

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

КРАВЦОВ АНДРІЙ ГРИГОРОВИЧ

УДК 621.891

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРІБОСИСТЕМ  
ГІДРОМАШИН ВИКОРИСТАННЯМ РОБОЧИХ РІДИН  
РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Спеціальність 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2013

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, професор  
**Диха Олександр Володимирович**,  
Хмельницький національний університет,  
завідувач кафедри зносостійкості і надійності машин;

кандидат технічних наук, доцент  
**Стадніченко Микола Григорович**,  
Харківський університет Повітряних Сил України  
ім. І. Кожедуба,  
професор кафедри інженерно-авіаційного забезпечення

Захист дисертації відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 року о \_\_\_ 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 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.М. Власовець

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Мастильні матеріали та робочі рідини є невід'ємною складовою як простих рухомих вузлів та механізмів, так і складних силових агрегатів, таких як ДВЗ, об'ємних гідромашин та інших. На сьогоднішній день переважна більшість мастильних матеріалів виготовляються на базі нафти, щорічні запаси якої неспинно скорочуються. Агрегати, на яких встановлено об'ємні гідромашини, здебільшого працюють в зонах з підвищеною екологічною чутливістю, таких як сільськогосподарське виробництво.

Використання високоякісних мастильних матеріалів є одним із засобів підвищення зносостійкості, що, в свою чергу, продовжує ресурс агрегатів. Це досягається введенням в мастильні матеріали потужних пакетів присадок, які не завжди є екологічно безпечними. Альтернативою існуючим мастильним матеріалам можуть бути рослинні олії, а саме, оливи та робочі рідини, що виготовлені на базі рослинних олій.

Застосування мастильних матеріалів на базі рослинних олій забезпечить високі протизносні та екологічні показники за рахунок високого відсоткового вмісту в їхньому складі олеїнової кислоти, яка є потужною поверхнево-активною речовиною та утворює міцні адсорбційні захисні плівки на поверхнях тертя.

Наразі дослідження з підвищення зносостійкості трібосистем присвячені здебільшого використанню мастильних матеріалів на мінеральній та синтетичній основі. В роботах по використанню рослинних олій в якості мастильних матеріалів покращення трібологічних та експлуатаційних показників досягається шляхом введення хімічно-активних речовин, таких як сірка, фосфор та інших, без урахування особливостей конструкції агрегату, матеріалів, з яких виготовлені основні трібосистеми, та жирнокислотного складу базових рослинних олій.

Таким чином, дослідження тріботехнічних та трібохімічних процесів на поверхнях тертя при застосуванні в якості мастильних матеріалів робочих рідин на базі рослинних олій з високим вмістом олеїнової кислоти дасть змогу підвищити зносостійкість трібосистем гідромашин та покращити екологічну складову.

**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.

**Мета та завдання досліджень.** Мета роботи – підвищення зносостійкості трібосистем гідромашин (ГСТ-90) шляхом використання робочих рідин на базі рослинних олій та дослідження тріботехнічних і трібохімічних процесів на поверхнях тертя. Відповідно до цього необхідно вирішити наступні основні наукові та прикладні завдання:

1. Дослідити та вибрати базові рослинні олії як перспективну сировину для виготовлення робочих рідин.

2. Дослідити триботехнічні характеристики робочих рідин рослинного походження в порівнянні з нафтовими, синтетичними та біологічного походження.

3. Провести фізичне моделювання процесів зношування і втрат на тертя основних трибосистем ГСТ-90 при використанні робочих рідин рослинного походження для визначення зносостійкості та прогнозування ресурсу.

4. Дослідити трибохімічні процеси на поверхнях тертя модельних трибосистем ГСТ-90 при використанні робочих рідин рослинного походження.

5. Розробити пропозиції та рекомендації щодо використання робочих рідин рослинного походження для експлуатації ГСТ-90.

**Об'єкт досліджень** – процеси тертя та зношування трибосистем при використанні робочих рідин рослинного походження.

**Предмет досліджень** – підвищення зносостійкості трибосистем гідромашин використанням робочих рідин рослинного походження.

**Методи дослідження:** системний аналіз; дослідження трибологічних властивостей; методика фізичного моделювання процесів тертя та зношування; теорія планування експерименту і математична статистика; аналіз триботехнічних процесів робочих поверхонь трибосистем за допомогою лабораторних машин тертя та растрової мікроскопії.

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

1. Вперше отримано залежності швидкості зношування та сили тертя прямих та зворотних трибосистем при використанні робочих рідин рослинного походження. Це дозволило обґрунтувати вибір базових рослинних олій – соняшnikової та ріпакової з високим відсотковим вмістом олеїнової кислоти (88% та 65% відповідно), що забезпечує протизносні та антифрикційні властивості робочих рідин, які значно переважають нафтові та максимально наближені до синтетичних.

2. Отримало подальший розвиток фізичне моделювання процесів тертя та зношування прямих та зворотних трибосистем при використанні робочих рідин на базі соняшnikової та ріпакової олій, що дозволило отримати критеріальні рівняння подібності, розрахувати масштабні коефіцієнти переходу від моделі до природи для швидкості зношування та сили тертя. Встановлено, що значення швидкості зношування та сили тертя натурних трибосистем при застосуванні робочих рідин на базі рослинних олій – соняшnikової та ріпакової, менші на 18,7% та 14,5% відповідно, в порівнянні із застосуванням робочої рідини нафтового походження МГЕ-46В.

3. Встановлено явище вибіркового переносу на зворотних трибосистемах при використанні робочих рідин рослинного походження з високим вмістом олеїнової кислоти. Виявлено та обґрунтовано схильність робочих рідин на базі рослинних олій – соняшnikової та ріпакової, до проявлення та інтенсифікації явища вибіркового переносу, а саме, реакцій відновлення міді на сталевому та чавунному трибоелементах в вигляді тонких сервовитних плівок.

**Практичне значення отриманих результатів.** На основі теоретичних та експериментальних досліджень, встановлених закономірностей розширено сировинну базу для виготовлення робочих рідин, які застосовуються в гідромашинах с/г техніки.

Розроблено спосіб отримання базових олій для виготовлення робочих рідин, який захищено патентом на корисну модель № 66143 (Україна).

Розроблено практичні рекомендації по застосуванню робочих рідин рослинного походження та обґрунтовано умови експлуатації об'ємних гідроприводів с/г техніки.

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 ремонтному підприємстві для припрацювання об'ємного гідроприводу ГСТ-90.

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: проаналізовано перспективи використання та обґрунтовано експлуатаційні вимоги до рідких олив на базі рослинних олій при використанні в вузлах сільськогосподарської техніки [1]; визначено трибологічні властивості рослинних олій як перспективної сировинної бази для виготовлення технічних робочих рідин [2, 3]; розроблені конструктивні заходи підвищення ресурсу трибосистем гідростатичного приводу ГСТ-90 [4]; виконано оцінку надійності та екологічності вузлів с/г техніки при експлуатації на біооливах [5]; визначено основні фізико-механічні, трибологічні характеристики та швидкість зношування модельних трибосистем при використанні олив на базі рослинних олій [7]; отримані експериментальні залежності зміни швидкості зношування прямих і зворотних трибосистем при використанні робочих рідин на базі рослинних олій [12].

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) «Технічний прогрес в АПК» (м. Харків, ХНТУСГ, 2008 р.); VII МНПК «Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки» (м. Харків, ХНТУСГ, 2009 р.); III Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання» (м. Кіровоград, КНТУ, 2009 р.); МНПК «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва» (м. Харків, ХНТУСГ, 2009 р., 2013 р.); XIII Международной научно-производственной конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения» (Россия, г. Белгород, БГСХА, 2009 г.); XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (смт. Глеваха, ННЦ ІМЕСГ, 2009 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми трибології» (м. Київ, НАУ, 2010 р.); IX Міжнародній науково-методичній конференції «Інженерно-технічне забезпечення інноваційних технологій сервісу машин» (м. Харків, ХНТУСГ, 2011 р.); Международной научно-технической конференции «Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК» (Белоруссия, г. Минск, БГАТУ, 2011 г.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 12 наукових праць (2 одноосібні), з них 8 статей у фахових виданнях, 1 – у закордонному виданні, 2 публікації матеріалів і тез конференцій, а також отримано 1 патент України на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який налічує 196 найменувань та 4 додатків. Роботу викладено на 184 сторінках, з них 162 сторінок основного тексту, на яких розміщено 65 рисунків та 22 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** 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 здійснили 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, але аналіз літератури показав, що залишається ще багато відкритих питань стосовно використання рослинних олій як базової сировини для виготовлення змащувальних матеріалів.

При аналізі робіт П.А. Ребіндера, І.В. Крагельського, Б.І. Костецького, Д.Н. Гаркунова, М.М. Хрущова, А.В. Чичинадзе, Ю.А. Євдокимова, Е.Д. Брауна, В.В. Шевелі, Р.Г. Мнацаканова, М.Г. Стадніченка та інших, встановлено, що на працездатність та довговічність трібосистем впливають не тільки поєднання та 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 методик моделювання показав, що найбільш доцільним буде використання методики фізичного моделювання. Висвітленню методології фізичного моделювання та критеріального підходу при розв'язанні складних тріботехнічних завдань присвячені роботи І.В. Крагельського, А.В. Чичинадзе, Ю.А. Євдокимова, Е.Д. Брауна, В.С. Щедрова, Ю.Н. Дроздова, Х. Чихоса, Л.І. Седова, В.А. Веникова та інших. В.А. Войтовим на основі другої теореми теорії подібності і моделювання ( $\pi$ -теореми) методом аналізу розмірностей були отримані критерії подібності для швидкості зношування та сили тертя.

