

**УДК 621.891**

**ТРИБОЛОГІЯ АВТОМОБІЛЯ. КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА  
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА КІНЕТИЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ**

**Ляшук О.Л., д.т.н., доц.**

**Гупка А.Б., к.т.н.,**

**Левкович М.Г., к.т.н., доц.**

**Гупка В.В.**

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

**Abstract**

From the standpoint of the structurally energetic theory of friction and wear, a comprehensive research methodology, kinetic criteria for evaluating transients in the friction contact zone of heavy loaded friction units using the original design of the tribometer, are proposed.

**Keywords:** friction pair, tripometer, friction contact, wear resistance, transients.

**Вступ**

Трибологія, як і інші галузі науки і техніки знаходиться в неперервному розвитку. В роботі розглянута найменш досліджена в триботехніці проблема перехідних процесів тертя, які в значній мірі визначають надійність і довговічність машин в реальних умовах експлуатації. Теоретичні основи перехідних процесів тертя тільки формуються. Тому розглянуто тільки методологічну сторону даної проблеми для вирішення практичних задач. Закономірності перехідних процесів являються суттєво кінетичними. Для них найбільш важливо враховувати термодинамічні обмеження.

**Аналіз попередніх досліджень**

Вирішення проблеми підвищення надійності та довговічності елементів пар тертя автомобілів вимагає системного підходу з розробкою комплексних методик дослідження, кінетичних критеріїв оцінки процесів. Структурно енергетичний підхід дозволив оптимізувати шляхи пошуків оптимальних рішень [1]. Постійно зростає питома потужність процесів тертя, підвищується теплове і механічне навантаження на пари тертя, що веде до ряду негативних наслідків. Ефективними є шляхи розробки та дослідження конструкторських міроприємств по підвищенню трибологічної надійності даних пар тертя. Поряд із технологічними та експлуатаційними засобами це дозволить створити цілісний комплекс, розширити банк трибо технічних даних, розробити практичні рекомендації по вирішенню питань прикладної трибо техніки [2].

**Постановка проблеми**

В трибології важконавантажених пар тертя актуальною є проблема дослідження перехідних процесів в зоні фрикційного контакту робочих вузлів машин та механізмів. Теоретичні основи процесів тертя та зношення в т.ч. і перехідних процесів при фрикційному контакті тільки формуються. На даний час відсутні прості та коректні методи розрахунку і управління даними процесами, недостатньо обгрунтовані критерії оцінки, не стандартизовані методи дослідження, машини тертя (трибометри), що не дозволяє створити

об'єктивний банк триботехнічних даних. Необхідна розробка принципово нових методик дослідження, лабораторного (стендового) обладнання та оснащення, кінетичних критеріїв оцінки, методів моделювання структурного стану поверхонь тертя шляхом врахування масштабного чинника.

### **Мета та завдання**

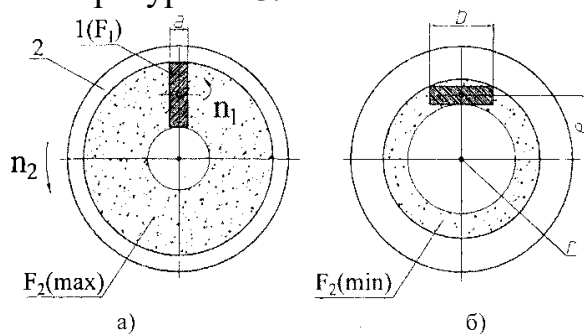
Метою даної роботи є розробка комплексної методики дослідження та критеріїв оцінки для порівняння та аналізу трибо технічних параметрів при терті та зношенні елементів пар тертя автомобілів.

### **Результати вирішення основних завдань проблеми**

В загальній теорії систем окремо виділено поняття трибологічної системи, в тому числі для важко навантажених пар тертя. Значна частина триботехнічних задач в даний час вирішується малоефективним, емпіричним шляхом, що призводить до великих матеріальних та енергетичних витрат, не враховуються параметри трибологічної надійності та довговічності машин та механізмів.

