

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

СИСЕНКО ІГОР ІВАНОВИЧ

УДК 621.891

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРІБОСИСТЕМ  
ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА ЗАСТОСУВАННЯМ  
МОТОРНИХ ОЛИВ НА РОСЛИННІЙ ОСНОВІ**

Спеціальність 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка, Міністерство аграрної політики та продовольства України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Войтов Віктор Анатолійович,**  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка,  
проректор з наукової роботи

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, старший науковий  
співробітник  
**Дворук Володимир Іванович,**  
Національний авіаційний університет,  
професор кафедри теоретичної та прикладної фізики;

доктор технічних наук, професор  
**Диха Олександр Володимирович,**  
Хмельницький національний університет,  
завідувач кафедри зносостійкості і надійності машин

Захист дисертації відбудеться «07» листопада 2014 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.832.03 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

Автореферат розісланий «25» вересня 2014 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.М. Власовець

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Використання високоякісних мастильних матеріалів є одним із шляхів підвищення зносостійкості машин і механізмів. Сучасні мастильні матеріали, які виробляють на мінеральній, напівсинтетичній і синтетичній основі з різноманітним пакетом присадок, не завжди екологічно безпечні по відношенню до навколишнього середовища.

Особливо гостро стоїть питання про зниження викиду шкідливих речовин при експлуатації техніки, на якій встановлені двотактні двигуни внутрішнього згоряння. Олива, яка згоряє, разом з продуктами згоряння бензину при роботі двигуна сприяє забрудненню навколишнього середовища.

Досвід іноземних країн показує, що питанням поліпшення екології в рамках Кіотського протоколу приділяється велика увага. Наприклад, всесвітньо відома фірма Shell виробляє мастильні матеріали, які біологічно розкладаються, Shell Naturelle Fluid – продукт, який випускається на основі високоочищеної ріпакової олії з багатофункціональними присадками. Швейцарська фірма Fuch на основі ріпакової олії з багатофункціональними присадками випускає більше 150 найменувань екологічно чистих мастильних матеріалів.

Аналіз літературних джерел вітчизняних та зарубіжних вчених показує, що рослинні олії мають гарні протизносні та антифрикційні властивості, оскільки містять в своєму складі великий відсоток олеїнової кислоти, яка є потужною поверхнево-активною речовиною. Використовуючи природний потенціал рослинних олій як основу, можна отримати екологічно чисті мастильні матеріали з наперед заданими властивостями.

Забезпечити такі властивості можна шляхом введення в базові рослинні олії екологічно чистих присадок, які забезпечать мастильним матеріалам необхідні експлуатаційні властивості, що актуально для підвищення надійності та ресурсу двотактних двигунів внутрішнього згоряння.

Розробка оптимального складу моторних олив на рослинній основі, дослідження їх сумісності з матеріалами трібосистем двотактного двигуна, вивчення формування підповерхневих і поверхневих шарів дозволить сформулювати уявлення про взаємодію рослинних олив з поверхнями тертя, а, отже, підвищить екологічну безпеку, надійність і ресурс двигунів.

**Зв'язок роботи з науковими матеріалами, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи пов'язана з виконанням Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» від 08.09.2011 р. № 3715-VI та п.2 постанови Кабінету Міністрів України від 17.05.2012 р. № 397 «Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2012 – 2016 рр.», науково-технічної програми «Біосировина» НААН України. Окремі результати роботи виконані в рамках держбюджетної теми «Розробка біоолив на базі рослинних олій олеїнового типу та дослідження процесів, які відбуваються в мастильному шарі з урахуванням властивостей матеріалів трібосистем» (ДР 0110U001958, 2011 – 2012 рр.), яка входить до плану науково-дослідних робіт ХНТУСГ ім. П. Василенка. Здобувач був відповідальним виконавцем цих робіт.

**Мета та завдання досліджень.** Метою роботи є підвищення зносостійкості трібосистем двотактних двигунів внутрішнього згоряння

застосуванням моторних олив на рослинній основі з оцінкою їх якості.

У відповідності з метою, в роботі вирішувалися наступні завдання:

1. Виконати аналіз застосування рослинних олив як мастильних матеріалів, а також комплексу присадок, що вводяться до їх складу.

2. Обґрунтувати вибір базових рослинних олій, пакета присадок до них і вирішити оптимізаційну задачу з визначення складу моторних олив для двотактних двигунів внутрішнього згорання.

3. Дослідити трибологічні характеристики рослинних олив з присадками в порівнянні з товарними моторними оливами, їх сумісність з матеріалами трибоелементів, процеси фізичної адсорбції на поверхнях тертя.

4. Обґрунтувати і розробити безрозмірний критерій і методику оцінки якості моторних олив для двотактних двигунів і визначити його кореляцію з класифікацією за API.

5. За результатами випробувань модельних трибосистем виконати фізичне моделювання і розрахувати швидкість зношування і силу тертя натурних трибосистем двигуна, з оцінкою їх ресурсу при експлуатації на рослинних оливах з присадками в порівнянні з товарними моторними оливами.

6. Провести експлуатаційні випробування двотактних двигунів з визначенням ресурсу при використанні рослинних олив і виконати оцінку економічного ефекту.

**Об'єкт досліджень** – процеси тертя і зношування поверхневих шарів трибосистем в різних мастильних середовищах.

**Предмет досліджень** – підвищення зносостійкості трибосистем двотактного двигуна застосуванням моторних олив на рослинній основі.

**Методи дослідження:** системний аналіз, теорія подібності і фізичного моделювання, теорія планування експерименту та пошуку оптимальних умов, математична статистика, фізико-механічні методи аналізу поверхонь тертя і мастильних матеріалів. Лабораторні випробування за допомогою машин тертя в роботі використано для визначення залежностей швидкості зношування та сили тертя для різних конструкційних матеріалів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Положення, що характеризують наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у наступному:

1. Вперше отримані залежності зміни швидкості зношування і сили тертя трибосистем двотактних двигунів при використанні високоолеїнових рослинних олив з присадками. Встановлено, що рослинні ріпакова і соняшникова олії з оптимальним набором присадок на середніх навантаженнях мають на 4,8...30% менше значення швидкості зношування, що пов'язано з наявністю олеїнової і ріцинової кислот, полярні молекули яких покращують фізичну адсорбцію і хемосорбцію на поверхнях тертя. Це призводить до зниження сили тертя на 8,8...35% у всьому діапазоні навантажень. При підвищених навантаженнях, за рахунок температурної десорбції і плавлення металевих мил на поверхні тертя, рослинні оливи поступаються синтетичним оливам. Отримані залежності методом фізичного моделювання дозволяють отримати швидкість зношування натурних трибосистем двотактного двигуна внутрішнього згорання.

2. Отримано залежності зміни мікротвердості і шорсткості поверхневих шарів в процесі припрацювання. Встановлено, що високоолеїнові ріпакова і соняшникова оливи з присадками сприяють прояву ефекту Ребіндера і збільшують мікротвердість на 12,7...29% при одночасному зменшенні глибини наклепаного шару на 27...42%. Це підтверджує адсорбційне зниження міцності матеріалу поверхневого шару під дією поверхнево-активних речовин (ПАР), його подальшу деформацію і зміцнення, що скорочує час припрацювання трібосистем.

3. Теоретично обґрунтовано і на підставі аналізу розмірностей отримано безрозмірний критерій оцінки якості моторних олив для двотактних двигунів, який у порівнянні з відомими враховує незмивання плівки оливи з поверхні тертя. Експериментально підтверджено, що безрозмірний критерій корелює з групою експлуатації олив за API (American Petroleum Institute) з коефіцієнтом кореляції  $R = 0,998$  і дозволяє оцінювати трібологічні властивості моторних олив для двотактних двигунів внутрішнього згоряння.

**Практичне значення отриманих результатів.** На підставі проведених аналітичних і експериментальних досліджень отримані нові, екологічно чисті мастильні матеріали для експлуатації двотактних двигунів внутрішнього згоряння.

Обґрунтовані базові високоолеїнові ріпакова і соняшникова олії, а також комплекс присадок до них, вирішена оптимізаційна задача і отримані моторні оливи з наперед заданими властивостями.

Розроблено методику оцінки якості моторних олив для двотактних двигунів. Методика враховує протипіттингові, антифрикційні, протизносні, протизадирні властивості олив, а також незмивання олив з поверхонь тертя, індекс в'язкості і здатність до лакоутворення.

Розроблено методику фізичного моделювання, яка дозволяє перераховувати результати лабораторних випробувань на натурні трібосистеми двигуна, що дає можливість оцінити ресурс трібосистем двигуна при виборі марки моторної оливи.

Результати щодо використання соняшникової та ріпакової рослинних олій олеїнового типу в якості робочих рідин впроваджено в Інституті рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України для чіткої координації в визначенні напрямків селекції технічних олійних культур з високим вмістом олеїнової кислоти та ДП «Зміївський лісгосп» для експлуатації двотактних двигунів на бензомоторному інструменті.

Теоретичні та експериментальні результати дисертаційних досліджень впроваджені в навчальний процес Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка при викладанні дисциплін: «Тертя, знос, мащення деталей машин», «Забезпечення паливо-мастильних матеріалів» та «Біопаливо».

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати роботи отримані здобувачем особисто. У наукових статтях, які виконані у співавторстві, особистий внесок здобувача наступний: отримані масштабні коефіцієнти перерахунку швидкості зношування лабораторних трібосистем на натурні трібосистеми двигуна [1]; виконані дослідження з визначення протипіттингових властивостей

олив, розроблена методика реєстрації сигналів акустичної емісії [3]; отримані експериментальні залежності зміни швидкості зношування і сили тертя при застосуванні рослинних олив, а також залежності зміни мікротвердості і шорсткості в процесі припрацювання [5]; обґрунтований критерій оцінки якості моторних олив, виконано експериментальні дослідження та отримано регресійне рівняння з визначення групи експлуатації нових олив [6]; розроблено методику оцінки зносу за час припрацювання в процесі лабораторних випробувань [4, 8]; обґрунтована технологія підготовки базових рослинних олив [7]; виконані порівняльні експериментальні дослідження рослинних і товарних моторних олив [9, 10].

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науковій сесії «Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин» (м. Харків, ХНТУСГ, 2013); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва» (м. Харків, ХНТУСГ, 2013); Международной научно-практической конференции – специализированной выставке «Белагро – 2012» (г. Минск, БГАТУ, 2013); IX-Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (м. Кіровоград, КНТУ, 2013).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 10 наукових статей, 6 статей в спеціалізованих виданнях (одна з них без співавторів), 2 статті в зарубіжних виданнях, один патент України на корисну модель і одні тези конференції.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який налічує 147 найменувань та 3 додатків. Роботу викладено на 181 сторінці, з них 160 сторінок основного тексту, на яких розміщено 51 рисунок та 24 таблиці.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**Вступ** до дисертаційної роботи містить такі положення: актуальність теми; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мету та завдання досліджень; наукову новизну одержаних результатів; практичне значення отриманих результатів; особистий внесок здобувача; інформацію про апробації та публікації; відомості про структуру роботи.

**У першому розділі** виконано огляд літератури за темою, вибір напряму дослідження та проведено аналіз перспектив використання робочих рідин на базі рослинних олій. Значний вклад у дослідження по використанню рослинних олій в якості змащувальних матеріалів та робочих рідин зробили Г.С. Поп, В.І. Кириченко, Г.О. Сіренко, А.Ю. Євдокимов, І.Г. Фукс, А.Т. Крачун, J.L. Glancey, E.R. Venson та інші. Було встановлено, що даний напрямок є досить перспективним.

При аналізі робіт П.О. Ребіндера, І.В. Крагельського, Б.І. Костецького, Д.М. Гаркунова, М.М. Хрущова, А.В. Чичинадзе, Ю.О. Євдокимова, Е.Д. Брауна, О.В. Дихи, Р.Г. Мнацаканова, В.І. Дворука та інших, встановлено, що на працездатність та довговічність трібосистем впливають не тільки сумісність матеріалів, з яких вони виготовлені, а, здебільшого, і мастильне

середовище, що є невід'ємною складовою трібосистеми. Мастильні матеріали відіграють найважливішу роль у формуванні різноманітних структур на поверхнях тертя, які, в свою чергу, являються «захисними» для трібоелементів.

Розглянутий аналіз вимог до моторних оливок для двотактних двигунів показав, що таким оливам притаманні специфічні вимоги, а, відповідно, і свій пакет присадок. На основі робіт фахівців фірми Shell, а також вчених Російського державного університету нафти та газу ім. І.М. Губкіна обґрунтований перелік присадок до моторних оливок, їх відсотковий вміст за масою, та параметри оцінки якості моторних оливок, але моторні оливи для двотактних двигунів повинні володіти особливими властивостями, які можна отримати оптимізацією пакету присадок органічного походження.

На основі виконаного аналізу літературних джерел у першому розділі сформульована мета та завдання дослідження.

**У другому розділі** роботи розглянуто методичний підхід в проведенні досліджень, об'єкт дослідження, обладнання, методика планування експериментів, опрацювання результатів експериментів, пошуку оптимальних значень. На основі системного підходу розроблено багаторівневу ієрархічну структуру досліджень.

Перший рівень дозволив конструкцію двотактного двигуна, як складну трібосистему, поділити на прості трібосистеми.

Другий рівень – обґрунтувати вибір матеріалів трібоелементів і моторних оливок, як товарних, так і перспективних рослинних.

Третій рівень дозволив визначити закономірності зміни швидкості зношування і сили тертя модельних і натурних трібосистем, а також дослідити процеси сумісності змащувальних матеріалів з матеріалами трібосистем.

Четвертий рівень визначив процеси взаємодії моторних оливок з поверхнями тертя, залежності зміни мікротвердості, шорсткості, часу припрацювання.

Трібологічні дослідження проводилися на чотирьохкульковій машині тертя відповідно ГОСТ 9490-75 та на машині тертя за схемою «кільце-кільце». У процесі експерименту, відповідно до вимог ГОСТ 30480-97, реєстрували: силу тертя, яку перераховували в коефіцієнт тертя, за величиною якого можна судити про механічні втрати в трібосистемі, час припрацювання зразків модельних трібосистем і швидкість зношування, яку визначали за допомогою методу штучних баз.

**Третій розділ** дисертаційної роботи присвячений визначенню трібологічних характеристик моторних оливок рослинного походження в порівнянні з товарними нафтовими, напівсинтетичними та синтетичними оливами для двотактних двигунів, вибору базових рослинних олій як перспективної сировини для виготовлення моторних оливок та рішення оптимізаційної задачі по введенню присадок.

Для вибору базових рослинних олій було проведено трібологічні дослідження на чотирьохкульковій машині тертя.

Для ранжирування оливок запропоновано комплексний енергетичний показник – питому роботу зношування одиниці об'єму тестового матеріалу в мастильному середовищі, що досліджується:

$$E_y = \frac{f_1 P_1 L_1}{D_i^3} + \frac{f_{кр} P_{кр} L_2}{D_{кр}^3} + \frac{f_{3-1} P_3 L_2}{D_{3-1}^3}, \quad (1)$$

де  $f_1$  - коефіцієнт тертя при навантаженні  $P_1 = 196$  Н;  $P_1$  - навантаження рівне 196 Н для визначення показника зносу згідно ГОСТ 9490-75;  $L_1$  - шлях тертя при визначенні показника зносу, дорівнює 2119,5 м;  $D_i$  - середній діаметр плям зносу (показник зносу) при навантаженні 196Н, мм;  $f_{кр}$  - коефіцієнт тертя при критичному навантаженні;  $P_{кр}$  - критичне навантаження, Н;  $L_2$  - шлях тертя при десяти секундах роботи чотирьохкулькової машини, дорівнює 5,88 м;  $D_{кр}$  - середній діаметр плям зносу при критичному навантаженні, мм;  $f_{3-1}$  - коефіцієнт тертя при навантаженні попередньому навантаженню зварювання;  $P_3$  - навантаження зварювання, Н;  $D_{3-1}$  - середній діаметр плям зносу при навантаженні попередньому навантаженню зварювання, мм.

