

## Spis treści

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Przedmowa .....                                                                                    | 9  |
| Wstęp .....                                                                                        | 11 |
| ROZDZIAŁ 1                                                                                         |    |
| DIAGNOSTYKA W ŚWIECIE PRZEPISÓW NORMATYWNYCH .....                                                 | 13 |
| 1.1. Diagnostyka techniczna – interpretacja Polskiej Normy PN-90/N-04002 .....                     | 13 |
| 1.2. Diagnostyka techniczna statków powietrznych – interpretacja Normy<br>Obronnej NO-15A801 ..... | 18 |
| Spis literatury .....                                                                              | 23 |
| ROZDZIAŁ 2                                                                                         |    |
| ROLA DIAGNOSTYKI W EKSPLOATACJI MASZYN .....                                                       | 24 |
| 2.1. Związki eksploatacji z diagnostyką .....                                                      | 24 |
| 2.2. Diagnostyka w eksploatacji maszyn .....                                                       | 25 |
| 2.3. Diagnostyka w obsłudze maszyn .....                                                           | 27 |
| Spis literatury .....                                                                              | 28 |
| ROZDZIAŁ 3                                                                                         |    |
| DIAGNOSTYKA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH – STAN AKTUALNY<br>I PERSPEKTYWY ROZWOJU .....                   | 30 |
| 3.1. Znaczenie podatności diagnostycznej obiektu .....                                             | 30 |
| 3.2. Istota modelu diagnostycznego .....                                                           | 31 |
| 3.3. Kierunki rozwoju metod diagnozowania .....                                                    | 32 |
| 3.3.1. Autonomiczne metody diagnozowania .....                                                     | 32 |
| 3.3.2. Wielometodowe diagnozowanie obiektów .....                                                  | 35 |
| 3.3.3. Kompleksowa metoda diagnozowania .....                                                      | 35 |
| 3.4. Specyfika środków diagnozowania .....                                                         | 39 |
| 3.5. Systemy diagnozowania .....                                                                   | 39 |
| Spis literatury .....                                                                              | 41 |
| ROZDZIAŁ 4                                                                                         |    |
| PODATNOŚĆ DIAGNOSTYCZNA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH .....                                                | 43 |
| 4.1. Opis i identyfikacja obiektu .....                                                            | 43 |
| 4.1.1. Przeznaczenie i opis działania obiektu .....                                                | 43 |
| 4.1.2. Warunki pracy (otoczenie) obiektu .....                                                     | 43 |
| 4.1.3. Materiały zastosowane do wykonania obiektu .....                                            | 44 |
| 4.1.4. Przestanki projektowania, produkcji i eksploatacji obiektu .....                            | 44 |
| 4.1.5. Opis obiektu podczas eksploatacji .....                                                     | 46 |

|                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2. Podstawowe charakterystyki obiektu .....                                                                                                                                                               | 47 |
| 4.2.1. Wyznaczanie charakterystyk statycznych .....                                                                                                                                                         | 47 |
| 4.2.2. Wyznaczanie charakterystyk dynamicznych (czasowych<br>i częstotliwościowych) .....                                                                                                                   | 51 |
| 4.3. Wrażliwość obiektu .....                                                                                                                                                                               | 52 |
| 4.4. Charakterystyki niezawodnościowe obiektu .....                                                                                                                                                         | 55 |
| 4.5. Problemy dekompozycji obiektów technicznych .....                                                                                                                                                      | 59 |
| 4.5.1. Dekompozycja obiektu wg wyuczonej specjalności obsługi<br>technicznej .....                                                                                                                          | 59 |
| 4.5.2. Dekompozycja obiektu wg charakterystyk niezawodnościowych .....                                                                                                                                      | 59 |
| 4.5.3. Dekompozycja diagnostycznie niepodatnego obiektu .....                                                                                                                                               | 61 |
| 4.6. Polepszanie podatności diagnostycznej .....                                                                                                                                                            | 62 |
| 4.6.1. Polepszenie podatności diagnostycznej instalacji hydraulicznej<br>układem badawczym do aktywnej ingerencji w strukturę<br>badanego obiektu na przykładzie instalacji hydraulicznej<br>samolotu ..... | 63 |
| 4.6.2. Polepszenie podatności diagnostycznej metodą formowania<br>sygnałów diagnostycznych .....                                                                                                            | 72 |
| 4.6.3. Polepszanie podatności diagnostycznej metodą odkłócania<br>sygnałów i obiektów .....                                                                                                                 | 78 |
| Spis literatury .....                                                                                                                                                                                       | 84 |

