu zmiennych losowych, jak i uproszczeń przyjmowanych przy obliczaniu prawdopodo-

bieństwa uszkodzenia elementu. Do zalecanych sposobów wyznaczania miar bezpieczeństwa elementu zalicza się następujące określenia ilorazowe:

$$\frac{\text{naprężenie maksymalne} - \text{wytrzymałość średnia}}{\text{odchylenie standardowe wytrzymałości}}$$

lub

$$\frac{\text{naprężenie średnie} - \text{wytrzymałość średnia}}{\text{odchylenie standardowe różnicy}}$$

Z tą metodą jest związane pojęcie zapasu bezpieczeństwa. Według danych literaturowych, pierwszym, który wprowadził pojęcie zapasu bezpieczeństwa, był F. Nixon. Wyróżnione powyżej dwie koncepcje ogólne różnią się jednak sposobem określenia zapasu bezpieczeństwa.

Przyjmijmy najpierw, że dany jest tylko rozrzut wytrzymałości, a stan wyężenia jest zdeterminowany jedną wartością. Zapas bezpieczeństwa stanowi wówczas odległość wartości wyężenia mierzoną w stosunku do wartości średniej wytrzymałości. Prowadzi to do zależności, która pozwala wyznaczyć wartość naprężenia dopuszczalnego w sposób następujący:

$$\sigma(P) = \bar{\sigma} - z \cdot S$$

gdzie:

$\sigma(P)$ – naprężenie dopuszczalne jako funkcja pewności P ,

$\bar{\sigma}$ – naprężenie średnie wytrzymałości,

S – odchylenie standardowe,

z – odchylenie standaryzowane dobrane ze względu na założone P .

W drugiej koncepcji natomiast zapasem bezpieczeństwa Z nazywa się różnicę:

$$Z = R - \sigma$$

przy czym: Z , σ , R są to wielkości losowe, gdzie R jest wytrzymałością elementu, a σ – wyężeniem elementu.

Przyjmuje się następnie, że Z jest liniową funkcją zmiennych X , wyznaczających wartości R i σ . Udowadnia się, że jeśli X_i ma rozkład normalny, to również zmienna losowa Z ma rozkład normalny. Odchylenie standardowe dla zmiennej losowej Z wyznacza się z zależności:

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_\sigma^2}$$

gdzie: σ_R i σ_σ oznaczają odchylenia standardowe wytrzymałości R i wyężenia σ . Miarą zapasu bezpieczeństwa Z jest wówczas wskaźnik bezpieczeństwa β zdefiniowany jako stosunek:

$$\beta = \frac{Z}{\sigma_z}$$

gdzie:

Z – średnia wartość zapasu bezpieczeństwa,

σ_z – odchylenie standardowe zapasu bezpieczeństwa.

Wartość średnią Z obliczamy na podstawie zależności:

$$Z = \bar{R} - \bar{\sigma}$$

Wartość β jest więc „odległością” wartości średniej Z od punktu zerowego $z = 0$. Tak pojęty wskaźnik jest miarą prawdopodobieństwa, że $Z > 0$, które możemy obliczyć ze wzoru:

$$p = \phi(-\beta)$$

gdzie ϕ jest unormowaną funkcją Laplace’a.

5. Diagnostyka techniczna maszyn

Od początku działalności naukowo-badawczej i dydaktycznej zajmowano się również diagnostyką techniczną maszyn. Prace zapoczątkowane zostały badaniami wibroakustycznymi przekładni zębatych. Z biegiem czasu badania objęły:

- metodologię tworzenia bazy wiedzy i zasad wnioskowania w diagnostyce technicznej maszyn, a zwłaszcza w dziedzinie wibroakustycznej, oraz
- diagnostykę wibroakustyczną wybranych maszyn.

Prace w znacznej mierze były inspirowane bieżącymi potrzebami przemysłu i zmierzały bądź do doskonalenia istniejących rozwiązań projektowo-konstrukcyjnych (diagnostyka konstrukcyjna), bądź do zminimalizowania występującego poziomu drgań i emitowanego hałasu (diagnostyka eksploatacyjna).

Badania, choć inspirowane potrzebami przemysłu, miały jednak na celu współuczestniczenie w dalszym rozwijaniu i doskonaleniu metod i technik diagnozowania stanu maszyn. Osiągnięte wyniki badań przedstawiono w ramach wykonanych prac doktorskich.

Z prac naukowo-badawczych, które realizowane były na zlecenie przemysłu i jednocześnie powiązane zostały z tematem pracy doktorskiej, wymienić należy następujące:

1. Metoda doświadczalnych badań konstrukcyjnych pił tarczowych do cięcia metalu; przeprowadzono analizę drgań tarczy i wpływu czynników na poziom emitowanego hałasu.
2. Badanie wpływu cech konstrukcyjnych elektrod węglowych na stabilizację łuku elektrycznego – elektrostalowniczych pieców łukowych; badania miały na celu ujawnienie czynnych i biernych sposobów obniżenia poziomu emitowanego hałasu.
3. Badanie przyczyn pęknięcia elementów konwektora eksploatowanego w Hucie Katowice.

Do prac naukowo-badawczych realizowanych już w Zakładzie Podstaw Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn należą:

Diagnostyka wibroakustyczna młynów do przemiału węgla.