Питома робота зношування враховує протизносні, протизадирні і антифрикційні властивості і дозволяє більш строго проранжувати оливи по здатності перешкоджати зносу і задиру, а також знижувати втрати на тертя.

Аналіз розміру питомої роботи зношування для різних олив (табл. 1) дозволив обґрунтувати вибір оливи по здатності перешкоджати зносу та задиру. Як впливає з таблиці 1 на першому місці стоїть синтетична олива ELF MOTO 2 XT Tech, потім ріпакова і соняшникова олії, потім напівсинтетична Пуск-2Т, ріцинова олія та мінеральні оливи Такт-2Т і МС-20.

Таблиця 1

Результати випробувань і розрахунку питомої роботи зношування в різних оливах

Тип оливи	Складові питомої роботи зношування			Питома робота зношування $E_y$ , Дж/мм <sup>3</sup>
	$\frac{f_1 P_1 L_1}{D_i^3}$	$\frac{f_{кр} P_{кр} L_2}{D_{кр}^3}$	$\frac{f_{3-1} P_3 L_2}{D_{3-1}^3}$	
МС-20	26590	137,2	39,2	26766
Такт-2Т	116665	317,7	87,2	117069
Пуск-2Т	225382	413,7	129,1	225924
ELF MOTO 2XT Tech	296467	672,5	210,47	297349
Ріпакова олія	250856	630	150,8	251636
Соняшникова олія	234316	496,1	129,1	234941
Ріцинова олія	138460	276,6	62,2	138798

Такий результат дозволяє вибрати високоолеїнові ріпакову і соняшкову олії – як базові оливи для отримання екологічно чистих моторних олив для двотактних двигунів.

Виходячи з аналізу вимог, які пред'являються до олив для двотактних двигунів, а також підвищених значень кислотного числа у рослинних олій (1,5...2,7 мг КОН / г) обґрунтовані присадки до базових рослинних олій та рівні їх варіювання (табл. 2).



Досліджувані фактори та рівні варіювання

Досліджуваний фактор	Позначення	Рівні варіювання		
		-1	0	1
Дифеніламін	$X_1$	0,2	1,2	2,2
Трикрезилфосфат	$X_2$	0,5	1,0	1,5
Ріцинова олія	$X_3$	2,0	6,0	10,0

Примітка. Для досліджуваних факторів одиниця виміру – %, мас.

Виконано трьохфакторний експеримент і отримані поліноми другого порядку, які дозволили встановити ступінь впливу присадок на функцію відгуку. На питому роботу зношування в першу чергу, впливає вміст трикрезилфосфату, а потім вміст ріцинової олії, і в останню чергу дифеніламіну.

Регресійні рівняння в натуральних значеннях дозволили вирішити оптимізаційну задачу і визначити процентний вміст перерахованих вище присадок в базових ріпаковій і соняшниковій рослинних оліях, який наведено в третьому розділі дисертаційної роботи.

Виконано оцінку трибологічних характеристик отриманих олив в порівнянні з товарними моторними оливами (табл. 3).

Таблиця 3

Трибологічні характеристики моторних олив для двотактних двигунів

Тип оливи	Показник зносу $D_i$ , мм	Критичне навантаження $P_{кр}$ , Н	Навантаження зварювання $P_z$ , Н	Коефіцієнт тертя $f$	Питома робота зношування $E_y$ , Дж /мм <sup>3</sup>
Такт-2Т	0,6	617	1568	0,065	117069
Пуск-2Т	0,47	617	1568	0,06	225924
ELF МОТО 2ХТ Tech	0,44	784	1568	0,065	297349
Ріпакова + П	0,42	980	1568	0,055	294328
Соняшникова + П	0,43	980	1568	0,055	278520

Протизносні властивості, які визначаються показниками зносу  $D_i$ , після введення присадок покращилися на 4,5%, що межує з величиною похибки визначення.

Діапазон роботи протизносних присадок, який визначається зміною критичного навантаження  $P_{кр}$ , для обох олив покращився на 25%. Таке збільшення показника дозволяє стверджувати, що поряд з фізичною адсорбцією поверхнево-активних речовин на поверхнях тертя має місце явище хемосорбції.

Отже, можна стверджувати, що високомолекулярні жирні кислоти, олеїнова та ріцинова, утворюють на поверхнях тертя металу металеві мила, температура плавлення яких значно вища, ніж температура десорбції

зазначених вище кислот як поверхнево-активних речовин. Дані явища можна пояснити наявністю в оливах трикрезилфосфату і ріцинової олії.

Протизадирні властивості, які визначаються навантаженням зварювання  $P_z$ , не змінилися, що підтверджує відсутність у трикрезилфосфаті і ріцинової олії протизадирних властивостей через низьку температуру десорбції.

При цьому комплексний показник, питома робота зношування  $E_y$ , (див. табл. 1 та табл. 3) покращилася для ріпакової оливи з присадками на 16,9%, а для соняшникової оливи з присадками на 18,5%.

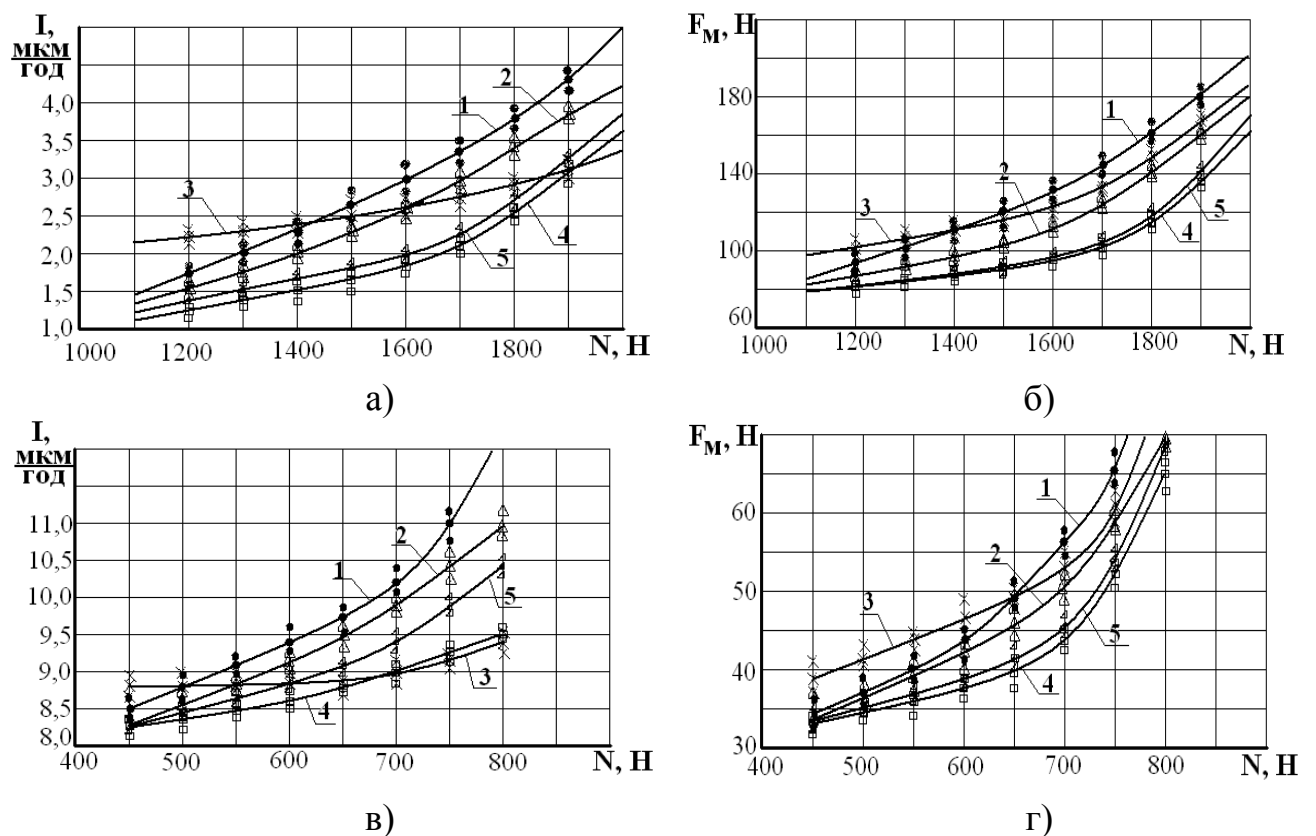
Виконані порівняльні експериментальні дослідження протизносних і антифрикційних властивостей моторних товарних і рослинних олив з присадками на трьох лабораторних модельних трібосистемах.