## ROZDZIAŁ 5

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MODELE DIAGNOSTYCZNE OBIEKTÓW TECHNICZNYCH .....                                        | 86  |
| 5.1. Ogólna postać modelu diagnostycznego .....                                         | 86  |
| 5.2. Model diagnostyczny układu hydraulicznego jako modułu instalacji<br>samolotu ..... | 89  |
| 5.3. Modele diagnostyczne turbinowego silnika odrzutowego .....                         | 96  |
| 5.4. Model diagnostyczny kanału przepływowego silnika .....                             | 100 |
| Spis literatury .....                                                                   | 105 |

## ROZDZIAŁ 6

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| METODY DIAGNOZOWANIA .....                            | 106 |
| 6.1. Główne obszary zainteresowania diagnostyki ..... | 107 |
| 6.2. Zasady diagnozowania w praktyce .....            | 110 |
| 6.3. Cele diagnostyki .....                           | 111 |
| 6.3.1. Ocena stanu technicznego .....                 | 111 |
| 6.3.2. Lokalizacja uszkodzeń .....                    | 112 |
| 6.3.3. Prognozowanie stanu technicznego .....         | 113 |
| 6.4. Wskaźniki jakości do porównywania sygnałów ..... | 115 |

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5. Półautomatyczna funkcjonalna metoda diagnozowania turbinowych silników odrzutowych oraz instalacji hydraulicznej samolotu oparta na sygnałach automatyki .....    | 117 |
| 6.5.1. Opis funkcjonalny turbinowego silnika odrzutowego .....                                                                                                         | 117 |
| 6.5.2. Opis funkcjonalny instalacji hydraulicznej .....                                                                                                                | 120 |
| 6.5.3. Zbiór uszkodzeń i sygnałów diagnostycznych .....                                                                                                                | 122 |
| 6.5.4. Wzorcowe przebiegi sygnałów diagnostycznych .....                                                                                                               | 128 |
| 6.6. Półautomatyczna funkcjonalna metoda diagnozowania turbinowych silników odrzutowych oraz układu hydraulicznego oparta na współrzędnych stanu .....                 | 130 |
| 6.6.1. Diagnozowanie kanału turbinowego silnika odrzutowego metodą trajektorii fazowej .....                                                                           | 133 |
| 6.6.2. Diagnozowanie układu hydraulicznego wyodrębnionego z instalacji hydraulicznej samolotu metodą trajektorii fazowej .....                                         | 138 |
| 6.7. Kompleksowa metoda diagnozowania na podstawie analizy sygnałów wibroakustycznych i elektrycznych .....                                                            | 141 |
| 6.7.1. Opis matematyczny uszkodzenia .....                                                                                                                             | 141 |
| 6.7.2. Opis matematyczny uszkodzonego obiektu – napędu lotniczego .....                                                                                                | 143 |
| 6.7.3. Założenia do kompleksowej metody diagnozowania z wykorzystaniem sygnałów wibroakustycznych i elektrycznych (funkcjonalnych) .....                               | 147 |
| 6.8. Parametryczne metody diagnozowania obiektów technicznych .....                                                                                                    | 148 |
| 6.8.1. Przesłanki parametrycznego diagnozowania układu hydraulicznego z ingerencją w jego strukturę metodą sieci neuronowej .....                                      | 148 |
| 6.8.2. Schemat blokowy układu hydraulicznego .....                                                                                                                     | 149 |
| 6.8.3. Diagnozowanie układu hydraulicznego metodą sztucznej sieci neuronowej .....                                                                                     | 149 |
| 6.8.4. Schemat blokowy układu hydraulicznego z ingerencją w strukturę badanego obiektu .....                                                                           | 152 |
| 6.8.5. Diagnozowanie układu hydraulicznego z ingerencją w jego strukturę metodą sieci neuronowej .....                                                                 | 152 |
| 6.9. Diagnozowanie wycieków z instalacji hydraulicznej metodą wywoływania zdeterminowanych słabych interakcji między obiektem badawczym a obiektem diagnozowanym ..... | 154 |
| 6.9.1. Układ hydrauliczny jako obiekt diagnozowania .....                                                                                                              | 154 |
| 6.9.2. Polepszenie podatności instalacji metodą słabych międzyobiektowych interakcji .....                                                                             | 155 |
| 6.9.3. Badania diagnostyczne układu hydraulicznego o polepszonej podatności diagnostycznej .....                                                                       | 160 |

