

БУДІВНИЦТВО І БУДІНДУСТРІЯ

УДК 621 (045)

О.А. Вишневський

ПЕРЕВІРКА КОРЕКТНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ ВИПРОБУВАНЬ НА АБРАЗИВНИЙ ЗНОС ЕЛЕМЕНТІВ АРМАТУРИ ЗА СХЕМОЮ МАЛИШЕВА-ВЕЛІНГЕРА-УЕТЦА

Національний авіаційний університет, e-mail:eco@nau.edu.ua; www.nau.edu.ua.

Визначена точність моделювання експериментально реалізованого методу випробувань на абразивний знос циліндричних зразків, що виконують обертальні рухи навколо осі в абразивній суміші. Доведено коректність моделювання випробувань на абразивний знос елементів арматури за схемою Малишева – Велінгера – Уетца.

Ключові слова: абразивне зношування, схема випробувань, модель зношування, параметри моделі, середньоквадратична похибка.

Введення. Надійність арматури залежить від абразивної зносостійкості матеріалів та покриттів трибо-вузлів, яка визначається довготривалими експериментальними випробуваннями. Існуючі підходи не давали можливості визначити показники абразивного зношування при змінних умовах експлуатації і мали незадовільну достовірність результатів.

Теоретичні методи знайшли широкий розвиток для встановлення взаємодії абразиву з матеріалом різних вузлів тертя при: бурінні свердловин; роботі земснарядів; переробці відходів скляних виробництв; обробці землі; експлуатації сільгосптехніки та аерокосмічної техніки; транспортних засобів та ін. Вони забезпечили можливість прогнозування працездатності деталей машин. Для цього розробляються нові методи та моделі процесів зношування з використанням теорії подібності та розмірності.

Моделювання процесу абразивного зносу дозволяє визначити основні величини та показники абразивного зношування трубопровідної арматури. Для забезпечення вимог міжнародних стандартів всі вироби мають змодельований життєвий цикл, який є складовою частиною петлі якості трибо-технічної системи.

Діючи моделі не забезпечують якісне визначення показників надійності трибо-систем, що працюють в умовах наявності абразиву, що підтверджує актуальність розробки нової методики визначення показників абразивного зношування трубопровідної арматури.

Необхідно розробити методи лабораторних випробувань з визначенням таких параметрів моделей зношування, за допомогою яких можна оцінити величину зносу реальних вузлів тертя машин [1].

Аналіз останніх досягнень. Розв'язанню проблеми визначення та прогнозування величини зносу при взаємодії деталей землерійної, бурильної техніки елементів арматури приділялося багато уваги в наукових роботах відомих вчених.

Використання методу за схемою – зразок, що рухається в абразивній суміші, знаходимо в роботі А.П. Малишева [2]. Велінгер і Уетц випробовували деталі тільки обертальними рухами в абразивній суміші [3]. Показником зношування вважалося відношення об'ємних зносів зразка до еталону, котрий випробовувався разом з першим. До недоліків можна віднести відсутність моделі зношування з паралельним визначенням її параметрів і, як наслідок, було неможливо переносити результати на інші силові, кінематичні і геометричні умови проведення випробувань. визначення величини зносу шляхом зважування зразків перетворювало ці показники в чисто якісні.

На основі теорії подібності і розмірності [4] була встановлена залежність між безрозмірними комплексами, що грають роль критеріїв подібності [5].

Таким чином виникла задача перевірки коректності виконаного моделювання абразивного зношування.

Результати досліджень. Розглядається безрозмірна багатофакторна модель зношування абразивною сумішшю матеріалів арматури на основі теорії подібності та розмірності [6]. Із величин, що визначають процес абразивного зношування та величин, які визначаються побудовані безрозмірні комплекси, що є основою даної моделі.

$$\frac{dU_w}{ds} = K_w \left(\frac{\sigma}{HB} \right)^m \left(\frac{v_\delta}{v_0} \right)^n \left(\frac{V_\Pi + V_B}{V_\Pi} \right)^k \left(\frac{T_C}{T_{\text{пл}}} \right)^\alpha \left(\frac{P_{\text{AT}} + P_\Pi}{P_{\text{AT}}} \right)^\beta \quad (1)$$

де U_w – величина лінійного зносу, при взаємодії зразка з абразивною сумішшю, s – шлях тертя, σ – тиск на поверхню тертя, $HВ$ – твердість матеріалу зразка.

При випробуванні циліндричного зразка в абразивній суміші (рис.1), визначили лінійний знос поверхні взаємодії. Середній тиск на циліндр при взаємодії з абразивною сумішшю через

$$\text{силу } Q \text{ визначили із залежності: } \sigma_{\text{ср}} = \frac{Q}{DH}, \quad (2)$$

де D – діаметр циліндра, H – висота циліндра.

