

Spis treści

Od autora 7

1. Wstęp11

2. Definicje związane z wyważaniem.....14

2.1. Mechanika14

2.2. Wirniki16

2.3. Niewyważenie19

2.4. Proces wyważania22

2.5. Wyważarki25

2.6. Opis podstawowych pojęć i procesów związanych z wyważaniem31

3. Użyteczne informacje ogólne38

3.1. Statyka. Zasady redukcji układów sił39

3.2. Kinematyka. Ruch obrotowy45

3.3. Dynamika. Siła bezwładności.....46

3.4. Dynamika. Siły bezwładności w ruchu obrotowym53

3.5. Dynamika. Rozkład masy wirników i jej wyróżniki.....56

3.5.1. Momenty statyczne pola przekroju poprzecznego i masy57

3.5.2. Masowe momenty bezwładności punktu, układu punktów i ciała materialnego61

3.6. Wpływ niewyważenia na położenie i kierunek działania głównych i centralnych osi bezwładności wirnika sztywnego.....66

3.6.1. Elipsoida bezwładności68

3.6.2. Położenie głównych i centralnych osi bezwładności w układzie płaskim.....77

3.6.3. Położenie głównych i centralnych osi bezwładności w układzie quasi-przestrzennym82

3.6.4. Położenie głównych i centralnych osi bezwładności w układzie przestrzennym.....88

3.7. Przykłady wyznaczania linii i kierunku działania jednej z głównych i centralnych osi bezwładności z użyciem programu obliczeniowego Octave 4.0.1 (GUI)109

3.7.1. Układ płaski109

3.7.2. Układ quasi-przestrzenny112

3.7.3. Układy przestrzenne115

4. Użyteczne informacje o drganiach mechanicznych126

4.1. Wstęp126

4.2. Wektorowa interpretacja drgań i zastosowanie liczb zespolonych127

4.3. Masowy układ drgający o jednym stopniu swobody.....133

4.3.1. Drgania swobodne nietłumione135

4.3.2. Drgania swobodne tłumione141

4.3.3. Drgania wymuszone nietłumione	146
4.3.4. Drgania wymuszone tłumione	150
4.4. Energia drgań i rozkład sił na płaszczyźnie fazowej	159
4.5. Układy drgające o dwóch stopniach swobody	166
5. Teoria wyważania	169
5.1. Więzy w ruchu obrotowym	169
5.2. Zasada minimum energii a niewyważenie	171
5.3. Podstawy wyważania wirników sztywnych na wyważarkach	172
5.3.1. Co to jest wyważanie?	176
5.3.2. Elementarne zależności	177
5.3.3. Dokładność wyważania (klasy dokładności wyważania)	182
5.4. Analiza stanu niewyważenia wirników dwuwymiarowych	199
5.5. Analiza stanu niewyważenia wirników trójwymiarowych	220
5.6. Podstawy wyważania wirników podatnych	233
5.7. Ruch wirowy tarczy osadzonej na wale podatnym giętnie	247
5.8. Równowaga sił na wirującej tarczy i mechanizm jej samocentrowania	255
5.8.1. Siły tarcia generowane na wirującej tarczy osadzonej na wale podatnym giętnie w lepkim ośrodku	262
5.8.2. Siły bezwładności generowane na wirującej tarczy osadzonej na wale podatnym giętnie	293
5.9. Wyważanie jednopłaszczyznowe wirników dwuwymiarowych za pomocą metody współczynników	311
5.10. Wyważanie dwupłaszczyznowe wirników trójwymiarowych z wykorzystaniem metody współczynników	326
6. Wykorzystanie metod obliczeniowych: współczynników wpływu i modalnej do dynamicznego wyważania wirników i minimalizacji ugięć belek	338
6.1. Wyważanie wirników podatnych i znajdowanie sił przeciwdziałających pierwotnym obciążeniom zewnętrznym belek z wykorzystaniem metody współczynników wpływu	345
6.1.1. Metoda współczynników wpływu dla równej ilości <i>PP</i> i <i>PK</i>	347
6.1.2. Wyznaczanie zewnętrznego obciążenia belek z wykorzystaniem metody współczynników. Dostosowanie metody do różnej liczby <i>PP</i> i <i>PK</i>	361
6.1.3. Wyważenie wirnika w trzech płaszczyznach z wykorzystaniem związków analitycznych metody	370
6.1.4. Wyważenie w trzech płaszczyznach korekcyjnych z użyciem programu obliczeniowego	387
6.1.5. Wyważenie wirnika w pięciu płaszczyznach korekcyjnych z użyciem programu obliczeniowego	391
6.1.6. Metoda współczynników wykorzystywana do znajdowania sił przeciwdziałających statycznym ugięciom belek i wirników	404
6.1.6.1. Minimalizacja ugięć belek przy obciążeniu zewnętrznym równomiernie rozłożonym wzdłuż długości belki	409
6.1.6.2. Minimalizacja ugięć belek przy obciążeniu zewnętrznym skupionym w wybranym punkcie belki	424
6.1.7. Wprowadzenie do przypadków dynamicznych	450
6.1.8. Obliczanie ugięć wirników podatnych wywołanych obrotami z użyciem równań równowagi sił i momentów zginających	457