|                                                                                                                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.10. Diagnozowanie wycieków z długich rurociągów metodą wymuszania<br>zdeteminowanych słabych interakcji między badanym rurociągiem<br>a specjalnym obiektem badawczym ..... | 165        |
| 6.10.1. Diagnozowanie rurociągów – stan aktualny .....                                                                                                                        | 165        |
| 6.10.2. Przesłanki do diagnozowania długich rurociągów .....                                                                                                                  | 166        |
| 6.11. Wspomaganie komputerowe badania i wnioskowania diagnostycznego<br>w metodach diagnozowania .....                                                                        | 168        |
| 6.11.1. Systemy ekspertowe .....                                                                                                                                              | 169        |
| 6.11.2. Systemy poznawcze .....                                                                                                                                               | 171        |
| 6.11.3. Baza danych turbinowego silnika odrzutowego dostosowana<br>do wymagań systemu ekspertowego .....                                                                      | 172        |
| 6.11.4. Baza wiedzy o turbinowym silniku odrzutowym dostosowana do<br>wymagań systemu ekspertowego .....                                                                      | 176        |
| Spis literatury .....                                                                                                                                                         | 179        |
| <b>ROZDZIAŁ 7</b>                                                                                                                                                             |            |
| <b>ŚRODKI DIAGNOZOWANIA .....</b>                                                                                                                                             | <b>183</b> |
| 7.1. Układy pomiarowe .....                                                                                                                                                   | 183        |
| 7.1.1. Charakterystyki statyczne układu pomiarowego .....                                                                                                                     | 183        |
| 7.1.2. Charakterystyki dynamiczne układu pomiarowego .....                                                                                                                    | 184        |
| 7.1.3. Realizacja pomiaru .....                                                                                                                                               | 185        |
| 7.2. Specjalne układy pomiarowe .....                                                                                                                                         | 187        |
| 7.2.1. Pomiar z logarytmowaniem i filtrowaniem ciśnienia $p_2$ .....                                                                                                          | 187        |
| 7.2.2. Układy pomiarowe aktywnie ingerujące w strukturę badanego<br>obiektu .....                                                                                             | 190        |
| 7.2.3. Układy pomiarowe „inteligentne” .....                                                                                                                                  | 191        |
| 7.3. Pilot jako inteligentny układ oceniający własności samolotu .....                                                                                                        | 193        |
| 7.3.1. Opis działania układu „samolot – pilot” .....                                                                                                                          | 193        |
| 7.3.2. Pilot jako układ pomiarowy .....                                                                                                                                       | 201        |
| 7.4. Komputerowy układ pomiarowy KUD-89/KAPSO i jego rola w systemie<br>obsługiwanian silników typu 89 .....                                                                  | 206        |
| 7.4.1. Środki diagnozowania systemu kontrolno-diagnostycznego<br>samolotu .....                                                                                               | 207        |
| 7.4.2. Komputerowy układ pomiarowy sygnałów silnika typu 89 .....                                                                                                             | 208        |
| Spis literatury .....                                                                                                                                                         | 212        |
| Podsumowanie .....                                                                                                                                                            | 214        |
| Summary .....                                                                                                                                                                 | 215        |
| Резюме .....                                                                                                                                                                  | 216        |
| Indeks rzeczowy .....                                                                                                                                                         | 217        |