



**International Science Group**

**ISG-KONF.COM**

**III**  
**INTERNATIONAL SCIENTIFIC  
AND PRACTICAL CONFERENCE**  
**"THEORETICAL ASPECTS OF EDUCATION  
DEVELOPMENT"**

**Warsaw, Poland**  
**January 24 - 27, 2023**

**ISBN 979-8-88896-541-2**

**DOI 10.46299/ISG.2023.1.3**

# **THEORETICAL ASPECTS OF EDUCATION DEVELOPMENT**

Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference

Warsaw, Poland  
January 24 – 27, 2023

**UDC 01.1**

The 3th International scientific and practical conference “Theoretical aspects of education development” (January 24 - 27, 2023) Warsaw, Poland. International Science Group. 2023. 569 p.

**ISBN – 979-8-88896-541-2**

**DOI – 10.46299/ISG.2023.1.3**

## EDITORIAL BOARD

<u>Pluzhnik Elena</u>	Professor of the Department of Criminal Law and Criminology Odessa State University of Internal Affairs Candidate of Law, Associate Professor
<u>Liudmyla Polyvana</u>	Department of Accounting and Auditing Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko, Ukraine
<u>Mushenyk Iryna</u>	Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Mathematical Disciplines, Informatics and Modeling. Podolsk State Agrarian Technical University
<u>Prudka Liudmyla</u>	Odessa State University of Internal Affairs, Associate Professor of Criminology and Psychology Department
<u>Marchenko Dmytro</u>	PhD, Associate Professor, Lecturer, Deputy Dean on Academic Affairs Faculty of Engineering and Energy
<u>Harchenko Roman</u>	Candidate of Technical Sciences, specialty 05.22.20 - operation and repair of vehicles.
<u>Belei Svitlana</u>	Ph.D., Associate Professor, Department of Economics and Security of Enterprise
<u>Lidiya Parashchuk</u>	PhD in specialty 05.17.11 "Technology of refractory non-metallic materials"
<u>Levon Mariia</u>	Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Scientific direction - morphology of the human digestive system
<u>Hubal Halyna Mykolaivna</u>	Ph.D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

## **ТРИБОФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ЗМАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН**

**Воронін Сергій,**

Д.т.н., Професор

Український державний університет залізничного транспорту

**Губін Олександр**

Аспірант

Український державний університет залізничного транспорту

**Орлюк Юрій**

Аспірант

Український державний університет залізничного транспорту

Техніка змащення – це один з напрямків трибології [1]. Автоматична подача змащувальної речовини до пари тертя розглядається як механізм зменшення тертя й зношування при одночасному раціональному використанні мастильних матеріалів. Приблизно 25% енергії, яка використовується у Світі, губиться за рахунок тертя. Втрати від зношування механічних компонентів оцінюються в 1,3-1,6% від ВВП розвинених країн. За даними Європейської Комісії, витрати, пов'язані із проблемами тертя й зношування, у Європі становлять 350 млрд. євро на рік. З обліком того, що зношування основних фондів у промисловості й енергетики України досягає, у середньому, 60 – 70 %, ці витрати відрізняються в гіршу сторону від європейських.

Приблизно 80-90 % відмов машин відбувається через зношування відповідальних вузлів і деталей. За повний цикл експлуатації машин експлуатаційні витрати, трудомісткість ремонту й витрати матеріалів на ремонт у кілька разів перевищують витрати на виготовлення нових машин. Такі значні витрати обумовлені недооцінкою значимості проведення своєчасного і якісного процесу змащення.

Змащення різко знижує інтенсивність зношування. Досить увести в зону контакту деталей невелику кількість мастильного матеріалу, як сила тертя може знизитися в 10 раз, а зношування поверхонь тертя до 1000 разів. Однак, традиційний підхід до зменшення тертя за рахунок удосконалення мастильних матеріалів, у тому числі за допомогою добавок та присадок до олів та мастил, не вирішує повною мірою всіх проблем зношування вузлів машин і механізмів. Наприклад, переважна більшість (біля 70%) випадків виходу з ладу підшипників пов'язана з неправильним добором необхідного мастила й неправильною організацією режиму змащення вузла. Якщо режим змащення розрахований невірно, вузол працює у двох умовах: у режимі надлишку змащення або у режимі його нестачі – збідненого змащення. Збіднене змащення приводить до розриву

масляної плівки в зонах контакту, внаслідок чого на ділянках фактичного контакту виникає так зване "сухе" тертя, яке стає причиною підвищеного зношування. Надлишок змащення спричиняє нераціональне використання мастильного матеріалу [1].