6.1.9. Programowe obliczenie korekcji niewyważenia wstępnego o przebiegu sinusoidalnym	463
6.1.10. Skuteczność metody współczynników dla wirnika będącego na obrotach przy różnych konfiguracjach punktów pomiarowych i korekcji.....	471
6.2. Wyważanie wirników z wykorzystaniem metody modalnej.....	478
6.2.1. Obliczenie częstości własnych wirnika będącego na obrotach	490
6.2.2. Obliczanie ugięć wirników podatnych wywołanych obrotami	497
6.2.3. Wykorzystanie metody modalnej w procesie wyważania.....	514
6.2.4. Praktyczne aspekty wyważania postaciowego.....	525
6.2.5. Analityczny sposób obliczeń, w których jest wyznaczany jeden obciążnik korekcyjny główny w zestawie.....	529
6.2.5.1. Przykłady, w których niewyważenie początkowe jest skupione w punkcie ...	530
6.2.5.2. Przykład, w którym niewyważenie jest rozciągnięte na całej długości wirnika	553
6.2.6. Analityczny sposób obliczeń, w których jest wyznaczanych kilka obciążników głównych w zestawie	557
6.2.7. Praktyczny aspekt wyważania w kilku cyklach pomiarowych	575
6.2.8. Obliczenia masy pojedynczego obciążnika korekcyjnego, dla każdej z postaci ugięcia, z użyciem oprogramowania narzędziowego Octave 4.0.1 (GUI)	587
6.2.9. Kompletowanie zestawów zawierających jeden obciążnik korekcyjny główny	595
6.2.10. Kompletowanie zestawów zawierających więcej niż jeden obciążnik korekcyjny główny	604
6.2.11. Wyznaczanie mas obciążników korekcyjnych dla wyważania realizowanego w jednym cyklu pomiarowym z użyciem oprogramowania narzędziowego. Masy obciążników korekcyjnych są równe dla wszystkich obciążników w danej postaci	606
6.2.12. Wyznaczenie mas obciążników korekcyjnych dla wyważania realizowanego w jednym cyklu pomiarowym z użyciem oprogramowania narzędziowego. Masy obciążników korekcyjnych są zależne od miejsc ich posadowienia	612
6.2.13. Wyznaczanie mas obciążników korekcyjnych dla wyważania realizowanego w kilku cyklach pomiarowych z użyciem oprogramowania narzędziowego	617
6.2.14. Wpływ mocowania obciążnika korekcyjnego po przeciwnej stronie osi symetrii linii ugięcia	636
7. Wyważarki	641
7.1. Rodzaje maszyn do wyważania	641
7.2. Zasada działania i budowa mechaniczna wyważarki uniwersalnej poziomej.....	650
7.3. Podstawy budowy oprogramowania w wyważarkach.....	678
7.4. Kalibracja wyważarek	679
7.5. Podstawowe wyposażenie technologiczne wyważarek.....	690
7.5.1. Wałek technologiczny	691
7.5.2. Adaptory	695
7.6. Testowanie wyważarek.....	698
7.6.1. Wirniki testowe	708
7.6.2. Test uzyskiwanego najmniejszego niewyważenia resztkowego NRu	713
7.6.3. Test współczynnika redukcji niewyważenia WRN	721
7.6.4. Test obciążenia momentowego	732
7.6.5. Test względnego obrotu.....	735
8. Podstawy wyważania wirników w łożyskach własnych	736

9. Wybrane aspekty technologii wyważania	752
9.1. Niewyważenie spowodowane niecentrycznością lub błędem kątowym zamocowania wyważanego wirnika	752
9.2. Kompensacja mechaniczna i elektroniczna błędów zamocowania wirnika podczas wirowania.....	758
9.3. Przesuwanie środka drgań za pomocą korekcji rozkładu masy z wykorzystaniem aparatury przenośnej do wyważania.....	761
9.4. Zmiana sztywności posadowienia	763
9.5. Wpływ ustawienia podpór na wartość amplitudy sił w podparciu wirnika przewieszonego.....	765
Indeks programów warsztatowych wspomagających obliczenia	767
10. Literatura	768