Badania młynów węglowych do przemiału węgla za pomocą środków i technik wibroakustycznych rozwinęły się stosunkowo niedawno. Tendencje rozwojowe tych badań zacierają do osiągnięcia celów atestacyjnych i konstrukcyjnych.

Pierwsze cele są związane z wymaganiami stawianymi przez zalecenia normatywno-techniczne i dotyczą odbioru tych maszyn. Drugie polegają na doskonaleniu rozwiązań konstrukcyjnych ze względu na kryterium trwałości i pewności działania.

Gdy chodzi o trwałość elementów młynów, to ograniczają ją głównie ścieranie się warstwy powierzchniowej kul, pęknięcie elementów i fretting powstający na powierzchni styku przekładni z ramą. Efekty eksploatacyjne świadczą o tym, że stopień prawdopodobieństwa wystąpienia tego rodzaju zużycia w elementach maszyn jest dość wysoki.

Sz szczególnie dotkliwe okazały się uszkodzenia, które powstały w czasie eksploatacji krajowych młynów na płaszczyznach ich styku z ramą i polegały na powstaniu frettingu.

W wyniku przeprowadzonych badań przez nasz Zakład stwierdzone zostało, że zarówno stosowane rozwiązanie konstrukcyjne, jak i warunki eksploatacyjne zawierają te czynniki, które wywołują zjawisko frettingu. Należą do nich:

- parametry stereometryczne,
- parametry fizykochemiczne,
- warunki współdziałania.

Celem zminimalizowania oddziaływania czynników frettingu zaproponowane zostały zmiany konstrukcyjne. Podjęte zostały również badania właściwości dynamicznych zespołów mielących i wyznaczone zostały prawdopodobne obciążenia podstaw fundamentowych.

Diagnostyka wibroakustyczna kotłów parowych.

Analizy statystyczne awaryjności i dyspozycyjności elektrowni, opracowane przez Centralną Służbę Eksploatacji Elektrowni wykazują, że kotły parowe są urządzeniami, które w decydujący sposób wpływają na straty wywołane przestojami awaryjnymi. Najbardziej awaryjnymi zaś elementami samych kotłów są przegrzewacze pary.

Badania diagnostyczne prowadzone przez pracowników Zakładu rozwijane były w dwóch kierunkach. Pierwszy wynikał z bieżących potrzeb przemysłu i miał na celu opracowanie wibroakustycznego systemu nadzoru zapobiegającego powstawaniu katastroficznych stanów awaryjnych kotłów. Drugi miał na celu ujawnienie drganiowych związków przyczynowo-skutkowych wpływających na trwałość urządzeń kotłowych.

Pierwsze badania zakończyły się opracowaniem „systemu akustycznego nadzoru kotła SN”. Drugie miały na celu określenie najczęstszych przyczyn powstawania drgań elementów kotłów oraz określenie możliwości ich zapobiegania.

W ramach programu rządowego PR-8 kierunek 6 „Nowe nośniki i przemiany energetyczne oraz podstawy projektowania nowych maszyn i urządzeń energetycznych” opracowana została koncepcja systemu diagnostyki akustycznej nieszczelności powierzchni ogrzewalnych kotłów. Rezultatem tych badań było opracowanie przez zespół, przy ścisłej współpracy z Elektrownią Rybnik, systemu akustycznego nadzoru kotła SN (zastrzeżenie patentowe Nr P-256 749).

Na VI Ogólnopolskich Targach Wynalazków rozwiązanie: „Sposób i układ do wykrywania nieszczelności rur powierzchni grzewczych kotłów parowych” zgłoszone przez Elektrownię Rybnik i Politechnikę Śląską otrzymało II nagrodę konkursu na najlepszy projekt wynalazczy miesiąca i roku.

Diagnostyka zespołów obiegu pierwotnego elektrowni jądrowej.

Zapoczątkowane zostały również prace nad metodyką badań diagnostycznych maszyn i urządzeń obiegu pierwotnego i wtórnego w stadiach technicznego, fizycznego i energetycznego rozruchu elektrowni jądrowej. Badania przerwano z chwilą zatrzymania budowy elektrowni w Żarnowcu.

6. Podsumowanie

W pracy przedstawione są wyniki badań pracowników Zakładu, które rozpoczęte zostały na początku lat sześćdziesiątych. W pierwszej części zaprezentowane zostało spojrzenie metodologiczne na zagadnienie naukowych podstaw w projektowaniu i konstruowaniu. Część druga pracy poświęcona jest kryteriom bezpieczeństwa ze szczególnym uwzględnieniem wskaźnika bezpie-

czeństwa. Na zakończenie omówione zostały najważniejsze osiągnięcia Zespołu z dziedziny badań diagnostycznych środków technicznych.

Literatura

1. Gnilke W.: Lebensdauerberechnung der Maschinenelemente. VEB Verlag Technik, Berlin 1980.
2. Jaskóła Z.: Problemy jakości i niezawodności środków technicznych. Referaty problemowe. XVI Sympozjum Podstaw konstrukcji maszyn. Warszawa 1993.
3. Jaskóła Z.: Dobór cech konstrukcyjnych elementów maszyn na podstawie zasad konstrukcji. Problemy metodologii i komputerowego wspomagania technicznego.
4. Juran J.M., Frank M., Gryna J.R.: Jakość. Projektowanie i analiza. WNT, Warszawa 1974.