1. Трібосистема: рухливий трібоелемент - хромове покриття меншої площі тертя, нерухомий трібоелемент - сірий модифікований чавун з більшою площею тертя. Дана трібосистема моделює натурну трібосистему «поршневі кільця – гільза циліндра» двотактного двигуна з дотриманням ідентичності матеріалів та їх відносного розташування в трібосистемах.

2. Трібосистема: рухливий трібоелемент - алюмінієвий сплав (АЛ -25) меншої площі тертя, нерухомий трібоелемент - сірий модифікований чавун з більшою площею тертя. Дана трібосистема моделює трібосистему «поршень-гільза циліндра».

3. Трібосистема: рухливий трібоелемент - бронза (Бр.ОЦС 6-6-3) меншої площі тертя, нерухомий елемент - сталь (Сталь 40Х), більшої площі тертя. Моделює натурну трібосистему «поршневий палець - втулка головки шатуна».

Результати випробувань у вигляді залежностей швидкості зношування і сили тертя від навантаження в різних моторних оливах представлені на рис. 1.



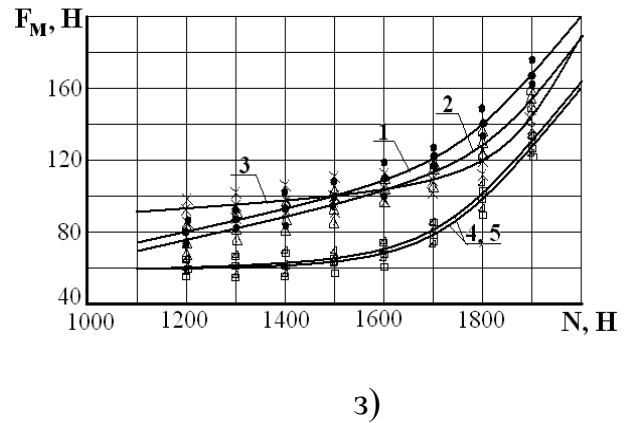
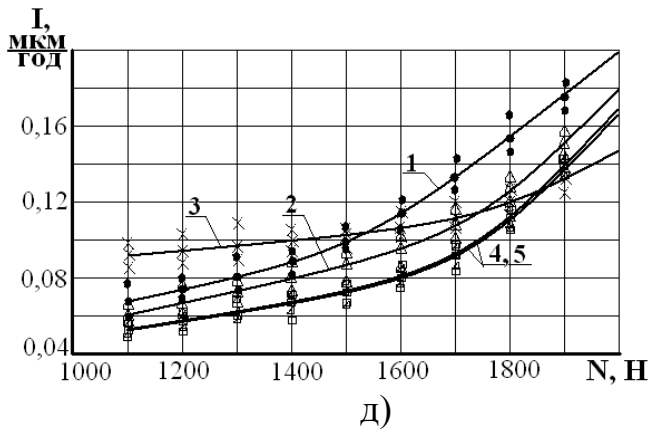


Рис. 1. Залежність швидкості зношування та сили тертя трібосистем від навантаження в різних оливах: а, б – «хромове покриття + сірий модифікований чавун»; в, г – «АЛ-25 + сірий модифікований чавун»; д, з – «Бр.ОЦС 6-6-3 + сталь 40Х». Досліджені оливи: 1 – мінеральна Такт-2Т; 2 – напівсинтетична Пуск-2Т; 3 – синтетична ELF MOTO 2 XT Tech; 4 – Ріпакова + П; 5 – Соняшникова + П.

Аналізуючи представлені залежності можна зробити висновок, що рослинні оливи з присадками (крива 4 і 5) на середніх навантаженнях мають менші значення швидкості зношування і сили тертя. Наприклад, трібосистеми «хромове покриття + сірий модифікований чавун» та «Бр.ОЦС 6-6-3 + сталь 40Х» (рис. 1, а, б, д, з) до навантаження 1700 Н при роботі на рослинних оливах мають менші значення швидкості зношування. При навантаженнях що перевищують 1700...1800 Н, кращий результат характерний для синтетичної моторної оливи.

Аналогічний результат характерний і для трібосистеми «алюмінієвий сплав АЛ -25 + сірий модифікований чавун». До навантаження 600 Н (рис. 1, в, г) менша швидкість зношування характерна для рослинних олив. При підвищенні навантаження до значень 700...800 Н, кращий результат має синтетична олива.

Такий результат можна пояснити наявністю в рослинних оліях великого вмісту олеїнової кислоти, яка є поверхнево-активною речовиною, а, отже, збільшує фізичну адсорбцію молекул оливи до поверхонь тертя.

Полярні молекули оливи створюють товсту і міцну оливову плівку на поверхні тертя, яка має більший температурний діапазон десорбції, ніж у мінеральної, напівсинтетичної та синтетичної товарних олив, де вміст олеїнової кислоти не перевищує 2% за масою.

При підвищених навантаженнях, коли за рахунок підвищення температури на поверхнях тертя відбувається десорбція ПАР, кращий результат має синтетична олива, за рахунок наявності пакета присадок, який забезпечує збільшення протизносних і протизадирних властивостей одночасно.

Прояв кращій фізичній адсорбції рослинних олив до поверхонь тертя доводять і залежності зміни сили тертя (втрат на тертя) у рослинних олив в порівнянні з товарними (рис. 1, б, г, з).

Втрати на тертя у рослинних олив у всьому діапазоні роботи на 10 ... 25% менше, ніж у товарних моторних олив. Таке явище можна пояснити наявністю

фізичної та хімічної адсорбції на поверхнях тертя, з утворенням плівок, які мають мінімальні значення напруги зсуву.

Отримані експериментальні дані перевірені на статистичну однорідність і відтворюваність. Порівнянням розрахункових і табличних значень критерію Кохрена встановлено, що отримані результати однорідні і відтворювані.

Для підтвердження прояву ефекту Ребіндера у матеріалів, з яких виготовлені трібоелементи, при роботі в різних оливах були виконані вимірювання мікротвердості і глибини наклепаного шару. Виміри проводилися на мікротвердомірі UIT-NVmicro-1 згідно ГОСТ 9450-75. Результати вимірювання представлені на рис. 2.

З побудованих залежностей випливає, що рослинні оливи мають більший діапазон збільшення мікротвердості (від 12,7% для хромового покриття до 29% для Бр.ОЦС 6-6-3) при одночасному зменшенні глибини наклепаного шару (від 27% для АЛ-25 до 42% для Бр.ОЦС 6-6-3).

