

SPIS TREŚCI

Streszczenie	9
Wykaz stosowanych skrótów i oznaczeń	13
WSTĘP	15
Rozdział 1	
PROBLEMATYKA KSZTAŁTOWANIA TRWAŁOŚCI NAPĘDU	
HYDROSTATYCZNEGO.....	23
Rozdział 2	
NAPĘD HYDROSTATYCZNY JAKO SYSTEM TECHNICZNY	53
2.1. Struktura napędu hydrostatycznego	53
2.2. Hydrauliczna para precyzyjna	66
2.2.1. Warunki pracy i obciążenia regulacyjnych par hydraulicznych	68
2.2.2. Warunki pracy i obciążenia rozdzielczych par suwakowych.....	74
2.2.3. Warunki pracy i obciążenia tłoczkowych (nurnikowych) par hydraulicznych.....	78
2.2.4. Warunki pracy i obciążenia hydraulicznej pary zębatej.....	86
2.3. Charakterystyka hydraulicznych par precyzyjnych wg kryterium kinematyki ich ruchu i warunków obciążenia.....	89
2.4. Warunki pracy i obciążenia wężła uszczelniającego	92
Rozdział 3	
CIECZ HYDRAULICZNA JAKO ELEMENT KONSTRUKCYJNY	
NAPĘDU HYDROSTATYCZNEGO I JEJ WŁAŚCIWOŚCI.....	101
3.1. Funkcje cieczy hydraulicznych i wymagania im stawiane	101
3.2. Właściwości fizyko-chemiczne i użytkowe cieczy hydraulicznych	103
3.2.1. Właściwości fizyko-chemiczne cieczy hydraulicznych.....	103
3.2.1.1. Lepkość cieczy hydraulicznych.....	103
3.2.1.2. Gęstość cieczy hydraulicznych.....	108

3.2.1.3. Temperatura płynięcia	111
3.2.1.4. Ciepło właściwe i przewodność cieplna	111
3.2.1.5. Punkt anilinowy	112
3.2.1.6. Kwasowość cieczy hydraulicznych	113
3.2.2. Właściwości użytkowe cieczy hydraulicznych	114
3.2.2.1. Własności smarne i przeciwzużyciowe cieczy hydraulicznych	114
3.2.2.2. Pienienie się cieczy hydraulicznych	115
3.2.2.3. Własności przeciwkorozyjne cieczy hydraulicznych	117
3.2.2.4. Odporność na tworzenie emulsji	118
3.2.2.5. Odporność na utlenianie	119
3.3. Zjawiska zachodzące w cieczach hydraulicznych podczas ich pracy	120
3.3.1. Kawitacja	120
3.3.2. Obliteracja	124
3.3.3. Uderzenie hydrauliczne	127
3.4. Rodzaje i oznaczenia cieczy hydraulicznych	128
3.5. Zanieczyszczenia stałe w cieczach hydraulicznych	135
3.6. Metody oceny czystości cieczy hydraulicznych	140
3.6.1. Granulometryczne oznaczanie czystości cieczy hydraulicznych ...	146
3.6.2. Spektrometryczne oznaczanie czystości cieczy hydraulicznych	149
3.6.3. Ferrograficzne oznaczanie czystości cieczy hydraulicznych	151

Rozdział 4

PROCESY STARZENIA I ZUŻYCIA W NAPĘDACH

HYDROSTATYCZNYCH.....	155
4.1. Wprowadzenie	155
4.2. Starzenie się cieczy hydraulicznych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych	158
4.2.1. Przyczyny i skutki starzenia się cieczy hydraulicznych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych	158
4.2.2. Charakterystyka właściwości cieczy hydraulicznych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych	163
4.2.2.1. Wygląd i kolor cieczy hydraulicznych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych	165

4.2.2.2. Lepkość kinematyczna cieczy hydraulicznych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych.....	167
4.2.2.3. Liczba kwasowa cieczy hydraulicznych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych.....	173
4.2.2.4. Stan czystości cieczy hydraulicznych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych.....	179
4.2.2.5. Oddziaływanie na hydrauliczną parę precyzyjną zanieczyszczeń zawartych w cieczy hydraulicznej	196
4.3. Starzenie się uszczelnień elastomerowych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych	207
4.3.1. Kompatybilność elastomerów z cieczami hydraulicznymi.....	210
4.3.2. Interakcja chemiczna uszczelki z cieczą hydrauliczną	213
4.4. Proces zużycia hydraulicznych par precyzyjnych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych.....	217
4.4.1. Proces zużycia hydraulicznych par precyzyjnych pomp i silników osiowo-tłoczkowych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych	219
4.4.2. Proces zużycia w regulacyjnych i rozdzielczych parach suwakowych w czasie ich użytkowania w napędach hydrostatycznych	232
4.4.3. Modelowanie procesu wywołującego zacieranie adhezyjne w hydraulicznych parach regulacyjnych.....	236
4.4.3.1. Zacieranie adhezyjne (sczepianie) w hydraulicznych parach regulacyjnych przy obciążeniu kontaktowo-wibracyjnym.....	236
4.4.3.2. Modelowanie procesu wywołującego zacieranie adhezyjne (sczepianie) w hydraulicznych parach regulacyjnych przy obciążeniu kontaktowo-wibracyjnym	238