Відповідно до другої теореми подібності ( $\pi$ -теореми) при подібності фізичних процесів у моделі та природи дотримується рівність критеріїв подібності у моделі та природи:  $\pi_{Lm} = \pi_{Ln}$ ,  $\pi_{Fm} = \pi_{Fn}$ .

Аналіз робіт показав, що вид мастильного середовища відіграє вирішальну роль в проявленні явища вибіркового переносу, так як не всі

мастильні матеріали здатні відтворювати та інтенсифікувати необхідні процеси для протікання хімічних реакцій, в результаті яких і реалізується явище вибіркового переносу.

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

**У другому розділі** роботи описується об'єкт дослідження, обладнання, методичний підхід в плануванні експериментів, опрацюванні результатів експериментів, пошуку оптимальних значень. Обрані дослідні зразки рослинних олій з різним жирнокислотним складом та визначені їх фізико-хімічні показники. Для зручності написання всі рослинні олії було позначено кодovими назвами: МХ-1008 В – олія соняшникова лінолевого типу; Рюрік F<sub>1</sub> – олія соняшникова лінолевого типу; Х-526 – олія соняшникова олеїнового типу; Х-782 – олія соняшникова лінолевого типу; Р(0:0) – олія ріпакова безерукова з високим вмістом олеїнової кислоти; С-1 – олія сої; Р-1 – олія рицинова; О-1 – оливкова олія.

На основі системного аналізу та міждержавних стандартів ГОСТ 9490-75 та ГОСТ 30480-97, які встановлюють загальні вимоги до проведення випробувань на зносостійкість, побудована структура тріботехнічних досліджень. Обґрунтовано вибір матеріалів для виготовлення модельних трібосистем об'ємного гідроприводу типу ГСТ-90.

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.

Механохімічні дослідження модельних трібосистем об'ємного гідроприводу типу ГСТ-90 проводили за допомогою спеціального лабораторного обладнання та з використанням методу растрової мікроскопії на мікроскопі-мікроаналізаторі «РЕММА-106И» з використанням рентгенівського дисперсійного аналізу «ЭДАР».

**Третій розділ** дисертаційної роботи присвячений вибору базових рослинних олій як перспективної сировини для виготовлення робочих рідин та дослідженню тріботехнічних характеристик робочих рідин рослинного походження в порівнянні з товарними нафтовими, синтетичними рідинами, а також рідинами біологічного походження.

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

Стабільність трібологічних характеристик дослідних робочих рідин та рослинних олій визначалась за критерієм середньоквадратичного відхилення показника зносу  $D_i$ , критичного навантаження  $P_k$  та навантаження зварювання  $P_z$ , які є коренем квадратним з дисперсії отриманих результатів на чотирьохкульковій машині тертя, і представлені на рис. 1 – 3.

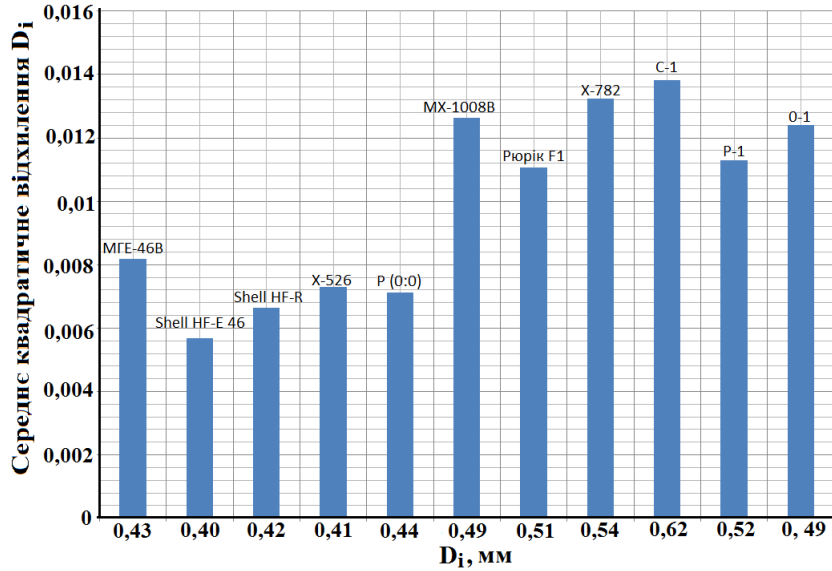


Рис. 1. Залежність середньоквадратичного відхилення протизносного показника  $D_i$

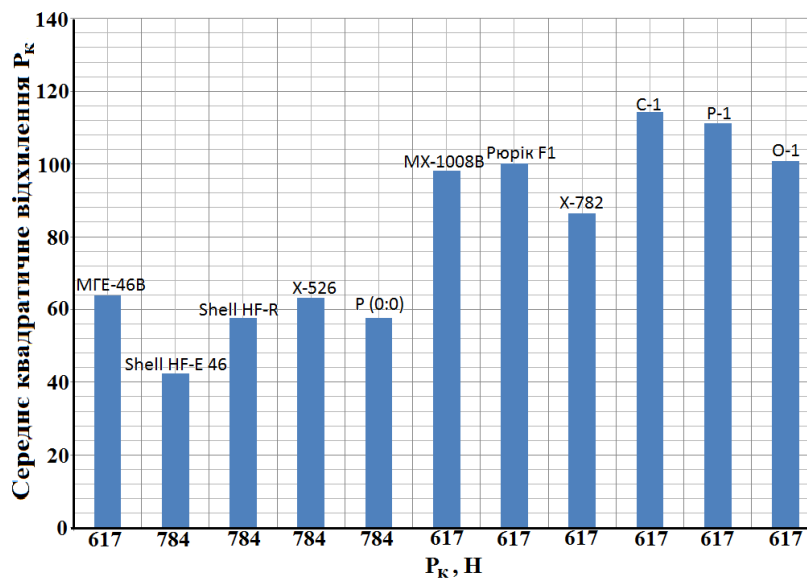


Рис. 2. Залежність середньоквадратичного відхилення критичного навантаження  $P_k$

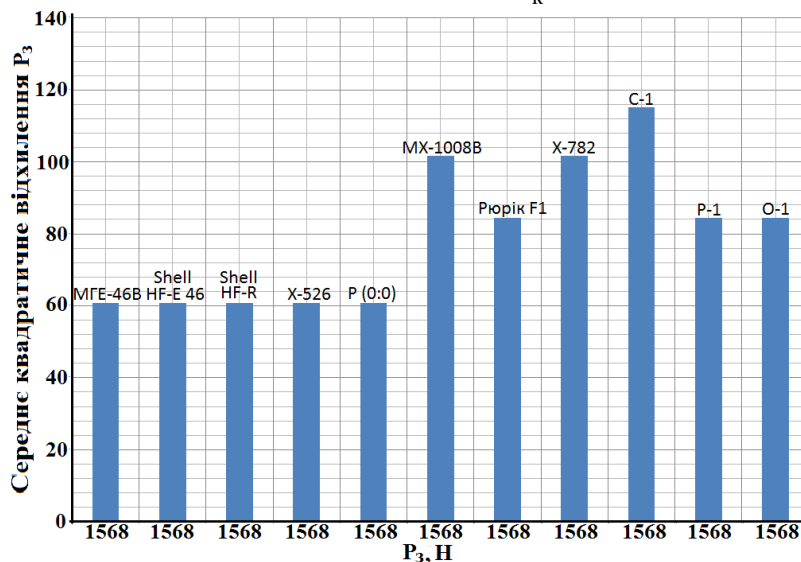


Рис. 3. Залежність середньоквадратичного відхилення навантаження зварювання  $P_3$



Для статистичної перевірки однорідності результатів дослідження щодо визначення трибологічних характеристик рослинних олій було використано гіпотезу про однорідність ряду дисперсій (критерій Кохрена). Провівши розрахунки для показників  $D_i$ ,  $P_k$  та  $P_z$ , отримали розрахункові значення критерію Кохрена ( $G_i$ ), які виявилися меншими, ніж табличні. Таким чином гіпотеза однорідності ряду дисперсій підтвердилась з вірогідністю 0,95.

За результатами дисперсійного аналізу було обрано базові рослинні олії, що мали найменше середньоквадратичне відхилення трибологічних характеристик: соняшникову високоолеїнову олію X-526 та ріпакову безерукову олеїнового типу P (0:0), які за своїми фізико-хімічними показниками не поступаються нафтовим та синтетичним. Стабільність даних олій можна пояснити високим вмістом олеїнової кислоти в їх складі. Це дало змогу сформулювати першу робочу гіпотезу, яка полягала в тому, що саме високий вміст олеїнової кислоти в складі рослинних олій, яка, в свою чергу, є потужною поверхнево-активною речовиною, забезпечує високі трибологічні характеристики.