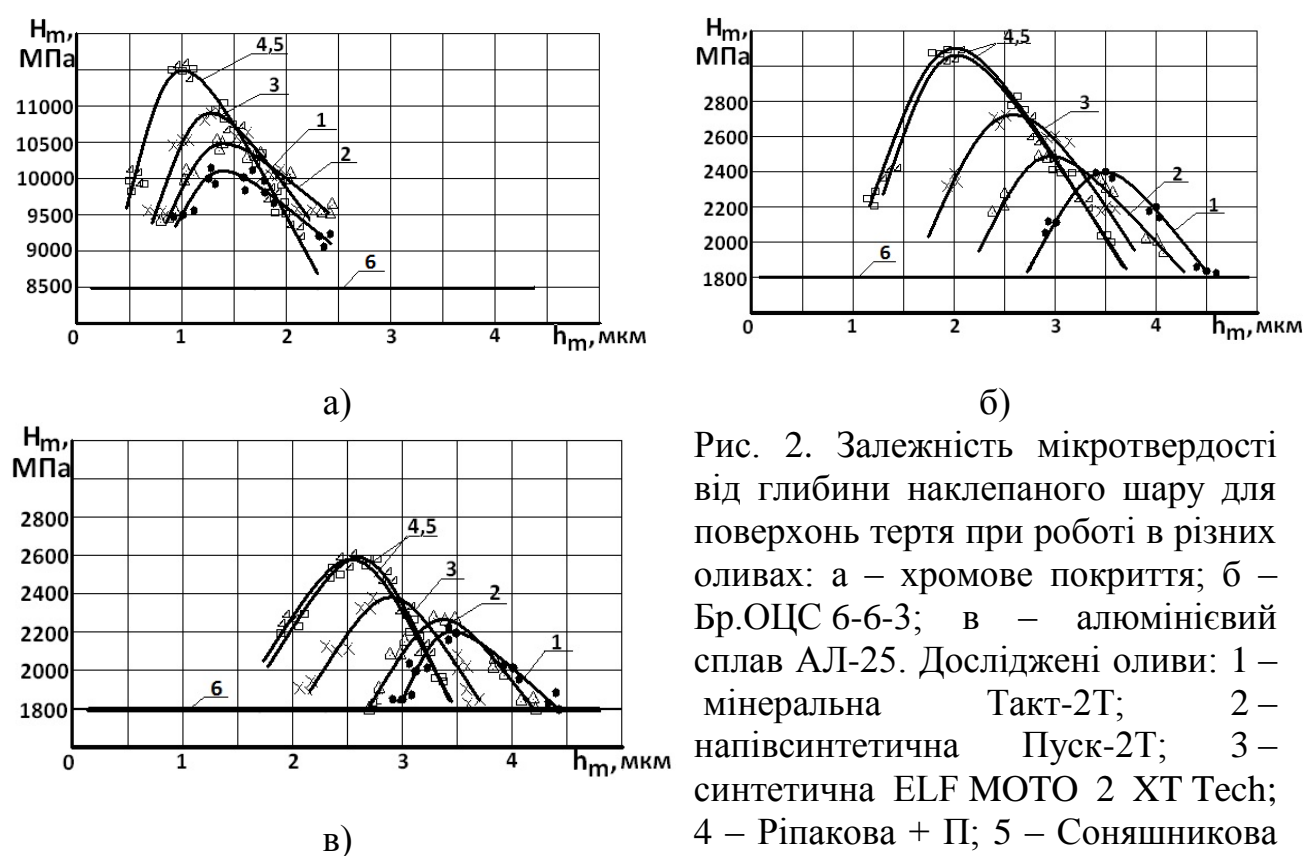


Рис. 2. Залежність мікротвердості від глибини наклепаного шару для поверхонь тертя при роботі в різних оливах: а – хромове покриття; б – Бр.ОЦС 6-6-3; в – алюмінієвий сплав АЛ-25. Досліджені оливи: 1 – мінеральна Такт-2Т; 2 – напівсинтетична Пуск-2Т; 3 – синтетична ELF MOTO 2 XT Tech; 4 – Ріпакова + П; 5 – Соняшникова + П.; 6 – вихідна мікротвердість

Це підтверджує прояв ефекту Ребіндера і його інтенсифікацію при роботі трібосистем в рослинних оливах з присадками. Можна зробити висновок, що на поверхнях тертя при роботі в рослинних оливах відбуватимуться адсорбційні і хемосорбційні процеси зі зміцненням поверхневого шару і локалізацією напружень, що знизить швидкість зношування і втрати на тертя.

Шорсткість поверхонь визначали на приладі TR 100 (UIT) з розрахунком середньоарифметичних значень і середньоквадратичного відхилення, за якими визначали коефіцієнт варіації.

Вихідна шорсткість поверхонь становила  $Ra = 0,4...0,42$  мкм. Час завершення процесу припрацювання контролювали щодо стабілізації двох

параметрів - моменту тертя і температури нерухомого трібоелементу (температури тертя).

Результати експериментальних досліджень з вимірювання шорсткості поверхонь тертя і часу припрацювання представлені на рис. 3.

Рослинні оливи з присадками для всіх випробовуваних трібосистем зменшують шорсткість поверхні і час припрацювання. Більшою мірою це виражається для трібосистеми «бронза Бр ОЦС 6-6-3 + сталь 40Х». Поверхня бронзи зменшує шорсткість при випробуванні на рослинних оливах (рис. 3, а) на 68%, в порівнянні з синтетичною оливою на 59%, напівсинтетичною і мінеральною оливами на 55%.

Час припрацювання для зазначеної вище трібосистеми при випробуванні на рослинних оливах становить 25 хв., на синтетичній оливі 35 хв., напівсинтетичній та мінеральній оливах 45 хв., що складає 40% і 80% відповідно по відношенню до рослинних олив.

У меншій мірі це виражається у трібосистемі «хромове покриття + сірий модифікований чавун» (рис. 3, б).

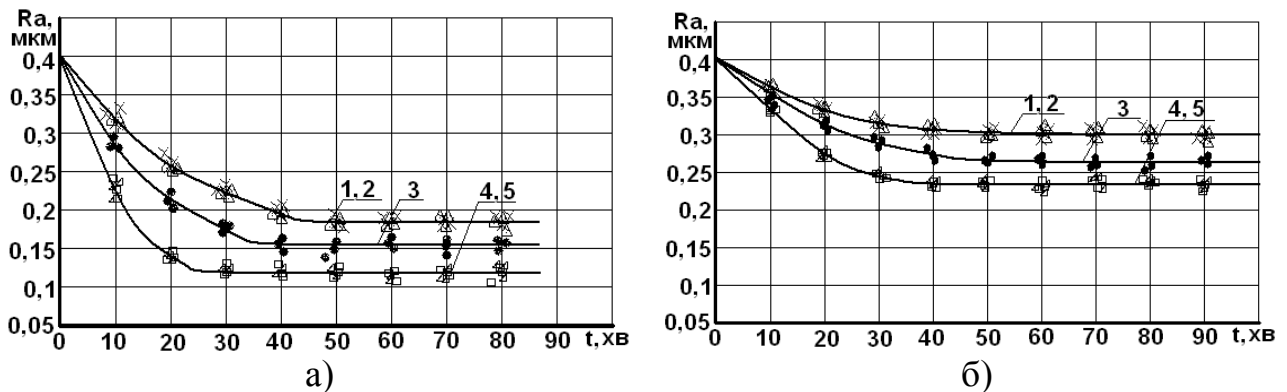


Рис. 3. Залежність шорсткості і часу припрацювання для поверхонь тертя: а – Бр.ОЦС 6-6-3; б - сірий модифікований чавун. Досліджені оливи: 1 – мінеральна Такт-2Т; 2 – напівсинтетична Пуск-2Т; 3 – синтетична ELF МОТО 2 ХТ Tech; 4 - Ріпакова + П; 5 – Соняшникова + П.

Поверхня тертя з сірого чавуну зменшує шорсткість при застосуванні рослинних олив з присадками на 40%, при застосуванні синтетичної оливи на 35%, при застосуванні напівсинтетичної та мінеральної олив на 25%.

При цьому час припрацювання зазначеної вище трібосистеми на рослинних оливах становить 35 хв., на синтетичній оливі 45 хв., на напівсинтетичній і мінеральній оливах 60 хв., що складає 28% і 71% відповідно по відношенню до рослинних олив.

Такий результат можна пояснити фізичною адсорбцією ПАР, що містяться в рослинних оліях до поверхні тертя, зниженням міцності матеріалу поверхневих шарів, а, відповідно, «вигладжуванням» поверхні за рахунок пластичної деформації. Це сприяє скороченню часу припрацювання, що позитивно позначиться при експлуатації двигунів.

У четвертому розділі виконано теоретичне та експериментальне обґрунтування комплексного критерію якості моторної оливи для двотактних двигунів.

Аналіз вимоги до моторних олів для двотактних двигунів зводиться до наступного.

1. Наявність протизносних, протизадирних і антифрикційних властивостей, які забезпечують довговічність трібосистем двигуна і мінімальні втрати на тертя.

Наявність таких властивостей можна оцінювати питомою роботою зношування  $E_y$ , розмірність Дж / мм<sup>3</sup> або Н · м / мм<sup>3</sup>.

2. Наявність протипіттингових властивостей, тобто здатність запобігати втомному викришуванню у підшипниках кочення, які є опорами колінчастого валу і головки шатуна.