Для визначення максимального тиску σ_0 прийнято розподіл тиску $\sigma(\varphi)$ у вигляді закону косинуса.

$$\sigma(\varphi) = \sigma_0 \cos \varphi_1, \text{ де } \varphi_1 = \varphi_0 - \varphi \quad (3)$$

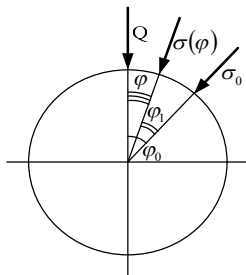


Рис. 1. Схематичний розподіл тиску абразиву на зразок.

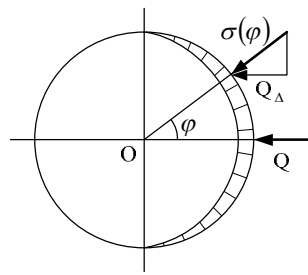


Рис. 2. Схематичний розподіл тиску абразиву на зразок по нормалі (Q – рівнодійна всіх горизонтальних сил).

Таким чином отримана наступна залежність:

$$\sigma(\varphi) = \sigma_0 \cos(\varphi_0 - \varphi). \quad (4)$$

Проектуючи тиск на напрям сили Q (рис.2) і враховуючи співвідношення сили Q і протидіючого тиску отримали наступну залежність.

$$Q = RH \sigma_0 \left(\sin \varphi_0 + \frac{\pi}{2} \cos \varphi_0 \right). \quad (5)$$

Шлях тертя за час експерименту для точки на поверхні циліндру радіуса R , що відповідає куту φ , знайдений за формулами:

$$s(\varphi) = 2\pi n t \sqrt{R_B^2 - 2R_B R \sin \varphi + R^2} \quad \text{для } \varphi \in \left[-\frac{\pi}{2}; 0 \right]; \quad (6)$$

$$s(\varphi) = 2\pi n t \sqrt{R_B^2 + 2R_B R \sin \varphi + R^2} \quad \text{для } \varphi \in \left[0; \frac{\pi}{2} \right], \quad (7)$$

де R_B – радіус обертання утримувача зразків.

Модель визначення величини абразивного зношування подана в лінійно диференційній формі.

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \sigma^m. \quad (8)$$

Остаточно модель зношування прийняла наступний вигляд.

$$u_w(\varphi) = 2\pi n t k_w \sigma_0^m \cos^m(\varphi_0 - \varphi) \sqrt{(R_B \mp R \sin \varphi)^2 + R^2 \cos^2 \varphi}, \quad (9)$$

де t – час випробувань, а n – частота обертання утримувача із зразками.

Використовуючи дані експерименту в чотирьох точках отримаємо наступну систему рівнянь для значень $\varphi \in [-\pi/2; 0]$.

$$\begin{cases} \frac{u_w(\varphi_1)}{u_w(\varphi_2)} = \left(\frac{\cos \varphi_1 + x \sin \varphi_1}{\cos \varphi_2 + x \sin \varphi_2} \right)^y \sqrt{\frac{R_B^2 + 2R_B R \sin \varphi_1 + R^2}{R_B^2 + 2R_B R \sin \varphi_2 + R^2}} \\ \frac{u_w(\varphi_3)}{u_w(\varphi_4)} = \left(\frac{\cos \varphi_3 + x \sin \varphi_3}{\cos \varphi_4 + x \sin \varphi_4} \right)^y \sqrt{\frac{R_B^2 + 2R_B R \sin \varphi_3 + R^2}{R_B^2 + 2R_B R \sin \varphi_4 + R^2}} \end{cases} \quad (10)$$

Після розв’язання системи (10) отримали значення кутової координати $\varphi_0 = 0,6658$ і параметра моделі $m = 3,2493$. Другий параметр моделі – коефіцієнт $k_w = 1,8336 \times 10^{-5}$ знайшли з рівняння (9). Знайдені параметри дали можливість прогнозувати надійність елементів трибо-системи арматури.

Для цього використовують результати зношування елементів арматури в абразивній суміші, що отримані аналітично (табл. 1). Вони відображають залежності величини абразивного зношування від часу t , шляху тертя s і кутових координат точок φ для абразиву розмірністю $\delta = 0,63-1$ мм.

Таблиця 1

φ	-90^0	-60^0	-30^0	0^0	30^0	60^0	90^0
n	7	6	5	1	2	3	4
t, год.							
10	$\frac{0,0}{46653}$	$\frac{0,01}{50031}$	$\frac{0,02}{58269}$	$\frac{0,01}{67930}$	$\frac{0,03}{76374}$	$\frac{0,03}{82007}$	$\frac{0}{83975}$
20	$\frac{0,0}{93305}$	$\frac{0,03}{100062}$	$\frac{0,04}{116538}$	$\frac{0,02}{135855}$	$\frac{0,05}{152747}$	$\frac{0,05}{164014}$	$\frac{0,01}{167950}$
30	$\frac{0,01}{139958}$	$\frac{0,03}{150093}$	$\frac{0,07}{174807}$	$\frac{0,03}{203782}$	$\frac{0,10}{229121}$	$\frac{0,06}{246022}$	$\frac{0,01}{251924}$
40	$\frac{0,01}{186611}$	$\frac{0,05}{200124}$	$\frac{0,09}{232077}$	$\frac{0,05}{271709}$	$\frac{0,12}{305495}$	$\frac{0,08}{328029}$	$\frac{0,02}{335899}$
50	$\frac{0,02}{233263}$	$\frac{0,06}{250155}$	$\frac{0,11}{291346}$	$\frac{0,06}{339636}$	$\frac{0,14}{381868}$	$\frac{0,09}{410036}$	$\frac{0,02}{419874}$
60	$\frac{0,02}{279916}$	$\frac{0,07}{300186}$	$\frac{0,13}{349615}$	$\frac{0,07}{407564}$	$\frac{0,16}{458242}$	$\frac{0,10}{492043}$	$\frac{0,03}{503849}$
70	$\frac{0,02}{326569}$	$\frac{0,08}{350217}$	$\frac{0,15}{407884}$	$\frac{0,08}{475491}$	$\frac{0,19}{534616}$	$\frac{0,11}{574050}$	$\frac{0,03}{587823}$
L_{Σ}	0,02	0,08	0,15	0,08	0,19	0,11	0,03
σ , кг/мм ²	0,0282						
σ_0 , г/мм ²	0,0358						

Коректність використання побудованих аналітичних моделей (6,7,9) підтверджують результати проведених експериментальних випробувань на абразивне зношування за схемою Малишева – Веллінгера – Уэтца.

Експериментальні випробування та моделювання абразивного зношування елементів арматури в суміші показано на рис.3, де 1,3,5,7 – графіки залежностей експериментально знайденого лінійного зносу, від часу в точках, що відповідають кутам $0^0, 30^0, 60^0, 90^0$ відповідно (табл. 1), а 2, 4, 6, 8 – графіки змодельованих залежностей лінійного зносу від часу в точках, що відповідають кутам $0^0, 30^0, 60^0, 90^0$ відповідно.

За результатами моделювання отримали середньоквадратичні похибки, що відповідають кутовим координатам точок взаємодії. Величини похибок та середнє значення середньоквадратичних похибок по всій поверхні взаємодії занесені до таблиці 2.

Отримані результати моделювання підтверджують коректність побудованої моделі зношування в абразивній суміші і з її допомогою можна прогнозувати термін експлуатації деталей арматури.

Висновки. Побудована узагальнена багатofакторна модель забезпечує визначення параметрів абразивного зношування в абразивній суміші деталей арматури з точністю, що дорівнює точності виміру лінійного зносу. 1. Розроблені аналітичні методи покладені в основу прогнозування лінійного зносу деталей арматури під дією абразиву. 2. Прогнозування життєвого циклу арматури проводиться за теоретично отриманими показниками абразивного зношування.

Список літературних джерел.

1. Кузьменко А.Г. Прикладная теория методов испытаний на износ. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 579с.
2. Малышев А.П. Изнашивание материалов от трения// Вестник общества сибирских инженеров. – 1917. – Т. 2, № 5-6.
3. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 252с.
4. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. – М.:Высш. Шк.,1976. – 479с.
5. Теоретические основы метода испытаний на абразивный износ по схеме Малышева - Веллингера - Уэтца/ Кузьменко А.Г., Вишневский О.А. // Проблемы тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ. – 2011. – Вип. 55. – С. 79-82.
6. Экспериментальная реализация метода испытаний на абразивный износ по схеме. Малышева-Веллингера -Уэтца / Кузьменко А.Г., Вишневский О.А. // Вісник Інженерної академії України. – 2011. – Вип. №2. – С.129 -134.

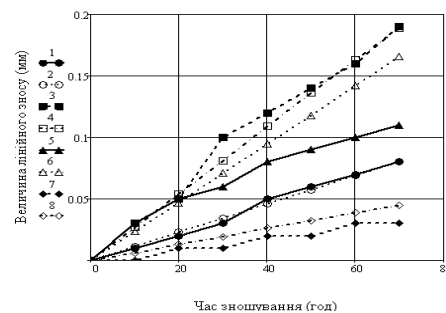


Рис. 3. Номограма для визначення залежності експериментальної та змодельованої величин лінійного зносу від часу зношування

Таблиця 2

Кутова координата точки взаємодії α	Значення середньоквадратичної похибки δ (мм)	Середнє значення середньоквадратичних похибок δ_c (мм)
0^0	0.003	0.012
30^0	0.008	
60^0	0.028	
90^0	0.009	