

Łódź 09-10 maja 1995 roku

Jadwiga Janowska(*Politechnika Warszawska*)

ANALIZA METROLOGICZNA WYNIKÓW BADAŃ NA PRZYKŁADZIE ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH

SŁOWA KLUCZOWE

Analiza metrologiczna, łożyska ślizgowe, metody analizy wariancyjnej

STRESZCZENIE

Przedstawiono zastosowanie analizy wariancji do oceny wpływu sposobu zmian wartości liczby Herseya, poprzez zmianę prędkości poślizgu, na przebieg krzywych Stribecka dla łożysk ślizgowych smarowanych.

WPROWADZENIE

Celem wielu badań jest stwierdzenie istnienia wpływu różnych czynników na interesującą nas zmienną wyjściową. W badaniach tribologicznych stochastyczny charakter parametrów wejściowych tribosystemu implikuje losowość parametrów wyjściowych. Dodatkowo wyciąganie wniosków utrudnia duży rozrzut wyników badań prowadzonych w warunkach silnych zakłóceń [1].

Problemy takie rozwiązuje się często metodami analizy wariancyjnej, opracowanej przez Fishera i Snedecora [2]. Podstawą analizy wariancyjnej jest ocena przewagi całkowitej wariancji wyników względem naturalnej wariancji błędów tzw. wariancji resztowej. Jeżeli badany czynnik rzeczywiście oddziałuje na zmienną wyjściową to wnosi on do całkowitej zmienności wyników dodatkową część, którą opisuje tzw. wariancja czynnikowa. Ocena istotności oddziaływania czynnika odbywa się poprzez porównanie wariancji czynnikowej z wariancją błędów (resztową).

Analizę wariancji zastosowano do oceny wpływu metody wyznaczania krzywych Stribecka na ich przebieg. Na podstawie krzywych Stribecka wyznacza się opory ruchu w łożyskach ślizgowych. Są one geometryczną interpretacją zależności:

$$\mu = f(K) = f(\eta \cdot v/p) \quad (1)$$

gdzie: μ - współczynnik tarcia w łożysku, K - liczba Herseya, η - lepkość dynamiczna oleju, v - prędkość poślizgu, p - nacisk obliczeniowy w łożysku.

Czynnik badany to: sposób uzyskania liczby Herseya, sposób zmian wartości prędkości poślizgu lub nacisku (składników liczby Herseya) oraz wartość ustalonego dla danego pomiaru parametru. Zmienna wyjściowa to wartość współczynnika tarcia.

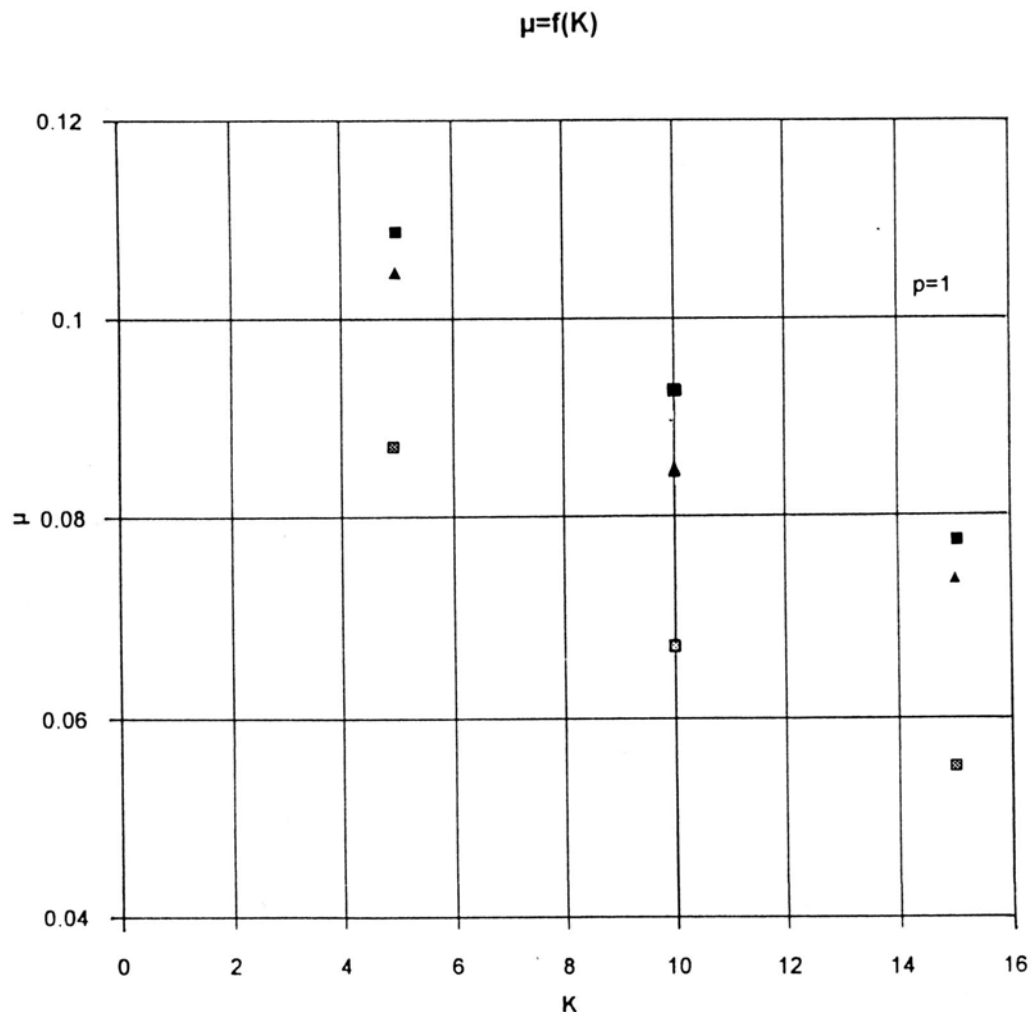
Schemat postępowania w celu stwierdzenia istnienia wpływu danego czynnika na zmienną wyjściową we wszystkich przypadkach jest jednakowy i omówiono go na