Для покращення експлуатаційних показників було сплановано та проведено трьохфакторний експеримент з метою визначення оптимального відсоткового вмісту відповідних функціональних присадок та процесу термостабілізації. В якості факторів були обрані: відсотковий масовий вміст кремнійорганічної протипінної присадки ПМС-200А ( $X_1$ ); відсотковий масовий вміст антикорозійної присадки АНТИКОР ( $X_2$ ); температура термостабілізації робочого середовища після введення присадок ( $X_3$ ). Функцією відклику слугували: показник зносу  $D_i$ , мм ( $Y_1$ ); критичне навантаження  $P_k$ , Н ( $Y_2$ ); навантаження зварювання  $P_z$ , Н ( $Y_3$ ).

В результаті проведення експерименту були отримані наступні регресійні рівняння для робочої рідини на базі соняшnikової олії:

$$Y_1 = 0,417 - 0,00125X_1 - 0,0025X_2 - 0,00625X_3 - 0,005X_1X_2 + 0,0025X_1X_3 - 0,005X_2X_3 + 0,00542X_1^2 - 0,0028X_2^2 - 0,00458X_3^2, \quad (1)$$

для робочої рідини на базі ріпакової олії:

$$Y_1 = 0,426667 + 0,00125X_1 - 0,00125X_2 + 0,0075X_1X_2 + 4,7 \cdot 10^{-19}X_1X_3 - 0,001X_2X_3 + 0,018X_1^2 - 0,00208X_2^2 - 0,00458X_3^2 \quad (2)$$

Аналіз регресійних рівнянь (1) та (2) дав змогу побудувати поверхні відклику, рис. 4, та визначити оптимальний склад соняшnikової олії (РС): вміст протипінної присадки – 0,0026%, вміст антикорозійної присадки – 0,16%, температура термостабілізації – 102°C; ріпакової олії (РР): вміст протипінної присадки – 0,006%, вміст антикорозійної присадки – 0,1%, температура термостабілізації – 100°C.

На рис. 4 представлені поверхні відклику для показнику зносу  $D_i$  при застосуванні соняшnikової олії. Аналогічні поверхні побудовано для критичного навантаження  $P_k$  та навантаження зварювання  $P_z$  як для соняшnikової, так і ріпакової олій, і представлені в дисертаційній роботі.

Експериментальним шляхом на чотирьохкульковій машині тертя згідно ГОСТ 9490-75 визначено трибологічні характеристики робочих рідин після введення присадок та термостабілізації (табл. 1).

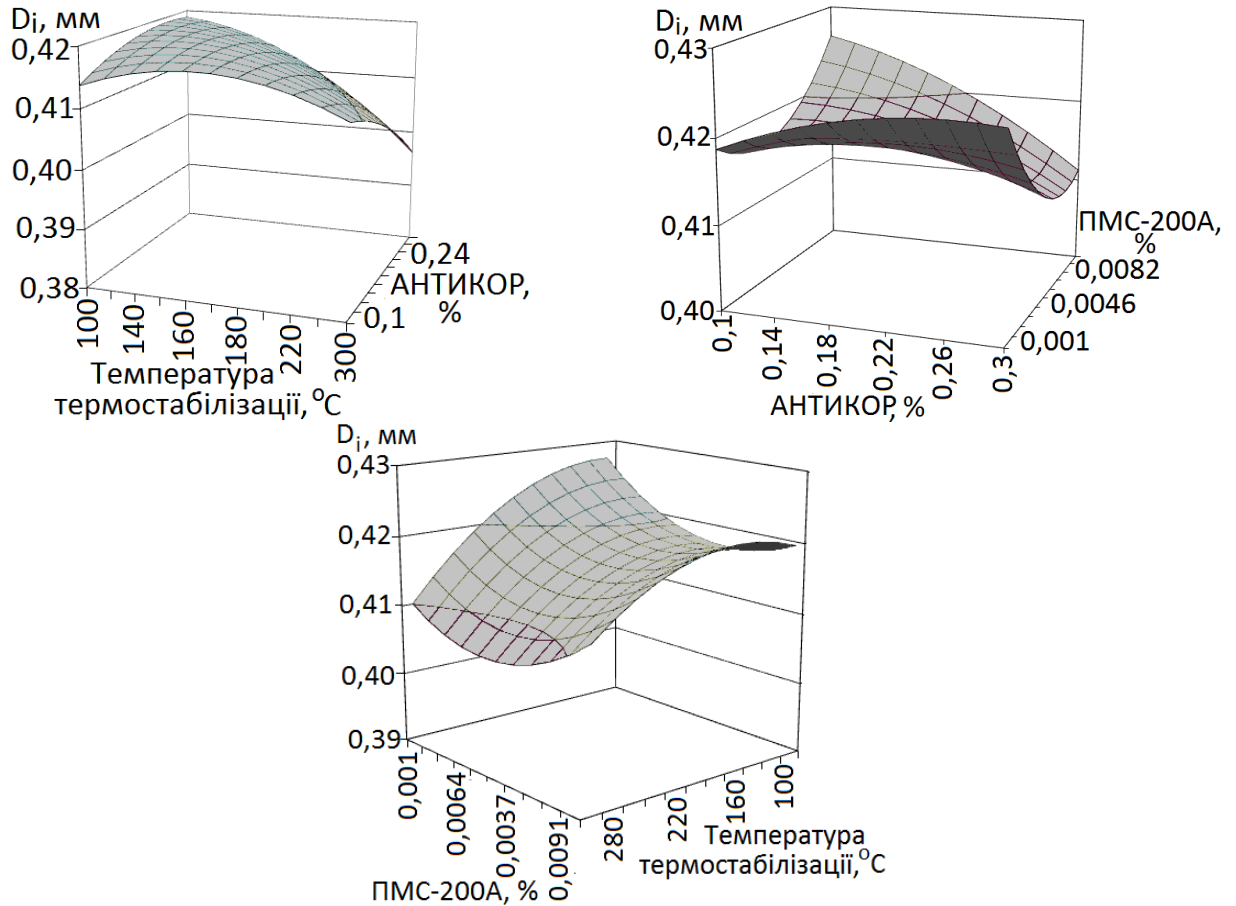


Рис. 4. Поверхня відклику показника зносу робочої рідини на базі соняшникової олії

Таблиця 1

Порівняння трибологічних характеристик робочих рідин після введення присадок та термостабілізації

Назва робочої рідини		Трибологічні характеристики відповідно ГОСТ 9490-75		
		$D_i$ , (мм)	$P_k$ , (Н)	$P_z$ , (Н)
Нафтова	МГЕ-46В	0,43	617	1568
Синтетична	Shell HF-E 46	0,40	784	1568
Біологічного походження	Shell HF-R	0,42	784	1568
Рослинна соняшникова	РС	0,41	784	1568
Рослинна ріпакова	РР	0,41	784	1568

Аналіз значень, які представлені в таблиці 1, дозволяють зробити висновок, що робочі рідини на рослинній основі РС та РР мають ідентичні трибологічні характеристики, які перевершують характеристики робочої рідини на нафтовій основі МГЕ-46В: за показником зносу  $D_i$  на 4,6%; за критичним навантаженням  $P_k$  на 21%. Отримані робочі рідини РС та РР поступаються тільки синтетичній робочій рідині Shell HF-E46 за показником зносу на 2,5%.

В лабораторних умовах на машині тертя було проведено експеримент за схемою «кільце-кільце» з метою визначення впливу робочих рідин рослинного походження РС та РР на триботехнічні характеристики модельних трибосистем. Встановлено, що для модельних трибосистем ГСТ-90 при використанні робочих рідин на базі рослинних олій РС та РР швидкість зношування на 18% та 13%, сила тертя на 33% та 20%, час припрацювання на 35% та 28% відповідно нижчі, ніж при використанні МГЕ-46В. Залежності швидкості зношування та сили тертя модельних трибосистем представлені на рис. 5, 6.