Rozdział 5

WRAŻLIWOŚĆ ZANIECZYSZCZENIOWA URZĄDZEŃ HYDRAULICZNYCH NAPIĘTU HYDROSTATYCZNEGO	249
5.1. Wprowadzenie	249
5.2. Charakterystyka szczelin hydraulicznych.....	251
5.3. Przepływ przez szczelinę hydrauliczną cieczy hydraulicznej zawierającej zanieczyszczenia	258

5.3.1. Założenia.....	258
5.3.2. Przepływ cieczy hydraulicznej przez szczelinę hydrauliczną, gdy natężenie jej przepływu na wejściu do szczeliny jest większe od natężenia jej przepływu w szczelinie	259
5.3.3. Przepływ cieczy hydraulicznej przez szczelinę hydrauliczną, gdy natężenie jej przepływu na wejściu do szczeliny jest mniejsze od natężenia jej przepływu w szczelinie	262
5.3.4. Przepływ cieczy hydraulicznej przez szczelinę hydrauliczną, gdy cylindryczny suwak przemieszcza się ze stałą prędkością względem tulei	264
5.4. Rozkład zanieczyszczeń na długości przepływowej szczeliny hydraulicznej.....	267
5.5. Modelowanie poziomu zanieczyszczeń w cieczy hydraulicznej napędu hydrostatycznego	278
5.6. Modelowanie wrażliwości zanieczyszczeniowej hydraulicznych par precyzyjnych urządzeń hydraulicznych	288
5.6.1. Modelowanie wrażliwości zanieczyszczeniowej tłoczkowych par hydraulicznych pomp hydraulicznych	290
5.6.2. Modelowanie wrażliwości zanieczyszczeniowej rozdzielczych par suwakowych.....	293
5.6.3. Modelowanie wrażliwości zanieczyszczeniowej regulacyjnych par hydraulicznych.....	295
5.6.4. Modelowanie wrażliwości zanieczyszczeniowej filtra hydraulicznego	296
5.6.5. Przykład szacowania wrażliwości zanieczyszczeniowej tłoczkowej pompy hydraulicznej	297

Rozdział 6

SZACOWANIE I MONITOROWANIE TRWAŁOŚCI NAPĘDÓW HYDROSTATYCZNYCH.....301

6.1. Sformułowanie problemu szacowania i monitorowania trwałości urządzeń hydraulicznych	301
6.2. Szacowanie trwałości urządzenia hydraulicznego w fazie jego projektowania i wytwarzania	305
6.2.1. Szacowanie trwałości urządzenia hydraulicznego uwzględniające losowe procesy zużycia i starzenia – podstawy teoretyczne	305

6.2.2. Szacowanie trwałości urządzenia hydraulicznego uwzględniające ich destrukcję przez zanieczyszczenia zawarte w cieczy hydraulicznej	311
6.2.2.1. Sformułowanie problemu i podstawy teoretyczne.....	311
6.2.2.2. Weryfikacja liczbowa szacowania trwałości urządzenia hydraulicznego z uwzględnieniem wpływu zanieczyszczeń zawartych w cieczy hydraulicznej	316
6.2.3. Szacowanie trwałości urządzenia hydraulicznego w oparciu o teorię wartości ekstremalnych tarcia statycznego w hydraulicznych parach precyzyjnych	318
6.2.3.1. Sformułowanie problemu i podstawy teoretyczne.....	318
6.2.3.2. Weryfikacja liczbowa szacowania trwałości urządzenia hydraulicznego w oparciu o asymptotyczny rozkład wartości ekstremalnych tarcia statycznego.....	322
6.3. Monitorowanie trwałości urządzeń hydraulicznych w fazie ich eksploatacji	325
6.3.1. Monitorowanie trwałości urządzeń hydraulicznych z wykorzystaniem tolerancji resztkowej	325
6.3.1.1. Sformułowanie problemu i podstawy teoretyczne.....	325
6.3.1.2. Weryfikacja liczbowa monitorowania trwałości urządzeń hydraulicznych	329
6.3.2. Monitorowanie trwałości napędu hydrostatycznego na podstawie identyfikacji jego stanu technicznego.....	335
6.3.2.1. Sformułowanie problemu i podstawy teoretyczne.....	335
6.3.2.2. Weryfikacja liczbowa monitorowania trwałości napędu hydrostatycznego	344
6.4. Probabilistyczny model zmiany luzu w hydraulicznej parze precyzyjnej w funkcji czasu jej użytkowania	346
6.4.1. Ustalenie modelu zmian luzu w hydraulicznej parze precyzyjnej w funkcji czasu	346
6.4.2. Wyznaczenie prawdopodobieństwa przejść z jednego ustalonego stanu do innego w przedziale czasu o pewnej długości	349
6.4.3. Określenie równania różniczkowego dla zużycia jednego elementu hydraulicznej pary precyzyjnej.....	351
6.4.4. Wyznaczenie funkcji gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej przyrostu luzu	354

6.4.5. Wyznaczenie funkcji gęstości prawdopodobieństwa luzu w elementach hydraulicznej pary precyzyjnej w zależności od czasu jej pracy	355
6.4.6. Wyznaczenie modelu zmian wartości parametru technicznego urządzenia hydraulicznego	359
Rozdział 7	
PODSUMOWANIE	363
LITERATURA	375