przykładzie oceny wpływu sposobu zmian wartości liczby Herseya (prędkości poślizgu) na przebieg krzywych Stribeck dla łożysk smarowanych [3].

WYNIKI BADAŃ - KRZYWE STRIBECKA WYZNACZONE METODĄ SD.KV

Przebiegi krzywych Stribeck, uzyskane przy zmianie wartości liczby Herseya K z szybkością $a_{KV} = 0$ (metoda S.) i $a_{KV} \neq 0$ (metoda D.) poprzez zmianę wartości prędkości poślizgu v (metoda .KV) z przyspieszeniem a_v , wyznaczono dla łożysk smarowanych zgodnie z programem badań [3]. Dane eksperymentalne otrzymano w wyniku przeprowadzenia badań w dziewięciu układach pomiarowych (liczba Herseya $K = \eta * v/p = A * v = [5A, 10A, 15A]$) oraz szybkość zmian wartości liczby Herseya $a_{KV} = [0, 3.5A, 7A]$, powtórzonych dla trzech stałych wartości nacisku $p = \text{const.} = [1, 1.5, 2]$ MPa.

Na rys. 1. przedstawiono otrzymane doświadczalnie wartości współczynnika tarcia μ dla wartości liczby Herseya K zmienianej z szybkością $a_{KV} = [0, 3.5A, 7A]$ przy stałych wartościach nacisku $p = 1$ MPa (łożyska smarowane).



Rys. 1. Wartości współczynnika tarcia μ dla liczby Herseya zmienianej z szybkością a_{KV} przy $p = \text{const.} = 1$ MPa - metoda SD.KV

Łożysko smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030

~ - średnia wartość współczynnika tarcia dla liczby Herseya zmienianej z szybkością a_{KV} : -
 $a_{KV} = 3.5A$ Δ - $a_{KV} = 7A$ - $a_{KV} = 0$ w stanach ustalonych

Wyniki badań wskazują, że dla danej wartości liczby Herseya K zmienianej z różną szybkością a_{KV} otrzymuje się różne wartości współczynnika tarcia μ . Wartości współczynnika tarcia, dla danych wartości liczby Herseya $K = [5A, 10A, 15A]$, uzyskane przy liniowej zmianie liczby Herseya z szybkością zmian $a_{KV} \neq 0$ (liniowa zmiana liczby Herseya poprzez liniową zmianę prędkości poślizgu z przyspieszeniem $a_V \neq 0$) są większe w całym zakresie pomiarowym od wartości współczynników tarcia otrzymanych dla kolejnych, ustalonych wartości liczby Herseya (ustalonych wartości prędkości poślizgu) a więc w stanach ustalonych.

ANALIZA METROLOGICZNA WYNIKÓW BADAŃ - PRZYKŁAD

Do analizy istotności wpływu wartości szybkości zmian a_{KV} liczby Herseya, w metodzie SD.KV, na wartość współczynnika tarcia μ (dla danej stałej wartości nacisku p) wykorzystano metodę jednoczynnikowej analizy wariancji. Postawiono hipotezę zerową H_0 o nieistotności wpływu wobec hipotezy alternatywnej H_1 o jego istotności. Hipoteza zerowa H_0 mówi, że wartość szybkości zmian a_{KV} liczby Herseya, w metodzie SD.KV, nie ma wpływu na wartość współczynnika tarcia μ dla danej wartości liczby Herseya K . Natomiast hipoteza H_1 , jest równoważna stwierdzeniu, że wartości współczynnika tarcia μ , dla danej wartości liczby Herseya K , są różne dla różnych wartości szybkości zmian a_{KV} liczby Herseya.