Як показала практика, використання централізованих систем змащення (ЦСЗ) дозволяє в значній мірі підвищити ефективність роботи технологічних машин та знизити експлуатаційні витрати [2]. Простота у використанні, надійність і швидка окупність — це ті вирішальні фактори, якими керуються при розробці обладнання ЦСЗ. Наявність єдиного розподільного поста змащення, насосів, що дозують, компактних трубопроводів, що подають змащення до кожного конкретного вузла, виключає необхідність втручання персоналу в процес змащення, забезпечує постійну наявність заданої кількості мастильного матеріалу у вузлах тертя, що є надійною гарантією безаварійної тривалої експлуатації механізму в цілому.

До теперішнього часу накопичений значний досвід використання ЦСЗ у транспортній техніці, металообробці, гірській техніці й ін. Зараз це переважно автоматизовані централізовані системи змащення (АЦСЗ): легкі, компактні, надійні, з можливістю програмування для вибору режимів подачі змащення. При використанні АЦСЗ подача змащувальної речовини в парі тертя або підшипник здійснюється малими дозованими порціями через невеликі проміжки часу в режимі роботи машини або механізму. Постійна присутність мастильної речовини в підшипнику в достатній кількості, відсутність забруднень і вологи значною мірою підвищує довговічність вузла тертя. Застосування АЦСЗ забезпечує більш високу тривалість експлуатації техніки, підвищення її надійності. Завдання фахівців з експлуатації - продовжити безаварійний термін служби підшипників і вузлів тертя. Використання автоматичної системи змащення дозволяє більш часто, ніж при ручній, здійснювати подачу змащення в пари тертя в необхідних обсягах, без виводу машин з експлуатації. При цьому підшипник не забруднюється, у нього не попадає волога й абразивні частки. Завдяки ефекту "безперервного сервісу", у будь-який час забезпечується оптимальне постачання підшипника мастильним матеріалом, який рівномірно розподіляється в підшипнику.

При створенні та налаштуванні АЦСЗ головним аспектом постає оптимізація подачі мастильного матеріалу до точок змащування. Для цього важливо знати закономірності зношування пар тертя в реальних умовах, а особливо в умовах граничного мащення. При такому мащенні захисні функції виконує адсорбційний шар молекул мастила, тому необхідно встановити залежність інтенсивності зношування деталей від товщини шару.

Товщину мастильного шару можна регулювати подачею мастила в точку змащення. Зростання товщини граничного мастильного шару приводить до зниження сили тертя внаслідок зменшення числа контактів мікроставів поверхонь. Зв'язок між напругою зсуву і товщиною мастильної плівки вперше був встановлений Д.М. Толстим [3].

$$\tau \approx \frac{1}{h^4}, \quad (1)$$

де  $\tau$  – напруга зсуву;  $h$  – товщина граничної мастильної плівки.

На основі розгляду контакту поверхонь тертя в зоні мікроступу в роботі [4] була запропонована залежність для визначення коефіцієнта тертя при граничному мащенні, яка враховує залежність (1):

$$f = A \cdot P^{\frac{1}{3}} \cdot V^{-0,4} \cdot \mu^{-\frac{1}{6}}, \quad (2)$$

де  $A$  – функція матеріалу контртіла, складу поверхнево-активних компонентів в мастилі та шорсткості поверхні;  $P$  – тиск в контакті;  $V$  – швидкість ковзання поверхонь тертя;  $\mu$  – динамічна в'язкість мастила.

З іншого боку Ахматов О.С. [7] встановив зв'язок між товщиною мастильної плівки та тиском в контакті:

$$h \equiv P^{-\frac{1}{6}}. \quad (3)$$

Використовуючи залежності (2) та (3) отримуємо

$$f = \frac{A \cdot V^{-0,4} \cdot \mu^{-\frac{1}{6}}}{h^2}. \quad (4)$$

Як видно з (4), коефіцієнт тертя при граничному мащенні зворотно пропорційний квадрату товщини мастильної плівки. Тоді, при інших рівних умовах, товщина плівки буде визначати характер тертя в рухомих з'єднаннях – витрати на тертя. По мірі зростання товщини мастильного шару на певній товщині відбудеться перехід з граничного мащення до змішаного (гранично – рідинного), в якому зношування буде мінімальним.

Подальшим етапом роботи є встановлення зв'язку між коефіцієнтом тертя та зносом поверхонь. Згідно робіт І.В. Крагельського [5] та узагальнень, виконаних Г. Флайшером [6], між зносом та тертям існує наступна залежність:

$$I = \frac{\bar{\tau}}{2 \cdot (v + 1) \cdot H\bar{B}}, \quad (5)$$

де  $I$  – інтенсивність зношування поверхонь тертя;  $\bar{\tau}$  - питома сила тертя (на одиницю площі);  $v$  – коефіцієнт, що залежить від виду зношування (пружний

контакт, пластичний контакт, мікрорізання);  $HВ$  – твердість матеріалу, що підлягає зношуванню.