Наявність таких властивостей можна оцінювати параметром  $\tau / \delta$ , розмірність хв./ мкм; де  $\tau$  - час початку утворення викришування в підшипнику, визначається у хвиликах;  $\delta$  - збільшення радіального зазору в підшипнику за час появи викришування, визначається в мкм.

3. Здатність згоряти без утворення нагару, відкладень на свічках запалювання і системи випуску, а так само не утворювати золи, тому що зола сприяє абразивному зношуванню циліндропоршневої групи.

Наявність таких властивостей забезпечується присутністю в оліві антиокислювальної присадки. При цьому багатофункціональні присадки не повинні містити металів, які в процесі згоряння будуть утворювати золу.

Наявність таких властивостей можна оцінити термоокислювальною стабільністю згідно ГОСТ 23175-78, тобто здатність утворювати лак. При цьому, вміст лаку враховується не у відсотках, а в питомих одиницях, грам утвореного лаку на випробуваній об'єм оліві з урахуванням швидковипаровуємих речовин в оліві  $C$ , гр / м<sup>3</sup>.

4. Здатність забезпечувати адсорбовану плівку оліві на поверхні циліндра та інших деталей двигуна і не змиватися бензином в процесі роботи.

Наявність таких властивостей можна оцінити послідовним п'ятисекундним зануренням, покритої олівою пластинки, в бензин. Число занурень до повного змивання (до 95% площі) є мірою, яка оцінює незмивання олів з поверхні циліндра - Ч, одиниця виміру - безрозмірна.

5. Здатність змішуватися з паливом при низьких температурах і високих тисках. Ця здатність характерна для сучасних двотактних двигунів з роздільною подачею бензину і оліві. Наявність таких властивостей можна оцінити індексом в'язкості – ИВ, одиниця виміру – безрозмірна.

Відповідно до правил отримання критеріїв подібності методом аналізу розмірностей отримуємо наступний запис:

$$K_m = \frac{\tau}{\delta} \sqrt{\frac{E_y \cdot \text{Ч} \cdot \text{ИВ}}{C}}. \quad (2)$$

При підстановці розмірностей параметрів у формулу (2) впливає, що критерій  $K_m$  є безрозмірною величиною.

Максимальне значення критерій  $K_m$  приймає при наявності в моторній оліві протипіттингових властивостей при одночасному мінімальному зносі підшипників кочення, а так само високих протизносних, протизадирних і антифрикційних властивостей.

Одночасно з заявленими властивостями моторна олива не повинна змиватися зі стінок циліндра та інших деталей двигуна, добре змішуватися з бензином при низьких температурах і мінімально відкладати лак і нагар в процесі згоряння. І, навпаки, мінімальні значення  $K_m$  відповідають умовам, коли перераховані вище властивості будуть мати протилежні значення.

На підставі експериментальної оцінки заявлених вище властивостей (табл. 4), безрозмірний критерій якості моторної оливи дозволяє виконати рейтинг оливок. На першому місці серед розглянутих оливок синтетична, яка відповідає за класифікацією API-TC, на другому – ріпакова + П, на третьому соняшникова + П, на четвертому напівсинтетична (по API-TB), на п'ятому мінеральна (по API-TA). Таку залежність можна представити графічно, як показано на рис. 4.

Таблиця 4  
Значення параметрів і розрахункове значення критерію  $K_m$  для товарних і рослинних оливок

Тип оливи	Класифікація API	Комплексний параметр протиіттингових властивостей $\tau/\sigma$ , хв/мкм	Питома робота зношування $E_y$ , Дж / мм <sup>3</sup>	Показник незмивання оливок, Ч	Індекс в'язкості $IV$	Питомий показник лакоутворення $C$ , гр / м <sup>3</sup>	Критерій якості оливи $K_m$
Мінеральна Такт-2Т	ТА	1,14	117069	8	105	304800	20,47
Напівсинтетична Пуск-2Т	ТВ	2,34	225924	9	142	294600	73,25
Синтетична ALF МОТО 2ХТ Tech	ТС	6,39	297349	11	159	204200	322,47
Ріпакова + П	Не класифіковано	4,31	294328	12	170	213400	228,61
Соняшникова + П	Не класифіковано	3,73	278520	13	163	224600	191,2

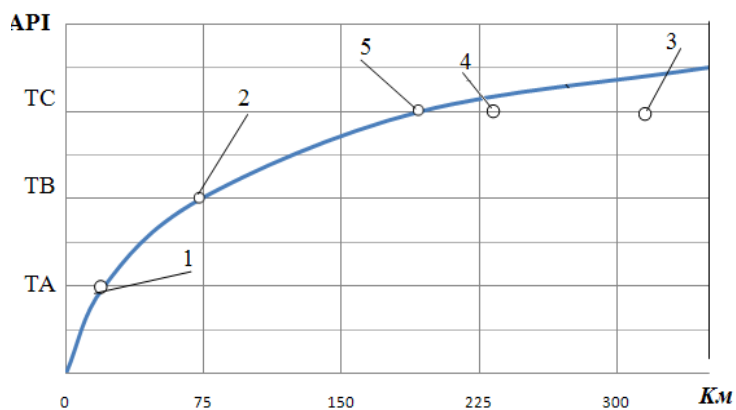


Рис. 4. Залежність класифікації оливи по API для двотактних двигунів від критерію якості  $K_m$ : 1 – мінеральна олива Такт-2Т; 2 – напівсинтетична олива Пуск-2Т; 3 – синтетична олива ELF МОТО 2 ХТ Tech; 4 – Ріпакова + П; 5 – Соняшникова + П.

Аналіз кривої на рис. 4 дозволяє встановити діапазони зміни критерію  $K_m$  для різних груп оливок по API.

Оливи групи ТА мають значення  $K_m$  в діапазоні від 0 до 36. Оливи групи

ТВ мають значення  $K_m$  в діапазоні від 36 до 75. Оливи групи ТС мають значення  $K_m$  в діапазоні від 75 до 200. Оливи, які мають значення  $K_m$  понад 200 можна класифікувати як групу ТС або перспективну групу TD.

Олива Соняшникова + П, яке має значення  $K_m = 191$ , можна віднести до групи ТС, а олива Ріпакова + П, яке має значення  $K_m = 228$ , так само можна віднести до групи ТС. Зазначені оливи, точки 4 і 5, нанесені на рис. 4.

За допомогою методу найменших квадратів отримана залежність:

$$T(x) = 0,724 \ln K_m - 1,159, \quad (3)$$

де,  $T(x)$  - група експлуатації оливок по API, ТА = 1, ТВ = 2, ТС = 3, TD = 4.

Коефіцієнт кореляції між групою експлуатації API і безрозмірним критерієм  $K_m$  становить  $R = 0,998$ .

На підставі виконаних експериментальних досліджень в третьому і четвертому розділі цієї роботи розроблено методику оцінки якості моторних оливок для двотактних двигунів і відповідність їх групі експлуатації по API.

**У п'ятому розділі** виконано фізичне моделювання швидкості зношування і втрат на тертя в трібосистемах двотактного двигуна внутрішнього згоряння.

Остаточний вигляд формул для розрахунку швидкості зношування і сили тертя:

$$I_n = I_m \left( \frac{N_n}{N_m} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{V_n}{V_m} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{K_{\phi n}}{K_{\phi m}} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{Q_m}{Q_n} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (4)$$

$$F_n = F_m \left( \frac{N_n}{N_m} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{V_n}{V_m} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{K_{\phi n}}{K_{\phi m}} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{Q_m}{Q_n} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (5)$$

де  $I_n$  і  $I_m$  - швидкість зношування у натурної і модельної трібосистемах, розмірність мкм/год;  $F_{тр\ n}$  і  $F_{тр\ m}$  - сила тертя у натурної і модельної трібосистем, розмірність Н;  $N_n$  і  $N_m$  - навантаження в ньютонах у натурної та модельної трібосистемах;  $V_n$  і  $V_m$  - швидкість ковзання у натурної і модельної трібосистем, розмірність м/с;  $K_{\phi n}$  і  $K_{\phi m}$  - коефіцієнт форми, який враховує геометричні розміри натурної і модельної трібосистем, розмірність 1/м;  $Q_n$  і  $Q_m$  - витрата мастильного матеріалу через натурну і модельну трібосистем, розмірність кг/г.