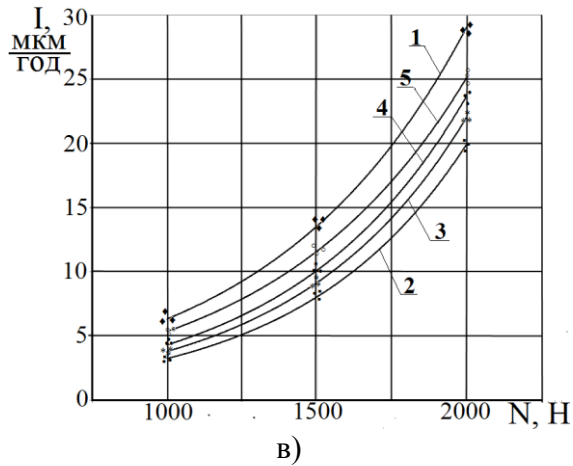
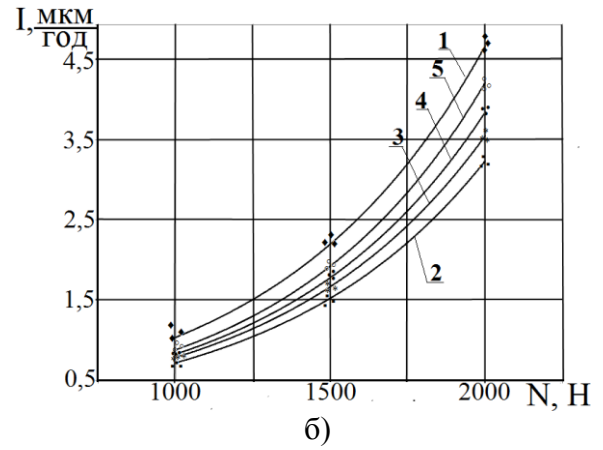
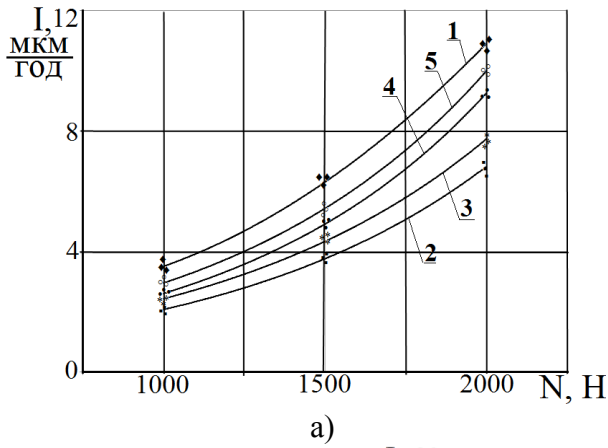


Рис. 5. Швидкість зношування модельних трібосистем «плунжер – втулка» (а), «приставне дно – розподільник» (б), «башмак – похила шайба» (в): 1 – МГЕ – 46В; 2 – Shell HF-E 46; 3 – Shell HF-R; 4 – PC; 5 – PP.

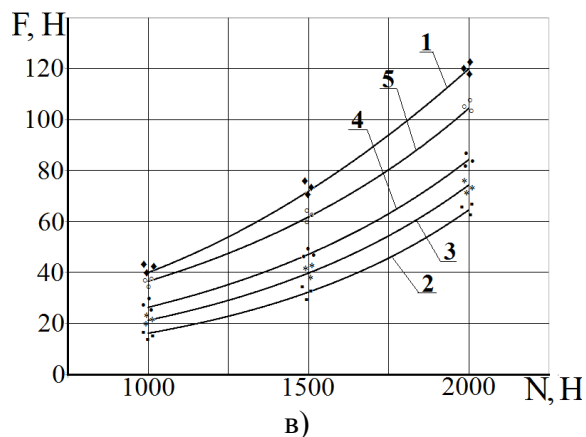
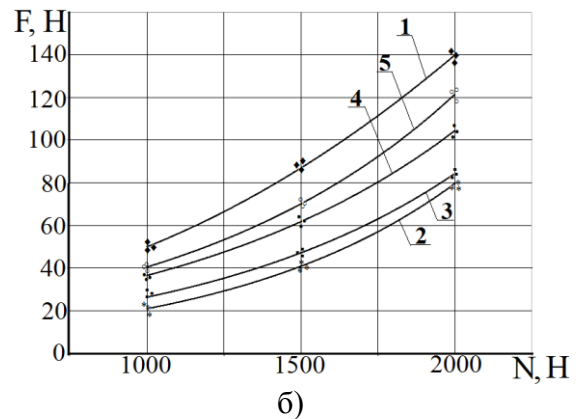
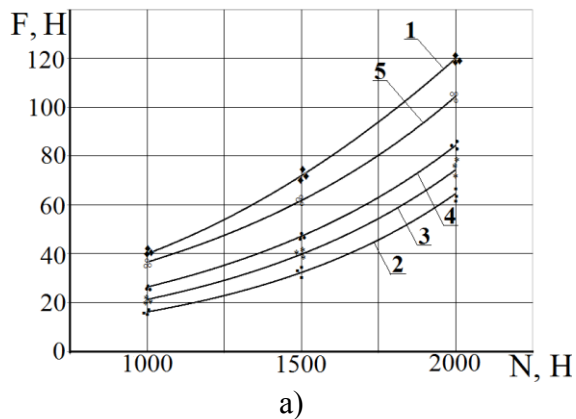


Рис. 6. Сила тертя модельних трібосистем «плунжер – втулка» (а), «приставное дно – розподільник» (б), «башмак – похила шайба» (в): 1 – МГЕ – 46В; 2 – Shell HF-E 46; 3 – Shell HF-R; 4 – PC; 5 – PP.

З рис. 5, 6 видно, що робочі рідини на базі рослинних олій РС та РР поступаються тільки робочим рідинам Shell: по швидкості зношування в межах від 15% до 20% та по силі тертя в межах від 12% до 30%.

Зменшення значень швидкості зношування та сили тертя при застосуванні робочих рідин РС та РР дало підставу висунути другу робочу гіпотезу – робочі рідини на базі рослинних олій схильні до інтенсифікації проявлення явища вибіркового переносу. В п'ятому розділі даної дисертаційної роботи висунута гіпотеза була в повній мірі підтверджена шляхом дослідження трибохімічних процесів на поверхнях тертя.

**В четвертому розділі** здобула подальший розвиток математична модель фізичного моделювання швидкості зношування та сили тертя, яка відповідно до другої теореми подібності ( $\pi$ -теореми) може бути записана в наступному

$$\text{вигляді: } I_n = I_m \left( \frac{N_n}{N_m} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{V_n}{V_m} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{K_{\phi m}}{K_{\phi n}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{\alpha_{ВТМ}}{\alpha_{ВТН}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{A_{усрм}}{A_{усрн}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{Q_m}{Q_n} \right)^{\frac{1}{3}},$$

$$F_{трн} = F_{трм} \left( \frac{N_n}{N_m} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{V_n}{V_m} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{K_{\phi m}}{K_{\phi n}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{\alpha_{ВТМ}}{\alpha_{ВТН}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{A_{усрм}}{A_{усрн}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{Q_n}{Q_m} \right)^{\frac{1}{3}},$$

де  $I_n$  і  $I_m$  – швидкість зношування натурної трібосистеми та її моделі відповідно, мкм/год;

$F_{трн}$  і  $F_{трм}$  – сила тертя натурної трібосистеми та її моделі, Н;

$N_n$  і  $N_m$  – навантаження на натурній і модельній трібосистемах, Н;

$V_n$  і  $V_m$  – швидкість ковзання натурної і модельної трібосистеми, м/с;

$K_{\phi n}$  і  $K_{\phi m}$  – коефіцієнти форми натурної і модельної трібосистеми, 1/м.

$\alpha_{ВТН}$  і  $\alpha_{ВТМ}$  – коефіцієнти, які враховують структуру матеріалу натурної та модельної трібосистеми, дБ/м;

$A_{усрн}$  і  $A_{усрм}$  – параметр, який враховує мастильні властивості робочих рідин, Дж/м<sup>3</sup>;

$Q_n$  і  $Q_m$  – витрата мастильного матеріалу (робочої рідини), л/хв.

Приведені моделі можна записати у скороченому вигляді:

$$I_n = I_m \cdot K_I, \quad (3)$$

$$F_{трн} = F_{трм} \cdot K_{Fj}, \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт подібності, який враховує зміну  $N$ ,  $V$ ,  $K_{\phi}$ ,  $Q$  у натурі і моделі. Для зручності написання  $K$  має свій індекс в залежності від трібосистеми:

- коефіцієнт подібності для швидкості зношування:

$$K_I = \left( \frac{N_n}{N_m} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{V_n}{V_m} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{K_{\phi m}}{K_{\phi n}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{Q_m}{Q_n} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (5)$$

- коефіцієнт подібності для сили тертя:

$$K_{Fmp} = \left( \frac{N_n}{N_m} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{V_n}{V_m} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{K_{\phi m}}{K_{\phi n}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{Q_n}{Q_m} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (6)$$

Розрахунки коефіцієнтів подібності проводились з урахуванням масштабного фактору реальної конструкції ГСТ-90, який було визначено на

основі конструкторської документації. Отримані результати розрахунків коефіцієнтів подібності  $K_I$  та  $K_{Fmp}$  для визначення швидкості зношування (5) та сили тертя (6) модельних трібосистем приведено в табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Коефіцієнти подібності для розрахунку швидкості зношування натурних трібосистем ГСТ-90

«плунжер – втулка» $K_{I1}$	«приставне дно – розподільник» $K_{I2}$	«башмак – похила шайба» $K_{I3}$
0,0017	0,03	0,0054
0,0013	0,02	0,004
0,001	0,018	0,0033

Таблиця 3

Коефіцієнти подібності для розрахунку сили тертя натурних трібосистем ГСТ-90

«плунжер – втулка» $K_{Fmp1}$	«приставне дно – розподільник» $K_{Fmp2}$	«башмак – похила шайба» $K_{Fmp3}$
3,3	4,24	2,66
2,8	3,64	2,33
2,6	3,3	2,1

За допомогою виразів (3), (4) отримано залежності швидкості зношування та сили тертя натурних трібосистем об'ємного гідроприводу типу ГСТ-90 (рис. 7, 8).

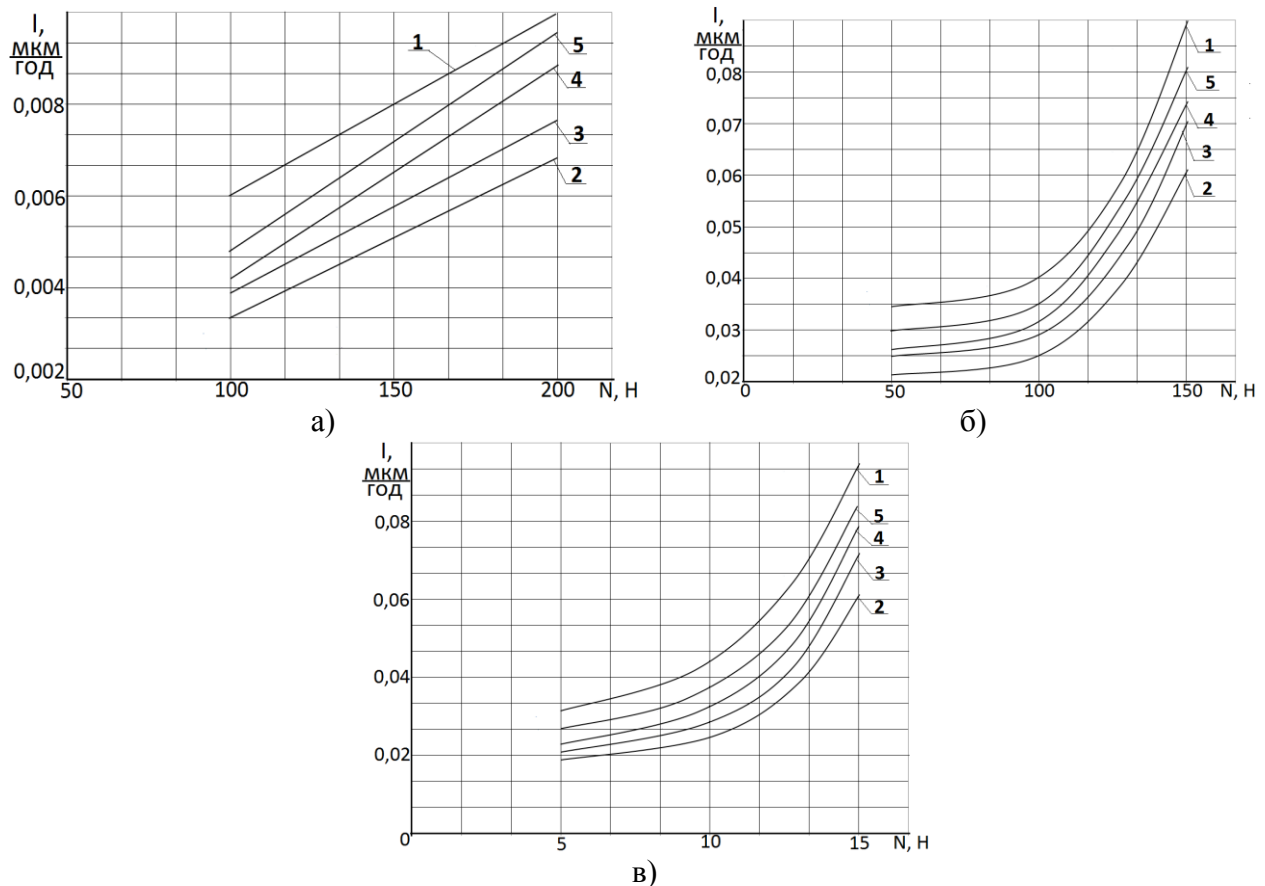


Рис. 7. Розрахункові значення швидкості зношування натурних трібосистем «плунжер – втулка» (а), «приставне дно – розподільник» (б), «башмак – похила шайба» (в):

1 – МГЕ-46В; 2 – Shell HF-E 46; 3 – Shell HF-R; 4 – РС; 5 – РР.

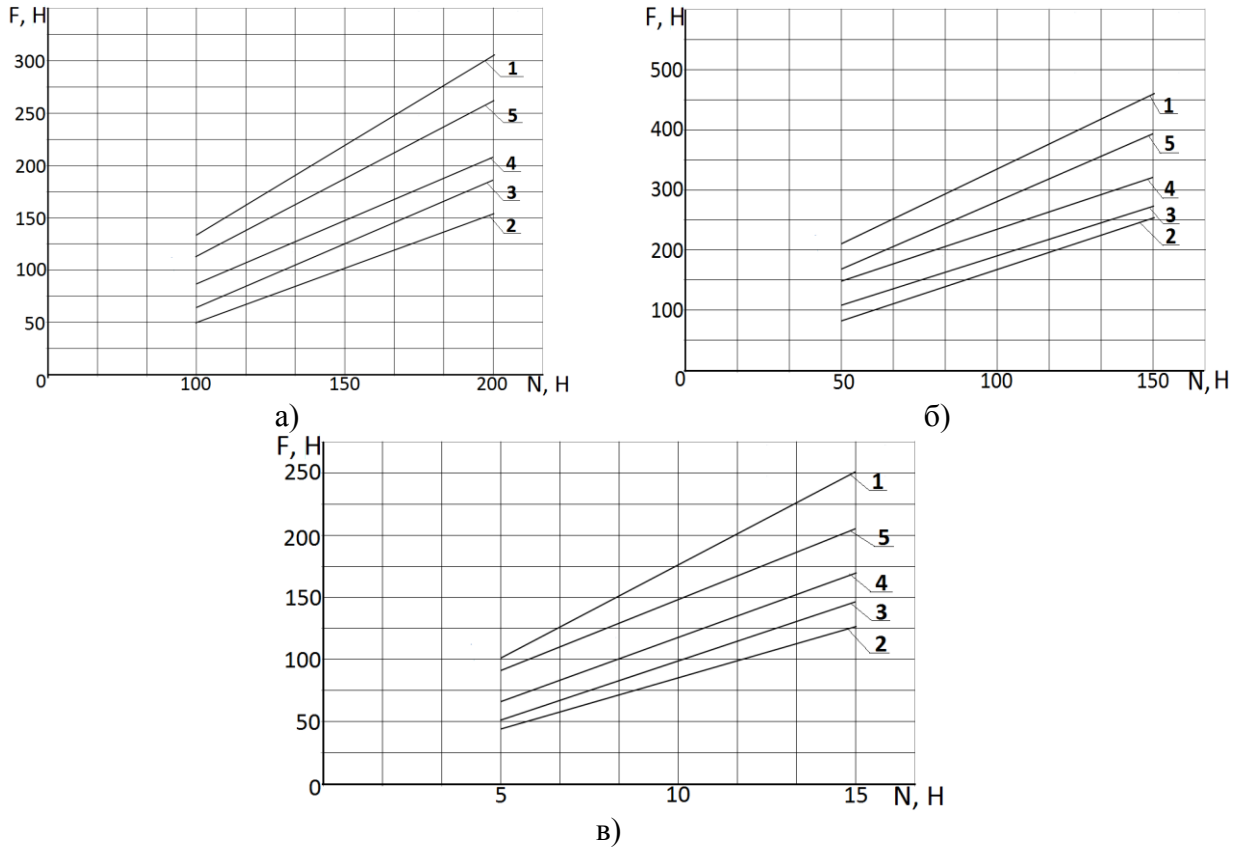


Рис. 8. Розрахункові значення сили тертя натурних трібосистем «плунжер – втулка» (а), «приставне дно – розподільник» (б), «башмак – похила шайба» (в): 1 – МГЕ-46В; 2 – Shell HF-E 46; 3 – Shell HF-R; 4 – РС; 5 – РР.

Встановлено, що значення швидкості зношування натурних трібосистем при використанні робочих рідин на базі рослинних олій РС та РР менші на 17,7% та 7% відповідно, а сили тертя – на 28% та 14% відповідно порівняно з використанням робочої рідини нафтового походження МГЕ-46В.

Розрахунковим шляхом за результатами фізичного моделювання було визначено ресурс натурних трібосистем в залежності від використання різних типів робочих рідин. Встановлено, що використання робочих рідин на базі рослинних олій РС та РР забезпечує ресурс об'ємного гідроприводу типу ГСТ-90 на рівні 2700 та 2400 годин відповідно, а використання робочої рідини нафтового походження МГЕ-46В – на рівні 2200 годин.

При проведенні стендових випробувань об'ємного гідроприводу типу ГСТ-90 було встановлено, що використання робочих рідин на базі рослинних олій РС та РР дає змогу підвищити її загальний ККД (табл. 4).

Таблиця 4

Результати стендових випробувань по визначенню ККД ГСТ-90 в залежності від використання різних типів робочих рідин

Робочі рідини	Загальний ККД ГСТ-90
МГЕ-46В	$\eta_z = 0,83$
РС	$\eta_z = 0,86$
РР	$\eta_z = 0,87$

Експлуатація на робочій рідині на базі ріпакової олії РР підвищує загальний ККД на 4,6% в порівнянні з експлуатацією на робочій рідині

нафтового походження МГЕ-46В. При використанні робочої рідини на базі соняшникової олії РС відбувається підвищення загального ККД на 3,5%.