В умовах граничного тертя при наявності мастильного матеріалу знос пар тертя рухомих з'єднань технологічних машин буде протікати при пружно-пластичному контакті. Тоді

$$v = \frac{0,5l_T}{HВ} - 1, \quad (6)$$

де  $l_T$  – енергетична щільність тертя, яка встановлюється на основі аналізу енергетичного балансу та дорівнює

$$l_T = \frac{W_T}{\Delta V}, \quad (7)$$

де  $W_T$  – робота сил тертя;  $\Delta V$  – об'єм зносу.

Підставимо (6) в (5) та отримаємо наступний вираз для визначення інтенсивності зношування

$$I = \frac{\bar{\tau}}{2\left(\frac{0,5l_T}{HВ} - 1 + 1\right)HВ} = \frac{\bar{\tau}}{l_T}. \quad (8)$$

З іншого боку, питома сила тертя дорівнює:

$$\bar{\tau} = P \cdot f. \quad (9)$$

Підставимо залежності (4) и (9) в (8) та отримаємо

$$I = \frac{A \cdot V^{-0,4} \cdot \mu^{-\frac{1}{6}} \cdot P}{l_T \cdot h^2}. \quad (10)$$

Залежність (10) була отримана вперше професором Лисіковим Є.М. при дослідженні впливу товщини граничної плівки на інтенсивність зношування деталей гідравлічних агрегатів будівельних машин [7]. Як видно з цієї залежності, інтенсивність зношування пар тертя в умовах граничного мащення при пружно-пластичному контакті поверхонь зворотно пропорційна квадрату товщини мастильної плівки. Отримана залежність може бути використана для прогнозування інтенсивності зношування та ресурсу роботи рухомих з'єднань технологічних машин в умовах граничного мащення.

З іншого боку, при вирішенні задачі оптимізації витрат мастильного матеріалу при налаштуванні роботи АЦСЗ для встановлення мінімальної достатньої товщини мастильного шару слід враховувати вид мащення, при якому працюють рухомі з'єднання.

Згідно існуючої загальної класифікації, види мащення поділяють на граничне, змішане (напіврідинне) та рідинне. Для визначення того чи іншого виду мащення встановлений безрозмірний критерій, що зветься «відносна товщина мастильного шару» [1], який дорівнює

$$h_{\text{відн}} = \frac{h}{Ra_1 + Ra_2}, \quad (11)$$

де  $h$  – товщина мастильного шару;  $Ra_1$ ,  $Ra_2$  – параметри шорсткості контактуючих поверхонь.

Якщо  $h_{\text{відн}} \leq 1$ , то пари тертя працюють в режимі граничного мащення, при  $1 < h_{\text{відн}} \leq 5$  має місце змішане (напіврідинне) мащення, а при  $h_{\text{відн}} > 5$  реалізується рідинне мащення. Останній вид мащення може бути реалізований лише в системах циркуляційного змащення де застосовуються рідкі оливи. Стосовно відкритих рухомих з'єднань будівельних і колійних машин, технологічного обладнання видобувної промисловості та металургії можна говорити лише про перехід від граничного до змішаного мащення. Тоді діапазон значень мінімальної достатньої товщини мастильного шару буде визначатися умовою

$$Ra_1 + Ra_2 \leq h \leq 5(Ra_1 + Ra_2) \quad (12)$$

Отримана умова (12) дозволяє встановлювати необхідну товщину мастильного шару в рухомих з'єднаннях технологічних машин при виконанні розрахунків основних параметрів АЦСЗ. При цьому не повністю розкритими залишаються питання фізичної взаємодії молекул мастильного матеріалу з поверхнями тертя, що стосується власне механізму формування граничної мастильної плівки. Крім того, при обґрунтуванні параметрів АЦСЗ не менш важливим питанням є розкриття трибологічних властивостей граничних плівок при різних умовах роботи механізмів.

#### Література:

1. Чичинадзе А.В., Хебда М. Справочник по триботехнике. Т.1. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.
2. Централизованные системы смазки. Системы, обозначения. [Електронний ресурс]. – <http://www.skf.com/binary/tcm:39-75334/1-0002-RU.pdf>.
3. Толстой Д.М. Зависимость равнодействующей молекулярных сил при трении ползуна // Доклады АН СССР, 1963, Т. 153 - №4 - С.119.
4. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и антифрикционных взаимодействиях.—М.: Машиностроение, 1986.—423 с.
5. Крагельский И.В. Трение и износ. - М.: Машгиз, 1962. - 382 с.



6. Флайшер Г. К связи между трением и износом. Контактные взаимодействия твердых тел и расчет сил трения и износа. - М.: Наука, 1971. -С. 163-169.

7. Лысиков Е. Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] : монография / Е. Н. Лысиков, В. Б. Косолапов, С. В. Воронин. – Харьков : ЭДЭНА, 2009. – 274 с.