Stosując metodę jednoczynnikowej analizy wariancji należało sprawdzić na założonym poziomie istotności α (przyjęto $\alpha = 0.05$) wpływ wartości szybkości zmian a_{KV} liczby Herseya na wartość współczynnika tarcia μ w metodzie SD.KV. Oddzielnie dokonano analizę dla $K = 5A$, $K = 10A$ i $K = 15A$. Wybrano test oparty na przedziałach ufności (Conf. Int).

Wyniki analizy istotności wpływu wartości szybkości zmian a_{KV} liczby Herseya w metodzie SD.KV na wartość współczynnika tarcia p omówiono na przykładzie jednoczynnikowej analizy wariancji dla $a_{KV} \in [0, 3.5A, 7A]$ oraz $K = 5A$, $p = 1$ MPa. Przedstawiono je w formie typowej tabeli analizy wariancji: wyniki analizy wariancji, wartości średnie (w tym przypadku współczynników tarcia), test jednorodności wariancji, identyfikacja grup jednorodnych (Tabela 1.1 = 1.4.).

Tabela 1.1.

Wyniki analizy wariancji procedury ONEWAY - dla metody SD.KV: $K = 5A$, $a_{KV} = [0, 3.5A, 7A]$, $p = \text{const.} = 1$ MPa
 Łożysko smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030

| One-Way Analysis of Variance | | | | | | |
|---|----------------|------|-------------|---------|----------|--|
| Data: (4 DROP VPKMI.mi[;7]), (5 DROP dkv[;10]), (5 DROP dkv[;16]) | | | | | | |
| Level codes: (10 REP 0), (18 REP 3.5), (18 REP 7) | | | | | | |
| Labels: | | | | | | |
| Range test: Conf. Int. Confidence level: 95 | | | | | | |
| Analysis of variance | | | | | | |
| Source of variation | Sum of Squares | d.f. | Mean square | F-ratio | Sig. lev | |
| Between groups | .0027379 | 2 | .0013689 | 300.488 | .0000 | |
| Within groups | .0001230 | 27 | .0000046 | | | |
| Total (corrected) | .0028609 | 29 | | | | |
| 16 missing value(s) have been excluded. | | | | | | |
| p=1, K=5, akv=0, 3.5, 7 | | | | | | |

Tabela 1.2.

Wartości średnie współczynników tarcia μ - dla metody SD.KV: $K =$

$SA, a_{KV} = [0, 3.SA, 7A], p = \text{const.} = 1 \text{ MPa}$

Łożysko smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030

| Level | Count | Average | Std. Error (internal) | Std. Error (pooled s) | 95 Percent Confidence intervals for mean | |
|-------|-------|----------|--------------------------|--------------------------|---|--------|
| 0 | 10 | .0868269 | 4.30269E-004 | 6.74962E-004 | .0854416 | .08821 |
| 3.5 | 10 | .1088693 | 8.78967E-004 | 6.74962E-004 | .1074841 | .11025 |
| 7 | 10 | .1046511 | 6.39536E-004 | 6.74962E-004 | .1032659 | .10603 |
| Total | 30 | .1001158 | 3.89689E-004 | 3.89689E-004 | .0993160 | .10091 |

Tabela 1.3.

Test jednorodności wariancji - dla metody SD.KV: $K = 5A,$

$a_{KV} = [0, 3.SA, 7A], p = \text{const.} = 1 \text{ MPa}$ Łożysko smarowane -

olej zegarmistrzowski Moebius 8030

| | | |
|-------------------|----------|-------------|
| Cochran's C test: | 0.565282 | P = 0.12092 |
| Bartlett's test: | 1.17356 | P = 0.12759 |
| Hartley's test: | 4.17316 | |

Tabela 1.4.

Identyfikacja jednorodnych grup - dla metody SD.KV: $K =$

$SA, a_{KV} = [0, 3.SA, 7A], p = \text{const.} = 1 \text{ MPa}$ Łożysko

smarowane - olej zegarmistrzowski Moebius 8030

| Method: 95 Percent Confidence Intervals | | | |
|---|-------|----------|--------------------|
| Level | Count | Average | Homogeneous Groups |
| 0 | 10 | .0868269 | * |
| 7 | 10 | .1046511 | * |
| 3.5 | 10 | .1088693 | * |

$p=1, K=5, a_{kv}=0, 3.5, 7$

Wartością przesądającą o wyniku testu jest obliczony poziom istotności (Sig. level). Jeżeli jest on mniejszy niż założona wartość poziomu istotności a hipotezę zerową należy odrzucić na korzyść hipotezy alternatywnej. Jeżeli otrzymany poziom istotności jest większy od założonej wartości poziomu istotności a hipotezy zerowej nie można odrzucić tzn. nie można wykluczyć, że badany czynnik nie ma wpływu na wartość współczynnika tarcia.