Це обумовлено тим, що робочі рідини на базі рослинних олій володіють значно кращою в'язкісно-температурною характеристикою, що забезпечує значно менші витоки робочої рідини, та, в свою чергу, підвищення об'ємного (коефіцієнту подачі), а в результаті загального ККД.

У п'ятому розділі дослідження трибохімічних процесів на поверхнях тертя модельних трібосистем ГСТ-90 при використанні робочих рідин рослинного походження дало змогу підтвердити другу робочу гіпотезу стосовно того, що робочі рідини РС та РР інтенсифікують проявлення явища вибіркового переносу.

При дослідженні мікротвердості робочих поверхонь модельних трібосистем при застосуванні різних типів робочих рідин були отримані мікрофотографії поверхонь тертя, рис. 9. Мікротвердість поверхневого шару визначалась в двох зонах: в зоні 1, де не було помічено слідів проявлення явища вибіркового переносу в вигляді сервовитних плівок, та в зоні 2, де чітко спостерігалась структура відмінна від основного матеріалу. Дана структура була помічена лише на зворотних трібосистемах та при використанні робочих рідин на базі рослинних олій РС та РР.

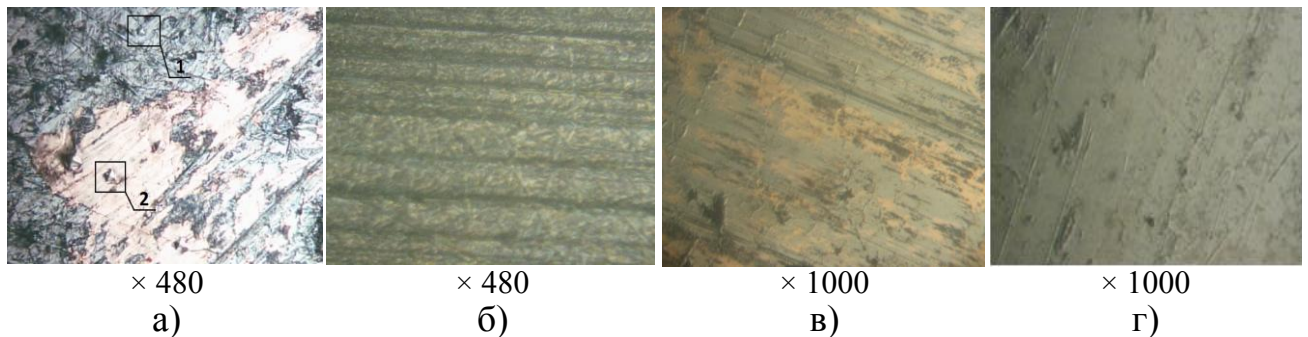


Рис. 9. Мікрофотографії чавунних поверхонь тертя:

а), в) – при використанні РС та РР; б), г) – при використанні МГЕ-46В;

1 – мікротвердість поверхневого шару чавуну 4844 МПа;

2 – мікротвердість сервовитної плівки при проявленні явища вибіркового переносу 1951 МПа

Вимірювання глибини наклепаного шару на поверхнях тертя модельних трібосистем дозволило побудувати залежності мікротвердості поверхні тертя  $H_c$  від глибини наклепаного шару  $h_m$ , які представлені на рис. 10.

З отриманих залежностей видно, що глибина наклепаного шару при використанні робочих рідин рослинного походження РС та РР порівняно з глибиною наклепаного шару при використанні робочої рідини МГЕ-46В зменшилась: для сталевого трібоелементу – на 42%, латунного трібоелементу – на 23% та чавунного трібоелементу – 27%, а мікротвердість збільшилась: для чавунного трібоелементу – на 3%, сталевого трібоелементу – на 7% та латунного трібоелементу – 15%. Дані результати свідчать про те, що робочі рідини рослинного походження РС та РР сприяють проявленню ефекту Ребіндера за рахунок високого вмісту олеїнової кислоти, яка являється потужною повернево-активною речовиною.

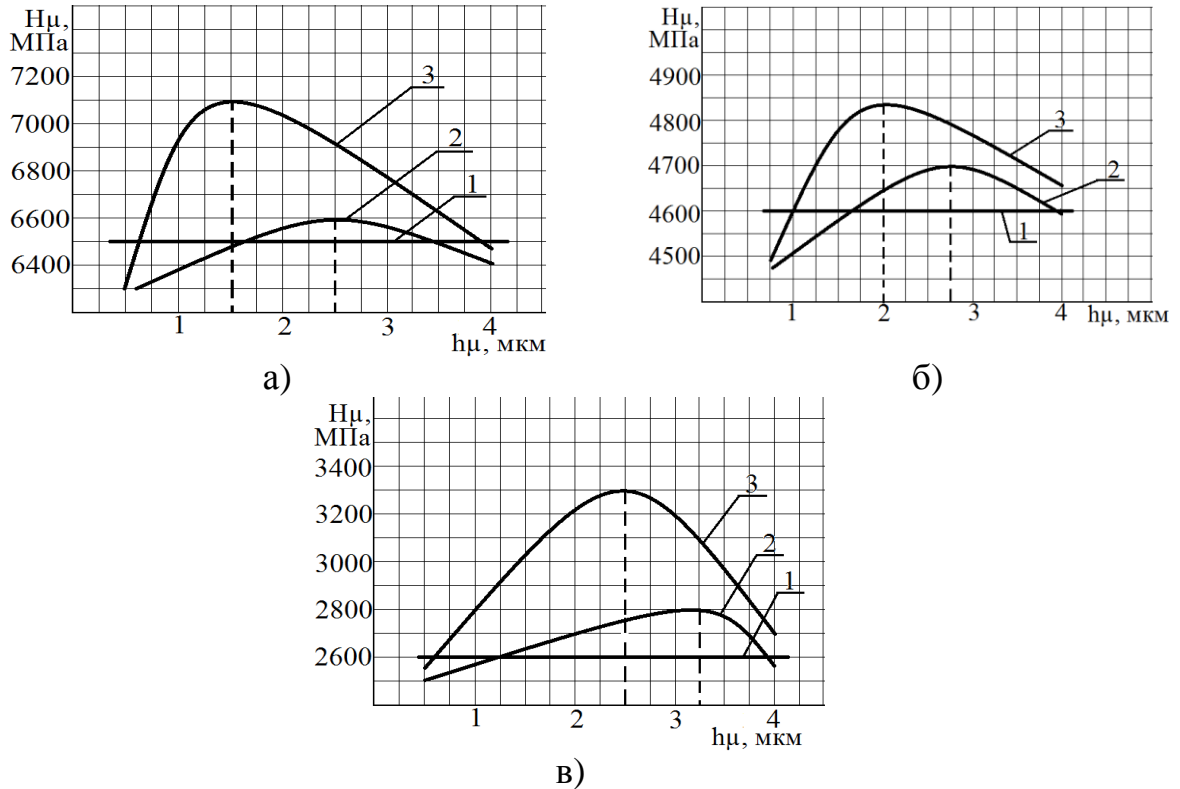


Рис. 10. Залежності мікротвердості поверхні тертя  $H_{\mu}$  від глибини наклепаного шару  $h_{\mu}$ : а) – для сталевго зразка; б) – для чавунного зразка; в) – для латунного зразка; 1 – базова мікротвердість; 2 – мікротвердість при використанні робочої рідини МГЕ-46В; 3 – мікротвердість при використанні робочих рідин рослинного походження РС та РР

Для підтвердження другої робочої гіпотези, яка полягала в тому, що робочі рідини на базі рослинних олій інтенсифікують та стимулюють проявлення явища вибіркового переносу, було проведено лабораторні дослідження хімічного аналізу поверхонь тертя модельних трібосистем при застосуванні різних робочих рідин.

З хімічного аналізу поверхні сталевго трібоелементу при використанні робочої рідини нафтового походження МГЕ-46В, рис. 11, було встановлено, що на поверхні тертя присутні такі хімічні елементи: Fe = 80,13%; P = 0,05%; C = 0,53%; O<sub>2</sub> = 16%; Cr = 1,71%, що є досить природним і залежить від структури основного матеріалу

Провівши хімічний аналіз тієї ж поверхні при використанні робочих рідин рослинного походження РС та РР, рис. 12, було встановлено, що спостерігається дещо відмінний від попереднього процентний склад хімічних елементів: Fe = 14,94%; P = 4,37%; Cu = 59,38%; O<sub>2</sub> = 20,51%; S = 0,5%. Високий вміст міді на поверхні свідчить про протікання процесів, що відбуваються при проявленні явища вибіркового переносу. Підвищення вмісту фосфору на поверхні, на нашу думку, обумовлене наявністю фосфоліпідів в робочих рідинах рослинного походження, які вступаючи в реакцію з поверхнею, утворюють фосфіди металу. Також спостерігалось утворення на сталевій поверхні тертя сірчистих сполук у вигляді сульфідів, що обумовлено наявністю в певному відсотковому співвідношенні сірки в ріпаковій олії, яка є базовою для робочої рідини РР.