Серед інших причин - це і відсутність комплексної методики дослідження, яка б включала в себе кінетичні критерії оцінки процесів в зоні фрикційного контакту універсальні машини тертя, параметричні моделі дослідження. Сучасний розвиток термодинаміки незворотних процесів, фізики твердого тіла, матеріалознавства, синергетики, експериментальних методик дозволив одержати обширні дані про механізми трансформації та руйнування поверхневих шарів, створити банк триботехнічних даних, побудувати відповідні фізичні, параметричні моделі процесів тертя та зношення, виявити загальні закономірності процесу тертя та зношення, дати конкретні практичні рекомендації. Важливу роль відіграє при цьому геометрія контактуючих поверхонь тертя (масштабний чинник), яка визначає значення коефіцієнта взаємного перекриття ( $K_{вп}$ ). Величина  $K_{вп}$  суттєво змінює швидкість процесів тертя та зношення при переході від точкового до лінійного контакту і нарешті до контакту по площині. В умовах тертя це призводить до зміни співвідношення швидкостей процесів утворення, трансформації та руйнування захисних вторинних структур (ВС). На поверхні тертя діють перемінні тиски, постійно змінюються площа контакту, шорсткість поверхні, умови тепловідводу, наростоутворення та мікрОВикришування, контактна температура, що призводить до різних інтенсивностей зношення робочих поверхонь деталей. В конкретних випадках, коли необхідно перенести результати лабораторних досліджень на реальні вузли тертя використовують елементи теорії моделювання із врахуванням теплової динаміки процесу тертя та зношення деталей машин. Це зrealізовано в запропонованій методиці дослідження і підтверджено одержаними результатами. Аналізуючи вхідні параметри та умови тертя (важконавантажені пари тертя), попередні експериментальні дослідження та дослідження інших авторів, вибрана наступна схема контакту пари тертя рис. 1: пальчиковий зразок 1 - плоска торцева поверхня диска 2 (контртіло). Положення зразка суттєво впливає на умови мащення та охолодження (характер подачі мастильно-охолоджуючих рідин в робочу зону тертя), що в свою чергу формує конкретні значення

параметрів контактної електричної опору (КЕО)  $R$ , інтенсивності зношення -  $I$ , коефіцієнта тертя -  $\mu$ , температури  $T^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 1** Схема контакту пари тертя та зміни  $K_{\text{вп}}$  а)  $K_{\text{вп}} - \text{min}$ , б)  $K_{\text{вп}} - \text{max}$ ,  $n_1$  – частота обертання зразка 1,  $n_2$  – частота обертання контртіла 2, а, б – розміри зразка 1,  $e$  – ексцентриситет,  $r$  – радіус контртіла 2

Контртіло здійснює обертовий рух (одно направлений або реверсивний) із плавним характером зміни частоти обертання  $n_2$  в горизонтальній площині. Провертається відносно власної осі і досліджуваний зразок - 1. Дана схема контакту оптимальна як для візуального нагляду за досліджуваними процесами, так і для подачі мастильного матеріалу в зону тертя. Форма робочих поверхонь елементів пар тертя зручна для подальших металографічних досліджень їх структурного стану. Величина  $K_{\text{вп}}$  по запропонованій методиці визначається із співвідношення

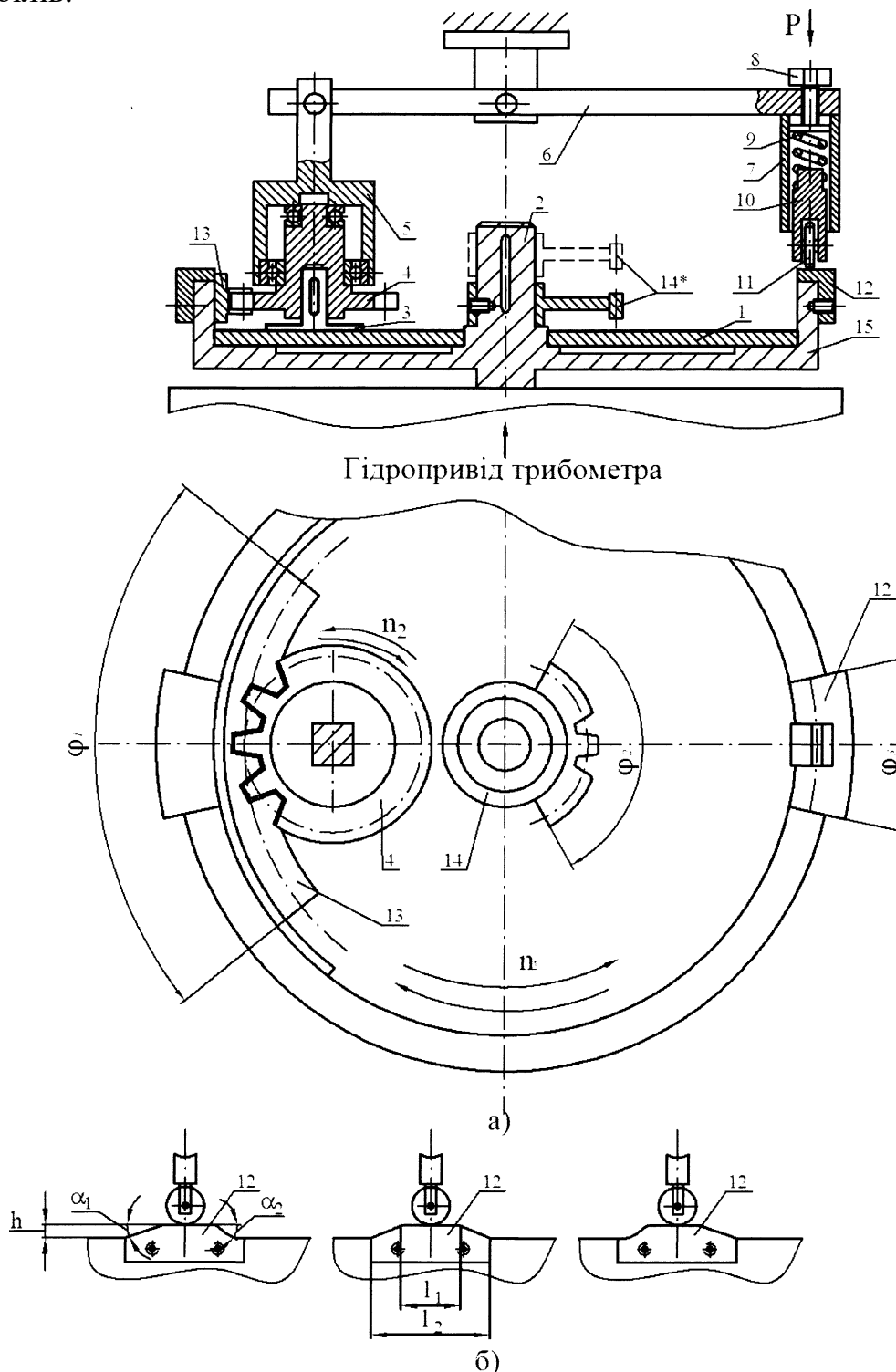
$$K_{\text{вп}} = F_1/F_2 \quad (1)$$

де  $F_1$  - площа тертя пальчикового зразка 1 (величина постійна в межах одного експерименту);  $F_2$  - площа тертя контртіла 2 (змінна величина в межах одного експерименту). Враховуючи вище перелічене, запропоновано конструкцію трибометра для дослідження процесів в зоні фрикційного контакту пар тертя автомобіля (рис. 2)

Працює трибометр наступним чином. Контртіло 1 у вигляді диска з плоскою робочою поверхнею одержує обертовий рух  $n_1$  від гідроприводу (з плавним характером зміни і можливістю реверсного руху). Змонтовано контртіло 1 на валу гідроприводу трибометра 2. Досліджуваний зразок 3 із прямокутною формою робочої поверхні кріпиться в спеціальному зразкотримачі 4 із зубчастою поверхнею, який через підшипникові вузли вмонтовано у корпусі 5, що шарнірно кріпиться до штанги 6. На другому кінці штанги закріплено механізм навантаження зразка, який включає в себе направляючу гільзу 7, мікрометричний гвинт 8, пружину 9, направляючу 10, в якій закріплено ролик 11. На валу 2 закріплено сегменти 12 (відповідної кількості та форми), а також зубчасті сегменти 13, 14. При цьому зубчастий сегмент 14 може займати різне положення (14\*), що суттєво впливає на процес в зоні фрикційного контакту і методику дослідження. Вузол тертя та механізм навантаження змонтовано у корпусі 15.

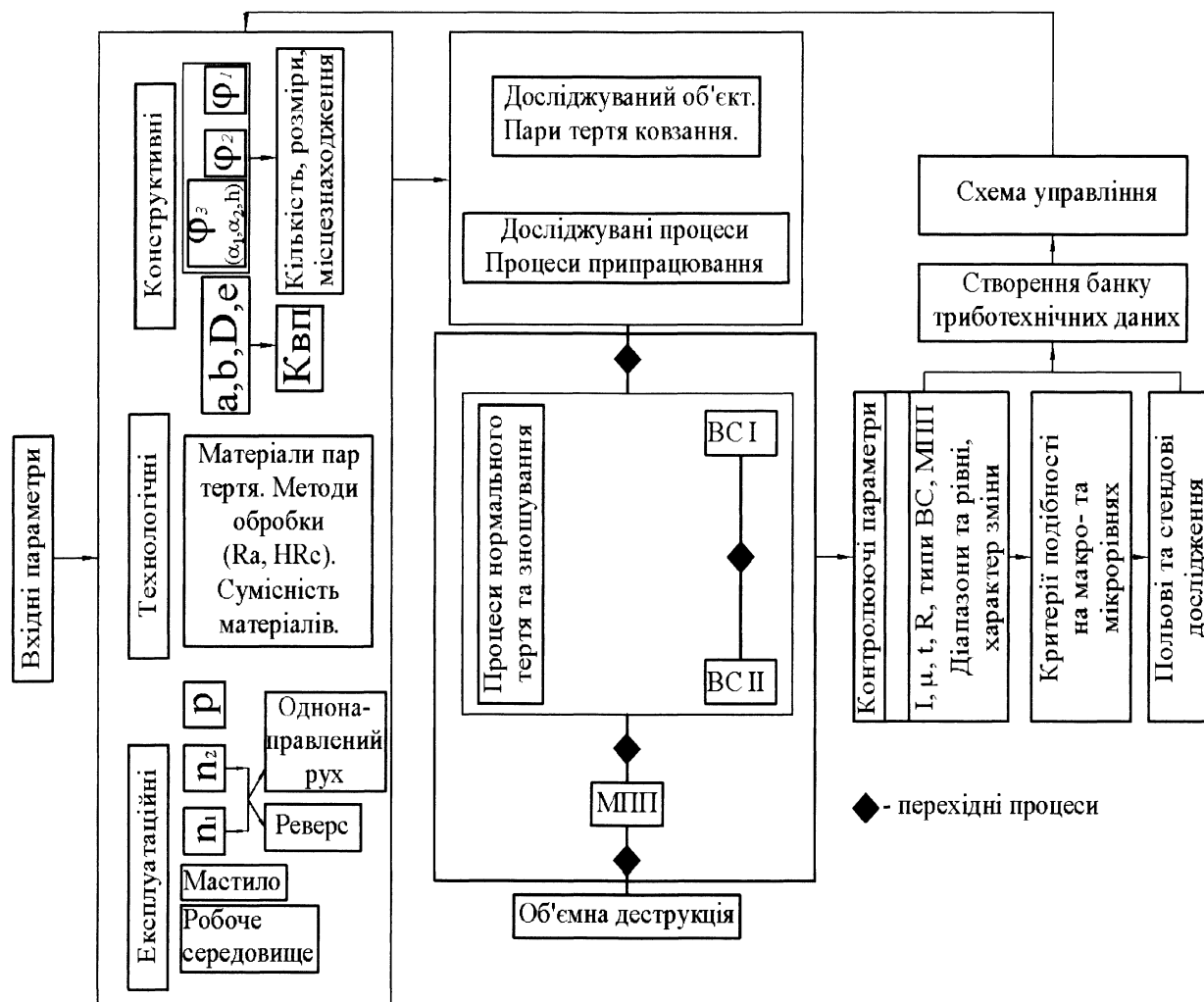
При наданні контртілу 1 обертового руху  $n_1$  періодично відбувається зачеплення зубчастої поверхні зразкотримача 4 із зубчастими сегментами 13, 14, що призводить до провороту досліджуваного зразка 3 і його фіксації у різних робочих положеннях. Різна кількість, форма та розміри і місце розташування

сегментів 12 дозволяє змінювати характер навантаження  $P$  на досліджуваний зразок. При цьому конструкція вузла тертя трибометра дозволяє в різних варіантах поєднувати в часі процеси провороту зразка 3 і зміну навантаження  $P$ . Появляється можливість імітувати багатofакторні перехідні процеси в зоні фрикційного контакту при дослідженні важко навантажених пар тертя автомобілів.



**Рисунок 2** Схема вузла тертя та механізму навантаження трибометра (а), варіанти виконання сегментів 12 та розміщення зразка 3 відносно зразкотримача 4,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – кути підйому та сходження сегмента 12,  $h$  – висота підйому сегменту

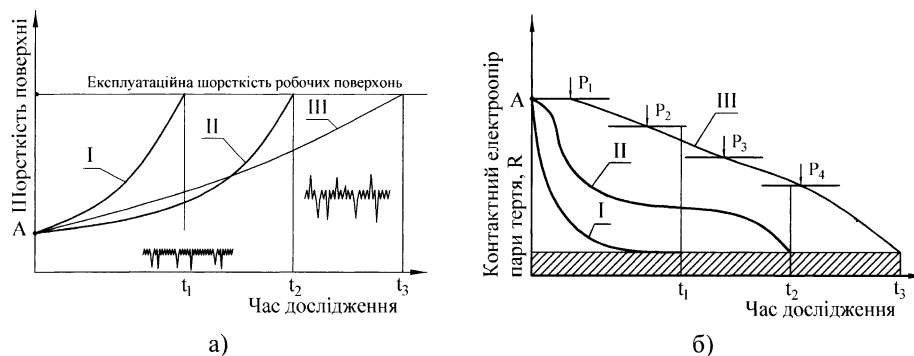
Параметрична модель досліджуваних процесів представлена на рис. 3.



**Рисунок 3** Параметрична модель дослідження процесів в зоні фрикційного контакту при обробці металів різанням

Запропоновані ідеї зреалізовані при вирішенні ряду конкретних задач: прискореного припрацювання поверхонь тертя для одержання оптимальної експлуатаційної шорсткості (рис. 4, а), для створення в зоні фрикційного контакту умов для реалізації режиму метало плакування (рис. 4, б). Наведені дані - узагальнені для ряду різних матеріалів пар тертя, мастильних середовищ, вихідних значень шорсткості поверхні (А) і характеристик вторинних структур, силових параметрів навантаження (Р, V). Для порівняння дослідження проводились, як на серійних машинах тертя, так і на запропонованому трибометрі. При постійній швидкості ковзання V із зміною параметра навантаження Р суттєво міняється значення величини  $t_i$  часу виходу на задані параметри. Менші значення  $t_1$  і  $t_2$  в порівнянні із  $t_3$  свідчать про інтенсифікацію процесу активації на поверхнях тертя і, відповідно, їх пасивації за рахунок створення оптимальних вторинних структур.





**Рисунок 4** Характери виходу пари тертя на експлуатаційну шорсткість (а), та в режим металоплакування (б). I - дослідження на трибометрі з використанням зовнішнього та внутрішнього зубчастих сегментів, II - з використанням тільки зовнішнього зубчастого сегмента, III - дослідження на серійній машині тертя, А - стан вихідної поверхні тертя по параметрах шорсткості (а), характеристиках вторинних структур R (б).

Дана схема дослідження дозволила шляхом фізичного моделювання процесів тертя та зношення, значно зменшити трудоємкість експериментальних досліджень, а також дати фізичне обґрунтування зношенню пар тертя автомобілів.

### Висновки

1. Обґрунтована необхідність враховувати вплив  $K_{вп}$  на процеси тертя та зношення, а також ще на етапі конструювання та виготовлення елементів пар тертя автомобілів, при виборі оптимальних режимів тертя.
2. Підтверджена ефективність використання спроектованого трибометра та запропонованих кінетичних критеріїв оцінки процесів в зоні фрикційного контакту пар тертя автомобілів.
3. Запропонована параметрична модель дозволяє оптимізувати процес дослідження, розробити комплекс технічних рішень по підвищенню зносостійкості пар тертя автомобілів, одержанню оптимальних параметрів якості оброблюючої поверхні, створити банк об'єктивних трибо технічних даних для важко навантажених пар тертя.

### Література

1. Аулін В.В. Методика дослідження перехідних процесів в зоні фрикційного контакту важко навантажених пар тертя сільськогосподарських машин / В.В. Аулін, Б.В. Гупка, А.Б. Гупка, А.В. Гриньків // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – 18-19 травня 2016р. : тези допов. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – С. 93-94.
2. Каплун В.Г. Трибологічні аспекти експлуатаційної надійності важко навантажених пар тертя / В.Г. Каплун, Б.В. Гупка, А.Б. Гупка, А.О. Оксентюк // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Серія: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві, – Харків, 2012 – №122 – С. 26-34.