

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАУКОВА РОБОТА

**НА ТЕМУ: «ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНО
БЕЗПЕЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОТИЗНОСНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИЗЛЬНИХ ПАЛИВ»**

Шифр роботи «Альтернативний дизель»

Київ 2020

Анотація

Наукова робота «Дослідження використання екологічно безпечних компонентів для підвищення протизносних властивостей дизельних палив»: 25 сторінок, 10 рисунків, 1 таблиця, 16 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – підвищення протизносних властивостей дизельних палив.

Предмет дослідження – сумішеві дизельні палива на основі природних біокомпонентів.

Мета роботи – дослідити протизносні властивості різних сумішей дизельних палив на основі метилових та етилових естерів жирних кислот ріпакової олії.

Завдання наукової роботи:

- дослідити вплив дизельних палив на надійність роботи двигунів;
- проаналізувати загальновідомі методи дослідження протизносних властивостей дизельних палив;
- експериментально дослідити протизносні властивості сумішевих дизельних палив на основі метилових та етилових естерів жирних кислот ріпакової олії;
- порівняти протизносні властивості сумішевих дизельних палив отриманих на основі метилових естерів жирних кислот ріпакової олії з дизельними паливами отриманими на основі етилових естерів жирних кислот ріпакової олії.

Методи дослідження: монографічний, методи системного аналізу, спектроскопічні та стандартні випробування на тертя та зношування.

Експеримент:

Експериментальні дослідження було проведено в лабораторії УкрНДНЦ хімотології і сертифікації ПММ і ТР Національного авіаційного університету.

Особистий внесок: безпосередньо проводив дослідження на лабораторній установці.

Ключові слова: дизельне паливо, протизносні властивості, метилові естери, етилові естери, енергетична взаємодія, інтенсивність зношування.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 4 |
| 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ..... | 5 |
| 1.1. ВЛАСТИВОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПАЛИВ..... | 5 |
| 1.2. ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ ТА МЕТОДИ ЇХПІДВИЩЕННЯ. | 12 |
| 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПОНЕНТІВ НА ОСНОВІ РОСЛИННИХ ОЛІЙ НА ПІДВИЩЕННЯ ПРОТИЗНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ. | 15 |
| 2.1. МЕТОД ОТРИМАННЯ КОМПОНЕНТІВ..... | 15 |
| 2.2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. | 15 |
| ВИСНОВКИ..... | 24 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 25 |

ВСТУП

Складовою частиною ефективності використання літальних апаратів є забезпечення високої регулярності польотів.

Під регулярністю польотів розуміють відношення кількості польотів, які здійснені за розкладом, до загальної кількості польотів, запланованих за один і той же період часу. Затримки і відміни польотів можуть бути з різних причин. При цьому кількість випадків затримок і відмін у зв'язку з технічними причинами через несправність конструкції і систем літального апарата, тобто його ненадійності, повинна бути мінімальною.

Крім того, час на підготовку літака між попереднім і наступним польотами також має бути мінімальним. Чим менший цей час, тим менша ймовірність своєчасного виявлення й усунення можливої несправності.

До числа основних напрямків підвищення ефективності використання автомобілів відносяться:

- підвищення безвідмовності та експлуатаційної технологічності систем АТ;
- збільшення ресурсів і термінів служби елементів та систем АТ, зменшення обсягу робіт і простоїв під час технічного обслуговування і ремонту АТ;
- впровадження автоматизованих систем управління процесами обслуговування та ремонту АТ і т.п.

1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ РОБОТИ НИХ ДВИГУНІВ.

1.1. ВЛАСТИВОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ



Рис. 1.1. Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин

Простою і найбільш розповсюдженою різновидністю допустимого зношування є окисне (окислювальне) зношування. