

УДК 621.891

## ТРИБОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ НАДІЙНІСТЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Гупка А.Б. к.т.н., доцент

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*З позицій структурно-енергетичного підходу та основ системного аналізу запропоновано метод оцінки трибологічної ефективності важконавантажених трибоспряжень транспортних засобів. Запропоновано метод розрахунку інтенсивності зношення роюючих поверхонь деталей. Приведено основні характеристики дисипативних вторинних структур в залежності від їх типу.*

Основними робочими та найбільш відповідальними механізмами, системами та агрегатами транспортних засобів являються вузли тертя. У важких умовах, під час експлуатації автомобіля працюють деталі спряжень циліндро-поршневої групи, шатунної групи, колінчастий вал з корінними та шатунними підшипниками, коробки швидкостей, редуктори, різноманітні передачі, гальмівні механізми, механізми рульового керування та інші. Експлуатаційна надійність та ефективність транспортних засобів суттєво залежить від технічного стану даних вузлів та агрегатів і визначається їх трибологічною ефективністю.

Гнучкість та мобільність автомобільного транспорту при відповідно невисокій вартості перевезень сприяє розвитку промислового виробництва, який відіграє важливу роль у розвитку економіки України. У зв'язку з цим однією із важливих задач, які ставляться перед транспортною галуззю являється покращення експлуатаційних характеристик автомобілів за рахунок підвищення параметрів надійності, довговічності та економічності.

Аналітичний опис процесів тертя та зношування – складна та актуальна задача сучасного машинобудування, в тому числі автомобілебудування. Ефективне вирішення даної проблеми можливе тільки на основі комплексного аналізу механічних, фізико-хімічних, теплових, структурно-енергетичних, термодинамічних процесів в зоні фрикційного контакту, процесів утворення, трансформації та руйнування дисипативних вторинних структур (ДВС), які відповідальні за поверхневу міцність матеріалів при терті та зношенні. Існуючі методи розрахунку та прогнозування інтенсивності зношення з метою аналізу трибологічної ефективності при виборі конструкторських, технологічних та експлуатаційних засобів для підвищення експлуатаційної надійності важконавантажених трибоспряжень автомобілів на основі чисто механічних моделей та геометричних уявлень, а також показників об'ємних (вихідних) властивостей матеріалів контактуючих деталей виявились безперспективними.

По своїй природі процеси тертя та зношення – процеси перетворення зовнішньої механічної енергії у внутрішню (накопичувальну) енергію із обов'язковою корінною перебудовою, як характеристик вихідних матеріалів деталей трибиспряження, так і характеристик мастильного середовища.

Таблиця 1 - Основні характеристики ДВС

Тип ДВС	Параметри шорсткості Ra, мкм	Глибина руйнування, нм	Температура поверхнього шару °С, не більше	Склад поверхнього шару	Відносна зміна твердості поверхнього шару	Вид руйнування	Коефіцієнт збільшення об'єму поверхнього шару	Швидкість процесу руйнування, мкм/г, не більше
I	01-0,006	10-30	100	Твердий розчин і евтектика	2-3	В'язке	1 – 1,05	0,1
II	0,2-0,012	10-100	200	Окисли і евтектика	4-5	В'язке - крихке	1,05-1,08	0,05

Для реального застосування аналітичних розрахунків параметрів процесів тертя та зношення необхідна розробка комплексних, системно зв'язаних залежностей, які відповідають наступним вимогам: ідентифікація об'єктів руйнування з розробкою їх фізичних моделей та визначення границь їх застосування; опис енергетичних, кінетичних та міцнісних умов формування та руйнування ДВС; наявність конструктивного зв'язку між процесами тертя, зношення та фізико-хімічною дією, як зовнішнього так і мастильного середовища; універсальність – врахування в аналітичних розрахунках особливостей нормального тертя та зношення факторів: вплив абразиву, легування мастила, масштабний чинник, динамічний характер навантаження та інші.

При розробці методів розрахунку зношуваності робочих поверхонь деталей трибоспрямижень, на основі структурно-енергетичного підходу, за основу прийняті основні положення про синергетику процесів утворення, трансформації та руйнування ДВС, які визначають основні триботехнічні показники експлуатації важконавантажених робочих вузлів та агрегатів автомобіля. Система тертя розглядається, як відкрита термодинамічна система, яка обмінюється енергією та матеріалом із зовнішнім середовищем. Об'єктом руйнування у запропонованому методі розрахунку являються самогенеруючі ДВС характеристики яких приведені в таблиці

Основними параметрами для розрахунку інтенсивності зношення ДВС являються: товщина плівок ДВС -  $h$ , безрозмірний коефіцієнт  $K$ , який являє собою відношення площі поверхні тертя покритої ДВС –  $S_{ДВС}$  до номінальної площі контакту трибоспрямиження –  $S_{н,τ}$  - базовий параметр розрахунку, який визначається безпосередньо в процесі дослідження і залежить як від характеристик міцності ДВС, так і їх зв'язку з вихідним матеріалом поверхонь тертя. В залежності від матеріалів пар тертя та виду мастильного матеріалу значення  $τ$  змінюється в широких діапазонах (середньо вуглецева сталь, інактивне вазелінове масло –  $τ = 2...6$  хв; термічно оброблена сталь, леговане мастило –  $τ = 60...100$  хв.