Wartość poziomu istotności wynika z obliczonej wartości statystyki testowej Fishera Snedecora "F - ratio". Wartość ta jest stosunkiem średniej (podzielonej przez stopnie swobody) sumy kwadratów między grupami do średniej sumy kwadratów wewnątrz grup.

Wartością przesądającą o wyniku testu dla $K = 5A, p = 1 \text{ MPa}, a_{KV} = [0, 3.5A, 7A]$ jest podany poziom istotności równy 0.0000 (Tabela 1.1.) wynikający z obliczonej wartości statystyki testowej (statystyka Fishera - Snedecora "F - ratio" z 2/27 stopniami swobody). Jest on mniejszy od założonej wartości poziomu istotności $\alpha = 0.05$, więc hipotezę zerową należy odrzucić na korzyść hipotezy alternatywnej.

W tabeli 1.2. przedstawiono wartości średnie współczynnika tarcia μ dla poszczególnych wartości szybkości zmian a_{KV} (dla $K = 5A, p = 1 \text{ MPa}$).

Tabela testów jednorodności wariancji (Tabela 1.3.) zawiera wyniki testów Cochra, Bartletta i Hartleya hipotezy o równości wariancji w grupach. Jeżeli podane poziomy istotności P dla testu Cochra i dla testu Bartletta są większe od założonej wartości poziomu istotności a nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o jednorodności wariancji w grupach.

Założenie o jednorodności wariancji to jedno z dwóch założeń, których spełnienie jest wymagane, aby wnioski wynikające z testów analizy wariancji były prawomocne.

Drugim jest założenie o normalności populacji generalnej. Jest to ważna opcja dla zbadania poprawności metodologicznej.

Wniosek z przeprowadzonego testu potwierdzają tabele jednorodnych grup. Pokazują one czy, przy użyciu porównania opartego na przedziałach ufności, uzyskuje się grupy jednorodne czy nie.

Ponieważ podane poziomy istotności: $P = 0.121$ dla testu Cochra i $P = 0.128$ dla testu Bartletta są większe niż 0.05, więc nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o jednorodności wariancji w grupach. Wniosek z przeprowadzonego testu potwierdza tabela grup jednorodnych (Tabela 1.4.) - nie uzyskuje się grup jednorodnych dla szybkości zmian liczby Herseya $a_{KV} = [0, 3.5A, 7A]$.

Wniosek z przeprowadzonego testu można sformułować następująco:

- wartości współczynnika tarcia μ , dla liczby Herseya $K = 5A$, uzyskane metodą SD.KV przy zmianie wartości liczby Herseya z szybkością zmian a_{KV} poprzez zmianę wartości prędkości poślizgu, zależą od wartości a_{KV} oraz od sposobu zmian liczby Herseya tzn. czy zmiana liczby Herseya dokonywana jest w stanach ustalonych ($a_{KV} = 0$) czy metodą dynamiczną ($a_{KV} = 0$).

Wniosek ogólny dotyczący wpływu sposobu zmian liczby Herseya na charakter przebiegu doświadczalnie wyznaczonej krzywej Stribeck, uzyskanej przy zmianie wartości liczby Herseya z szybkością zmian a_{KV} poprzez zmianę wartości prędkości poślizgu, można sformułować po przeprowadzeniu analizy istotności wpływu wartości szybkości zmian a_{KV} liczby Herseya, w metodzie SD.KV, na wartość współczynnika tarcia μ dla $K = 10A$ i $K = 15A$ ($a_{KV} = [0, 3.5A, 7A]$, $p = 1$ MPa).

LITERATURA

1. Kropiewnicki A.: Niezawodność działania miniaturowych łożysk ślizgowych. Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 1984
2. Dąbkowski J.: STATGRAPHICS-system statystycznego opracowywania danych. Warszawa, Komputerowa Oficyna Wydawnicza "HELP" 1992
3. Janowska J.: Raport tematu - Wpływ metody wyznaczania krzywych Stribeck na ich przebieg w badaniach miniaturowych łożysk ślizgowych. IKPPiO PW 503/113/080/1, Warszawa 1994

METROLOGICAL ANALYSIS OF TEST RESULTS E.G. OF TRIBOLOGICAL STUDIES OF JOURNAL BEARINGS

Summary

The application of the analysis of variance for the evaluation the influence of method of variation of Hersey number through varying sliding speed, on Stribeck's characteristics of lubricated journal bearings is discussed.

Recenzja: prof. dr hab. inż. .tan Burcan