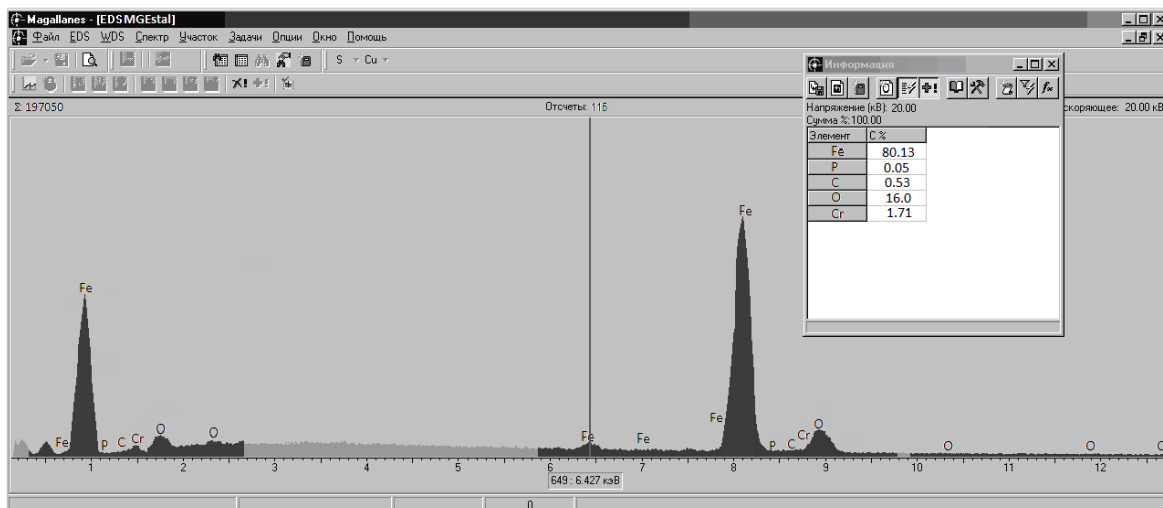


Рис. 11. Хімічний аналіз поверхні сталевого зразка при використанні робочої рідини МГЕ-46В

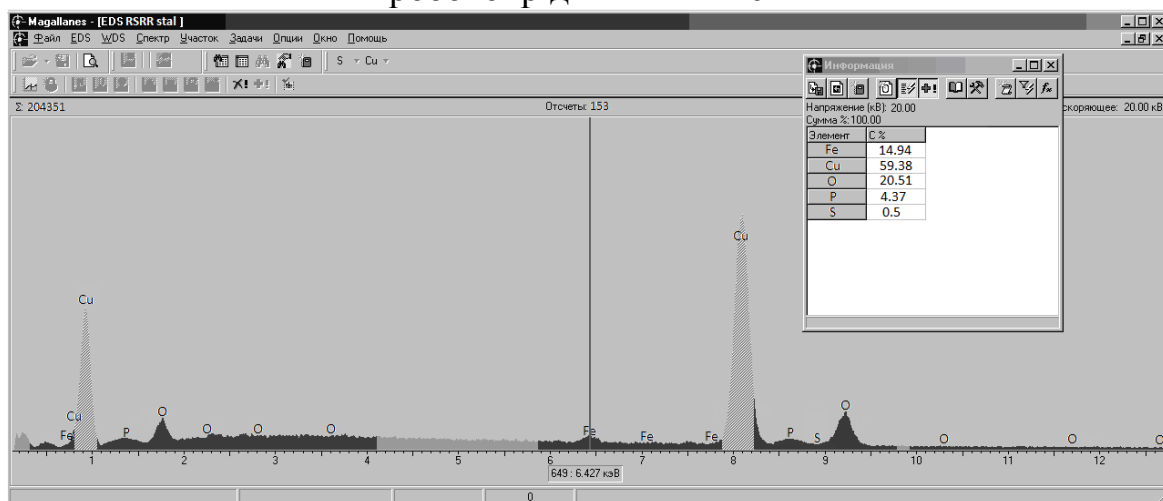


Рис. 12. Хімічний аналіз поверхні сталевого зразка при використанні робочих рідин РС та РР

Проявлення вибіркового переносу також підтверджено вимірюваннями шорсткості поверхонь тертя, що досліджувались на РС та РР в порівнянні з МГЕ-46В, результати яких приведено в табл. 5.

Таблиця 5

Значення шорсткості робочих поверхонь при використанні робочих рідин рослинного походження РС та РР та нафтового походження МГЕ-46В

Матеріал	Шорсткість, Ra		
	початкова	РС, РР	МГЕ-46В
Сталь ШХ15СГ-О-ОГ	0,20	0,26	0,37
Чавун ВЧ 500-3	0,20	0,62	0,73
Латунь ЛМцСКА 58-2-2-1-1	0,20	0,42	0,52

Розроблені рекомендації стосовно використання робочих рідин рослинного походження РС та РР в якості альтернативи нафтовій МГЕ-46В для експлуатації об'ємного гідроприводу типу ГСТ-90 з урахуванням схильності до піноутворення в результаті роботи циркуляційної системи.

Розрахований передбачуваний річний економічний ефект, який у масштабах Харківської області складе: при використанні робочої рідини рослинного походження РС – 524700 грн/рік, а при використанні робочої рідини рослинного походження РР – 235203 грн/рік.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлені нові науково обґрунтовані результати, які забезпечують вирішення актуальної науково-технічної проблеми – підвищення зносостійкості трібосистем гідромашин (ГСТ-90) шляхом використання робочих рідин на базі рослинних олій та дослідження тріботехнічних і трібохімічних процесів на поверхнях тертя.

1. На підставі аналізу літературних джерел, присвячених використанню мастильних матеріалів на базі рослинних олій, встановлено, що даний напрямок є перспективним. Показано, що в роботах по даній проблематиці не враховуються конструктивні особливості трібосистем та жирнокислотний склад рослинних олій. Виявлено, що мастильні матеріали відіграють важливу роль у формуванні різноманітних структур на поверхнях тертя, а також проаналізовано методики моделювання процесів тертя та зношування з подальшим використанням другої теореми подібності ( $\pi$ -теореми). Встановлено, що при проявленні явища вибіркового переносу мастильне середовище є одним з найважливіших чинників його інтенсифікації.

2. За результатами дисперсійного аналізу експериментальних випробувань різних типів олій вибрано базові рослинні олії – соняшникову та ріпакову з високим вмістом олеїнової кислоти (88% та 65% відповідно) та вирішена оптимізаційна задача стосовно введення певного відсоткового вмісту присадок, які забезпечують високі антикорозійні та протипінні властивості. Встановлено, що робочі рідини на рослинній основі РС та РР мають ідентичні трібологічні характеристики, які перевершують характеристики робочої рідини на нафтовій основі МГЕ-46В: за показником зносу  $D_i$  на 4,6%; за критичним навантаженням  $P_k$  на 21%.

3. Визначено тріботехнічні характеристики робочих рідин на базі рослинних олій РС та РР, які володіють високими протизносними та антифрикційними властивостями. Встановлено, що для модельних трібосистем гідростатичної трансмісії типу ГСТ-90 при використанні робочої рідини на базі рослинної олії РС значення швидкості зношування зменшилось на 18%, а при застосуванні робочої рідини РР – на 13% порівняно зі значенням швидкості зношування при застосуванні робочої рідини нафтового походження МГЕ-46В. Експериментально визначено, що сила тертя модельних трібосистем при застосуванні робочих рідин РС та РР зменшилась на 33% та 20% відповідно. Також значно зменшився час припрацювання модельних трібосистем при застосуванні робочих рідин РС на 35% та РР – на 28% в порівнянні з МГЕ-46В.

4. На основі методик фізичного моделювання були отримані критеріальні рівняння подібності, розраховані масштабні коефіцієнти переходу від природи до моделі для параметрів, що входять в критеріальні рівняння подібності. Встановлено, що значення швидкості зношування та сили тертя натурних трібосистем при застосуванні робочих рідин на базі рослинних олій РС та РР менші на 18,7% та 14,5% відповідно, в порівнянні із застосуванням робочої рідини нафтового походження МГЕ-46В.

5. Виявлено залежність мікротвердості від глибини наклепаного шару при використанні різних робочих рідин. Встановлено, що глибина наклепаного шару при використанні робочих рідин рослинного походження РС та РР

порівняно з глибиною наклепаного шару при використанні робочої рідини МГЕ-46В зменшилась: для сталевго трібоелементу – на 42%, латунного трібоелементу – на 23% та чавунного трібоелементу – 27%, а мікротвердість збільшилась: для чавунного трібоелементу – на 3%, сталевго трібоелементу – на 7% та латунного трібоелементу – 15%. Також виявлено зменшення шорсткості робочих поверхонь при використанні робочих рідин РС та РР порівняно з шорсткістю робочих поверхонь при використанні МГЕ-46В.

6. Визначено хімічний склад робочих поверхонь зворотних трібосистем за матеріалами та зворотних трібосистем за матеріалами та геометрією одночасно при використанні робочих рідин рослинного походження РС та РР, на яких виявлено формування структури в вигляді сервовитної мідної плівки з відсотковим вмістом міді на поверхні 59,38%. Виявлено та обґрунтовано схильність робочих рідин на базі рослинних олій РС та РР до проявлення та інтенсифікації явища вибіркового переносу, а саме, реакцій відновлення міді на сталевому та чавунному трібоелементах в вигляді тонких сервовитних плівок.