Таблиця 5

Ресурс трібосистем двотактного двигуна

Трібосистеми	Ресурс $R$ , год				
	Такт-2Т	Пуск-2Т	ELF MOTO 2XT Tech	Ріпакова + П	Соняшникова + П
«Поршневі кільця - гільза циліндра»	277	331	409	386	365
«Поршень-гільза циліндра»	266	303	358	350	317
«Поршневий палець-втулка головки шатуна»	322	360	437	380	380



За формулами (4), (5) розрахунковим шляхом були отримані значення швидкості зношування і сили тертя для натурних трібосистем, що дозволило розрахувати ресурс при використанні різних олив (табл. 5).

Аналіз таблиці 5 дозволяє зробити висновок, що при експлуатації на рослинних оливах ресурс трібосистем двигуна збільшується: у порівнянні з мінеральною оливою на 18 ... 39,3%; в порівнянні з напівсинтетичною оливою на 5,5 ... 13,4%. Рослинні оливи з присадками поступаються тільки синтетичній оливі на 2,2 ... 13%.

Адекватність результатів фізичного моделювання підтверджена випробуваннями в ДП «Зміївський лісгосп» двотактних двигунів бензопили на ріпаковій оливі з присадками в режимі штатної експлуатації на протязі 300 годин. Похибка фізичного моделювання з визначення швидкості зношування становила: для трібосистеми «поршень-гільза циліндра» - 18,5%; для трібосистеми «поршневі кільця - гільза циліндра» - 22,1%.

Виконана економічна оцінка від розроблених заходів, яка складається з збільшення ресурсу двигуна при його експлуатації на ріпаковій оливі з присадками і зниженні техногенного навантаження на навколишнє середовище. Економічний ефект склав 1125 грн. на один двотактний двигун на рік.

Результати роботи впроваджені на підприємстві ДП «Зміївський лісгосп», в науковій установі – Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України, та в навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлені нові науково-обґрунтовані результати, які забезпечують вирішення актуальної науково-технічної проблеми – підвищення зносостійкості трібосистем двотактних двигунів внутрішнього згоряння шляхом застосування рослинних моторних олив і дослідження їх взаємодії з поверхнями тертя.

1. На підставі аналізу літературних джерел вітчизняних і зарубіжних вчених, присвячених застосуванню рослинних олив як моторних встановлено, що такий напрям є перспективним і дозволить підвищити зносостійкість трібосистем двотактних двигунів і одночасно, знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище. Обґрунтування і вибір присадок, дослідження процесів взаємодії рослинних олив з присадками та поверхнями тертя, інтегральна оцінка якості таких олив вимагають подальшої розробки і спрямовані на підвищення ресурсу двотактних двигунів.

2. Обґрунтовано склад і відсотковий діапазон присадок у вибрані базові рослинні олії для експлуатації двотактних двигунів. Вирішена оптимізаційна задача і за критерієм максимального значення питомої роботи зношування, отриманий оптимальний склад присадок в базових ріпаковій та соняшниковій оліях. Порівнянням трібологічних властивостей по ГОСТ 9490-75 встановлено, що отримані рослинні оливи з присадками на 25% мають більше значення критичного навантаження. Цьому сприяють процеси фізичної адсорбції та хемосорбції на поверхнях тертя.

3. Порівняльними експериментальними дослідженнями товарних моторних і рослинних олив з присадками на лабораторних трібосистемах встановлено, що рослинні оливи з присадками на середніх навантаженнях мають на 4,8...30% менші значення швидкості зношування. Це пояснюється наявністю у рослинних олив великого вмісту олеїнової і ріциновою кислот. Полярні молекули таких кислот покращують фізичну адсорбцію і хемосорбцію на поверхнях тертя і знижують втрати на тертя на 8,8...35% у всьому діапазоні навантажень. При підвищених навантаженнях за рахунок температурної десорбції і плавлення металевого мила на поверхні тертя, рослинні оливи поступаються синтетичній моторній оливі. Отримані експериментальні дані перевірені на статистичну однорідність і відтворюваність. Порівнянням розрахункових і табличних значень критерію Кохрена встановлено, що отримані результати однорідні і відтворювані.

4. Отримано залежності зміни мікротвердості поверхонь тертя від глибини наклепаного шару, на підставі аналізу яких, встановлено, що рослинні оливи з присадками сприяють прояву ефекту Ребіндера і мають більший діапазон збільшення мікротвердості (від 12,7% до 29%) при одночасному зменшенні глибини наклепаного шару (від 27% до 42%). Це підтверджує адсорбційне зниження міцності поверхневого шару під дією ПАР, його подальшу деформацію, зміцнення і локалізацію всіх процесів в тонкому поверхневому шарі. Аналогічні залежності отримані для шорсткості і часу припрацювання трібосистем. Встановлено, що застосування рослинних олив з присадками зменшує шорсткість поверхонь на 40 ... 68% при одночасному скороченні припрацювання на 28 ... 80%.

5. Теоретично обґрунтовано використання критерію якості моторної оливи для двотактних двигунів, який є інтегральною характеристикою протипіттингових, протизносних, протизадирних і антифрикційних властивостей. У порівнянні з відомими раніше критеріями отриманий критерій враховує незмивання плівки оливи з деталей двигуна, індекс в'язкості і здатність до лакоутворення. Експериментальним шляхом виконана оцінка всіх параметрів, які входять до критерію якості, і розрахунковим шляхом отримано його значення для товарних моторних і рослинних олив з присадками. Встановлено, що безрозмірний критерій корелює з групою експлуатації олив по API з коефіцієнтом кореляції  $R = 0,998$  і може виступати як міра якості моторних олив для двотактних двигунів. Розрахунковим шляхом на основі отриманої залежності встановлено, що ріпакова і соняшникова оливи з присадками відповідають групі експлуатації по API - TC. На підставі отриманих теоретичних і експериментальних досліджень розроблено методику оцінки якості моторних олив для двотактних двигунів та їх відповідність групі експлуатацій по API.

6. На підставі теорії подібності та моделювання отримані масштабні безрозмірні коефіцієнти перерахунку швидкості зношування і сили тертя з модельних трібосистем на натурні трібосистеми двотактних двигунів бензопили. Отримані розрахункові формули дозволили розрахувати ресурс трібосистеми двигуна при їх експлуатації на різних типах олив. Встановлено, що при експлуатації на рослинних оливах ресурс трібосистем двигуна

збільшується: у порівнянні з мінеральною оливою на 18 ... 39,3%; в порівнянні з напівсинтетичною оливою на 5,5 ... 13,4%. Рослинні оливи з присадками поступають тільки синтетичній на 2,2 ... 13%.

7. Адекватність результатів фізичного моделювання підтверджена випробуваннями в ДП «Зміївський лісгосп» двотактних двигунів бензопили на ріпаковій оливі з присадками в режимі штатної експлуатації на протязі 300 годин. Похибка фізичного моделювання з визначення швидкості зношування становила: для трібосистеми «поршень-гільза циліндра» - 18,5%; для трібосистеми «поршневі кільця - гільза циліндра» - 22,1%. Виконана економічна оцінка від розроблених заходів, яка складається з збільшення ресурсу двигуна при його експлуатації на ріпаковій оливі з присадками і зниженні техногенного навантаження на навколишнє середовище. Економічний ефект від впровадження розробок на підприємстві ДП «Зміївський лісгосп» склав 1125 грн. на один двотактний двигун на рік.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ У фахових виданнях**

1. Сысенко И.И. Физическое моделирование скорости изнашивания и ресурса трибосистем двухтактного двигателя бензопилы при использовании растительных масел / В. А. Войтов, И. И. Сысенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 136: Системотехніка і технології лісового комплексу. Транспортні технології. – С. 257 – 264.

2. Сысенко И. И. Результаты эксплуатационных испытаний двухтактных двигателей бензопилы на рапсовом масле / И. И. Сысенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 139: Проблеми надійності машин та засобів механізації с/г виробництва. – С. 218 – 221.