У відповідності з кінетикою процесів утворення, трансформації та

руйнування ДВС, їх основних геометричних та фізико-механічних характеристик інтенсивність зносу визначається за формулою:

$$I = \left(\frac{h}{\tau}\right) K \quad (1)$$

Товщина ДВС ( $h$ ) виміряна прямими методами, а також методами ОЖЕ спектрального та рентгеноспектрального аналізів знаходиться в межах 10...100 нм і залежить, як правило, від твердості вихідного матеріалу деталей трибоспряження –  $H$ , а також від силових параметрів навантаження і змінюється в залежності від їх значення.

Загальний вигляд ДВС I та ДВС II представлені на рисунку 1.



Рис. 1. Загальний вигляд ДВС I (а) та ДВС II (б)

Безрозмірний коефіцієнт  $K$  визначається методами мікрокрактографії, і в залежності від силових параметрів навантаження, знаходиться в межах 0,2...0,8. Значення параметрів  $h$  і  $K$ , при розрахунках інтенсивності зношення визначається по відповідних таблицях або графіках, які отримані в результаті експериментальних досліджень. Для ефективною реалізації запропонованого методу необхідно створити банк об'єктивних трибологічних даних для різних досліджуваних матеріалів, мастильних середовищ в широкому діапазоні зміни силових параметрів навантаження. Як допоміжні (супутні) фактори необхідно враховувати: наявність абразиву в зоні тертя, динамічний характер навантаження, вібрації, реверсивний характер руху, режим мащення, режими пуск-зупинка та інші.

Структурно-енергетичний підхід при розрахунку інтенсивності зношення в режимі нормального тертя дозволяє аналітично визначити рівень адаптації різних трибосистем при зміні енергії трибоактивації, яка адекватна питомій роботі тертя. Універсальність даного методу підтверджується тим, що любі зміни умов в зоні фрикційного контакту, в діапазоні нормального механо-хімічного тертя, впливають на процес вторинного структуроутворення, і розглядаються з позиції значень основних параметрів аналітичної залежності.

Як показує практика експлуатації важконавантажених трибоспрямих автомобілів, а також результати експериментальних досліджень, які проводились з використанням універсального трибометра в лабораторії трибологічних досліджень кафедри автомобілів тернопільського національного

технічного університету додаткове легування мастила збільшує значення параметра  $\tau$  і враховується коефіцієнтом  $K_l$ , який змінюється в межах 1...0,12. Найявність абразивного матеріалу в зоні тертя зменшує значення параметру  $\tau$  і враховується коефіцієнтом  $K_a$ , який змінюється в межах 5...10.

Конструктивність запропонованого методу очевидна, так як розрахункова залежність містить в собі параметри, які характеризують основний результат узгодженої дії трибоактивації та пасивації, що свідчить про взаємозв'язок між процесами тертя та зношення. Співставлення результатів розрахунку інтенсивності зношення у відповідності із структурно-кінетичним методом з одержаними експериментальними даними при дослідженні різних матеріалів трибоспряження (сталі, чавуни, антифрикційні та фрикційні матеріали), мастильних середовищ, схем контакту (масштабний чинник), при плавній зміні силових параметрів навантаження, в їх широкому діапазоні показали задовільні результати.

Надійність та експлуатаційна довговічність транспортних засобів в основному зумовлена процесами тертя та зношування, які відбуваються в зонах фрикційного контакту спряження деталей. Інтенсивне зношування робочих поверхонь деталей спряження приводить до порушення герметичності вузлів тертя, втрачається точність взаємного розміщення деталей і їх переміщення, внаслідок чого виникають заклинювання, удари, вібрації, які приводять до поломок. Процес тертя приводить до втрати енергії, перегріву механізмів, зниження робочих (тягових) зусиль, підвищеній витраті паливо-мастильних матеріалів. В якості теоретичної основи, для проведення запланованих досліджень, вибрана структурно-енергетична концепція в проблемі тертя та зношування, яка передбачає дослідження взаємозв'язку між енергетичними характеристиками, механізмами структурних перетворень у поверхневих шарах матеріалів деталей спряження, а також інтенсивністю процесів поверхневого руйнування.

### **Список використаних джерел**

1. Aulin, V., Gypka, A., Liashuk, O., Stukhlyak, P., & Hrynkiv, A. (2024). A comprehensive method of researching the tribological efficiency of couplings of parts of nodes, systems and aggregates of cars. *Problems of Tribology*, 29(1/111), 75–83. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-75-83>
2. Gypka A. The tribology of the car: Research methodology and evaluation criteria / O. Lyashuk, Y. Pyndus, V. Gupka, M. Sibravska, M. Stashkiv // ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine. R. - 231-237. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3387620>