7. Розроблено рекомендації стосовно використання робочих рідин рослинного походження РС та РР в якості альтернативи нафтовій МГЕ-46В для експлуатації об'ємного гідروприводу типу ГСТ-90 та розрахований передбачуваний річний економічний ефект, який у масштабах Харківської області складе: при використанні робочої рідини рослинного походження РС – 524700 грн/рік, а при використанні робочої рідини рослинного походження РР – 235203 грн/рік.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **У фахових виданнях**

1. Кравцов А. Г. Аналіз перспектив використання та обґрунтування експлуатаційних вимог до рідких олив на базі рослинних олій / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Вип. 68: Технічний сервіс АПК, техніка та технології у с/г машинобудуванні. – С. 271 – 275.

2. Кравцов А. Г. Визначення трібологічних властивостей рослинних олій в порівнянні з нафтовими олівами / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Вип.75: Механізація с/г виробництва, Т. 1. – С. 382 – 386.

3. Кравцов А. Г. Перспективи використання біоолив у вузлах тертя сільськогосподарської техніки із забезпеченням надійності та екологічності експлуатації / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Вісник центру забезпечення АПВ Харківської області. – 2009. – Вип. 6. – С. 229 – 234.

4. Конструктивные мероприятия повышения ресурса основных трібосистем гидростатического привода ГСТ-90 / В. А. Войтов, Д. А. Великодний, Ю. И. Севрюков, А. Г. Кравцов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 76: Технічний сервіс АПК, техніка та технології у с/г машинобудуванні. – С. 54 – 58.

5. Кравцов А. Г. Забезпечення надійності та екологічності вузлів

сільськогосподарської техніки при експлуатації на біооливах / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 80: Проблеми надійності машин та засобів механізації с/г виробництва. – С. 199 – 203.

6. Кравцов А. Г. Трибологические свойства смазочных материалов на базе подсолнечного и рапсового масел / А. Г. Кравцов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 110: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – С. 265 – 271.

7. Кравцов А. Г. Трибологічні властивості технічних олив на базі соняшникової та ріпакової олій / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Проблеми трибології. – 2011. – № 4. – С. 87 – 91.

8. Кравцов А. Г. Застосування робочих рідин на базі рослинних олій для підвищення надійності та екологічності при експлуатації об'ємних гідроприводів / А. Г. Кравцов // 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. 180 – 186.

#### **Патенти та заявки на винахід**

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

#### **Матеріали і тези конференцій**

10. Кравцов А. Г. Порівняльний аналіз та перспективи використання рідких олив та робочих рідин на базі рослинних олій в вузлах с/г техніки / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Підвищення надійності машин і обладнання: III Всеукраїнська наук.-практ. конф., 15 квітня 2009 р.: тези доповідей студентів, магістрантів та аспірантів. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 77 – 78.

11. Кравцов А. Г. Обоснование эксплуатационных требований к использованию масел и рабочих жидкостей на базе растительных масел в узлах сельскохозяйственной техники / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения: XIII междунар. науч.-производ. конф., 19 – 22 мая 2009 г.: материалы. – Белгород: БГСА, 2009. – С. 187.

#### **У закордонних виданнях**

12. Кравцов А. Г. Оценка трибологических и эксплуатационных свойств рабочих жидкостей на основе растительных масел / В. А. Войтов, А. Г. Кравцов // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК. – Минск: БГАТУ, 2013. – С. 96 – 105.

#### **АНОТАЦІЯ**

**Кравцов А. Г. Підвищення зносостійкості трібосистем гідромашин використанням робочих рідин рослинного походження.** – 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 України, Харків, 2013.

Дисертаційна робота направлена на підвищення зносостійкості трібосистем гідромашин при використанні робочих рідин рослинного походження та розробку практичних рекомендацій щодо їх експлуатації з метою підвищення ресурсу та екологічності експлуатації. Обрані базові рослинні олії для виготовлення робочих рідин, визначені їх основні фізико-хімічні показники та трибологічні характеристики.

В роботі отримані залежності триботехнічних характеристик прямих та зворотних трібосистем при застосуванні робочих рідин на базі рослинних олій – соняшникової та ріпакової. Отримані критеріальні рівняння подібності, розраховані масштабні коефіцієнти переходу від натури до моделі для параметрів, що входять в критеріальні рівняння подібності. Встановлено, що застосування робочих рідин рослинного походження призводить до зниження швидкості зношування, сили тертя та часу припрацювання трібосистем за рахунок високого вмісту олеїнової кислоти.

За допомогою трибохімічних досліджень та аналізу поверхонь тертя встановлено, що у зворотних трібосистемах за матеріалами та за геометрією відбулось помітне зменшення глибини наклепаного шару та підвищення мікротвердості поверхні. Виявлено схильність робочих рідин на базі соняшникової та ріпакової олій до проявлення та інтенсифікації явища вибіркового переносу, а, саме, реакцій відновлення міді на сталевому та чавунному трибоелементах в вигляді тонких сервовитних плівок.

*Ключові слова:* мастильні матеріали на базі рослинних олій, прямі та зворотні трібосистеми, швидкість зношування, сила тертя, вибіркового перенос, фізичне моделювання, критерії подоби.

## АННОТАЦІЯ

**Кравцов А.Г. Повышение износостойкости трібосистем гидромашин использованием рабочих жидкостей растительного происхождения.** – 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 Мінагрополітики України, Харьков, 2013.

Диссертационная работа направлена на повышение износостойкости трібосистем гидромашин при использовании рабочих жидкостей растительного происхождения и разработку практических рекомендаций по эксплуатации гидромашин с целью повышения ресурса и экологичности эксплуатации.

Выбраны базовые растительные масла для изготовления рабочих жидкостей с высоким содержанием олеиновой кислоты, определены их основные физико-химические показатели и трибологические характеристики. В работе получены зависимости триботехнических характеристик прямых и обратных трібосистем при применении рабочих жидкостей на базе

растительных масел – подсолнечного и рапсового, в сравнении с товарными нефтяными и синтетическими.

Полученные критериальные уравнения подобия, рассчитаны масштабные коэффициенты перехода от природы к модели для параметров, входящих в критериальные уравнения подобия. С помощью методики физического моделирования установлено, что применение рабочих жидкостей растительного происхождения приводит к снижению скорости изнашивания, силы трения и времени приработки трибосистемы за счет высокого содержания олеиновой кислоты, которая является мощным поверхностно-активным веществом.

С помощью трибохимических исследований и анализа поверхностей трения установлено, что в обратных трибосистемах по материалам, и обратных трибосистемах по материалам и геометрии одновременно произошло заметное уменьшение глубины наклепанного слоя и повышение микротвердости поверхности. Выявлено склонность рабочих жидкостей на базе растительных масел – подсолнечного и рапсового, к проявлению и интенсификации явления избирательного переноса, а, именно, реакций восстановления меди на стальном и чугунном трибоэлементах в виде тонких сервовитных пленок.

*Ключевые слова:* смазочные материалы на базе растительных масел, прямые и обратные трибосистемы, скорость изнашивания, сила трения, избирательный перенос, физическое моделирование, критерии подобия.

## ABSTRACT

**Kravtsov A.H. Increase of wear resistance in tribosystems of hydraulic machines during the use of phytogetic hydraulic fluids.** – Manuscript.

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, 2013.

The thesis deals with increase of wear resistance in tribosystems of hydraulic machines during the use of phytogetic hydraulic fluids and development of practical recommendations as to their application with the purpose of resource increase and ecological compatibility of operation.

The interdependence between tribotechnical features of direct and reverse tribosystems during the use of phytogetic hydraulic fluids (sunflower or rape seeds) has been revealed. The simulation criterion equations, as well as scale factors for life-to-model transition for parameters which are a part of simulation criterion equations have been developed. The application of phytogetic hydraulic fluids causes has been found to decrease in wear rate, friction force and the term of tribosystem burn-in due to high oleic acid content.

By means of tribochemical investigations and analysis of friction surfaces it has been established that visible reduction of cold-hardening depth and increase in surface microhardness took place in reverse tribosystems according to the factors of geometry and materials. The disposition of hydraulic fluids on the base of sunflower and rape seed oils to wear-free transfer, in particular copper layer restoration on the steel and cast iron triboelements in the form of protective (servovite) film, has been revealed.

*Key words:* vegetable oil based lubricants, direct and reverse tribosystems, wear rate, friction force, wear-free transfer, physical simulation, simulation criterion.

Відповідальні за випуск Левкін А.В.

Підписано до друку «26» вересня 2013р.

Комп'ютерний набір та верстка Постољна В.В.

Формат паперу 60x84 1/16. Умов. друк. арк. 0,9. Папір офсетний 80 г/м.

Тираж 150 пр.

Замовлення № 27/2013

Різограф TR 1510 № 80654645

Навчально-методичний відділ Харківського національного технічного  
університету сільського господарства імені Петра Василенка

Адреса редакції та поліграфпідприємства:

61002, м. Харків, вул. Артема 44, кім. 101.