3. Сысенко И.И. Исследование противопиттинговых свойств моторных масел на растительной основе / В. А. Войтов, И. И. Сысенко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 26: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – С. 21 – 26.

4. Сысенко И.И. Моделирование переходных процессов в трибосистемах. Часть 2. Методика моделирования переходных процессов / В. А. Войтов, А. Г. Козырь, И. И. Сысенко // Проблеми трибології. – 2013. – № 4. – С. 25 – 32.

5. Сысенко И.И. Трибологические свойства моторных масел для двухтактных двигателей внутреннего сгорания на растительной основе / В. А. Войтов, И. И. Сысенко, А. Г. Кравцов // Проблеми трибології. – 2014. – № 1. – С. 27 – 38.

6. Сысенко И.И. Критерий оценки качества моторного масла для двухтактных двигателей внутреннего сгорания / В. А. Войтов, И. И. Сысенко, А. Г. Кравцов // Проблеми трибології. – 2014. – № 2. – С. 29 – 37.

### Патенти та заявки на винахід

7. Пат. 66143 Україна, МПК С11В11/00. Спосіб отримання базової оливи для технічних мастил / В. А. Войтов, І. І. Сисенко, В. В. Кириченко, С. М. Тимчук, В. В. Поздняков, А. Г. Кравцов ; заявник та патентовласник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – u 2011 06843; заяв. 31.05.2011, опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24, 2011 р.

### Матеріали і тези конференцій

8. Сысенко И.И. Методический подход при моделировании процесса приработки трибосистем / В. А. Войтов, А. Г. Козырь, И. И. Сысенко // Проблемы конструирования, производства та експлуатації сільськогосподарської техніки: ІХ міжнар. наук.-практ. конф., 7 – 8 листопада 2013 р.: Матеріали. – Кіровоград, 2013. – С. 179 – 181.

### У закордонних виданнях

9. Сысенко И.И. Перспективы применения растительных масел для эксплуатации двухтактных двигателей внутреннего сгорания / В.А. Войтов, И. И. Сысенко // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК. – Минск: БГАТУ, 2013. – С. 105 – 110.

10. Сысенко И. Перспективы использования растительных масел для изготовления смазочных материалов и рабочих жидкостей // В. Войтов, А. Кравцов, И. Сысенко // Motrol. – vol. 15, № 7. – 2013. – С. 56 – 63.

### АНОТАЦІЯ

**Сисенко І.І.** Підвищення зносостійкості трібосистем двотактного двигуна застосуванням моторних олив на рослинній основі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах. – Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка Мінагрополітики та продовольства України, Харків, 2014.

Дисертаційна робота спрямована на підвищення зносостійкості трібосистем двигунів внутрішнього згоряння при використанні моторних олив з оцінкою їх якості.

Обрані базові рослинні олії для отримання моторних олив з високим вмістом олеїнової кислоти. Обґрунтовано склад і відсотковий діапазон присадок у вибрані базові рослинні олії.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що рослинні оливи з присадками на середніх навантаженнях мають менші значення швидкості зношування. Це пояснюється наявністю у рослинних оливах великого вмісту олеїнової і ріцинової кислот.

Отримано залежності зміни мікротвердості поверхонь тертя від глибини наклепаного шару, на підставі аналізу яких встановлено, що рослинні оливи з присадками сприяють прояву ефекту Ребіндера і мають більший діапазон збільшення мікротвердості при одночасному зменшенні глибини наклепаного шару.

Теоретично обґрунтовано і на підставі аналізу розмірностей отримано безрозмірний критерій якості моторної оливи для двотактних двигунів, який є інтегральною характеристикою протипіттингових, протизносних, протизадирних і антифрикційних властивостей.

*Ключові слова:* моторні оливи на базі рослинних олій, трибосистеми, швидкість зношування, сила тертя, фізичне моделювання, критерії якості моторної оливи, ефект Ребіндера.

## АННОТАЦІЯ

**Сисенко І.І.** Повышение износостойкости трибосистем двухтактного двигателя применением моторных масел на растительной основе. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – трение и износ в машинах. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко Минагрополитики и продовольствия Украины, Харьков, 2014.

Диссертационная работа направлена на повышение износостойкости трибосистем двигателей внутреннего сгорания при использовании моторных масел с оценкой их качества и снижением техногенной нагрузки на окружающую среду.

Выбраны базовые растительные масла для получения моторных масел с высоким содержанием олеиновой кислоты. Обоснован состав и процентный диапазон присадок в выбранные базовые растительные масла. Решена оптимизационная задача и по критерию максимального значения удельной работы изнашивания, получен оптимальный состав присадок в базовых рапсовом и подсолнечном маслах.

Экспериментальными исследованиями товарных моторных и растительных масел с присадками на лабораторных трибосистемах установлено, что растительные масла с присадками на средних нагрузках имеют меньшие значения скорости изнашивания. Это объясняется наличием у растительных масел большого содержания олеиновой и рициновой кислот. Полярные молекулы таких кислот улучшают физическую адсорбцию и хемосорбцию на поверхностях трения и снижают потери на трение во всем диапазоне нагрузок.

Получены зависимости изменения микротвердости поверхностей трения от глубины наклепанного слоя на основании анализа которых, установлено, что растительные масла с присадками способствуют проявлению эффекта Ребіндера и имеют больший диапазон увеличения микротвердости при одновременном уменьшении глубины наклепанного слоя. Это подтверждает адсорбционное понижение прочности поверхностного слоя под действием ПАВ, его последующую деформацию, упрочнение и локализацию всех процессов в тонком поверхностном слое.

Теоретически обоснован и на основании анализа размерностей получен безразмерный критерий качества моторного масла для двухтактных двигателей, который является интегральной характеристикой противопиттинговых, противоизносных, противозадирных и антифрикционных свойств.

На основании теории подобия и моделирования получены масштабные безразмерные коэффициенты пересчета скорости изнашивания и силы трения с модельных трибосистем на натурные трибосистемы двухтактных двигателей бензопилы. Установлено, что при эксплуатации на растительных маслах ресурс трибосистем двигателя увеличивается: по сравнению с минеральным маслом на 18...39,3%; по сравнению с полусинтетическим маслом на 5,5...13,4%. Растительные масла с присадками уступают только синтетическому на 2,2...13%.

*Ключевые слова:* моторные масла на базе растительных масел, трибосистемы, скорость изнашивания, сила трения, физическое моделирование, критерии качества моторного масла, эффект Ребиндера.

### ABSTRACT

**Sysenko I.** Improving the durability tribosystem Two-stroke engine oils using plant-based. - Manuscript.

A thesis for a Candidate Degree in Mechanical Engineering, Speciality 05.02.04. – Friction and Wear in Machines. – Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ministry of agrarian policy and food of Ukraine, Kharkiv, 2014.

The thesis is aimed at increasing tribosystem durability of internal combustion engines using engine oil with an assessment of their quality.

Basic vegetable oils to produce motor oils with high oleic acid content were selected. The composition and percentage range of additives in selected basic vegetable oils were grounded.

Experimental studies have established that vegetable oils with additives for medium loads have lower indexes of wear rate. This is due to the presence of high content of oleic acid and castor acid in vegetable oils.

The dependences of microhardness change of friction surfaces on the depth of riveted on layer were obtained and based on an analysis which found that vegetable oils with additives contribute to the manifestation of Rebinder's effect and have a greater zoom range of microhardness while reducing the depth of riveted on layer.

Dimensionless criterion of motor oil quality for two-stroke engines, which is an integral feature of anti-wear, extreme pressure and anti-friction properties, was theoretically reasoned and obtained on the basis of dimensional analysis.

*Keywords:* motor oil based on vegetable oils, tribosystem, the wear rate, friction, physical modeling, criteria of motor oils quality, the Rebinder's effect.

Відповідальні за випуск Левкін А.В.  
Комп'ютерний набір та верстка Постољна В.В.

Підписано до друку «22» вересня 2014р.  
Формат паперу 60×84 1/16. Умов. друк. арк. 0,9. Папір офсетний 80 г/м.  
Друк РІЗО. Тираж 150 пр. Замовлення № 382.

КП «Міська друкарня»  
61002, м. Харків, вул. Артема 44  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3613 від 29.10.2013 р.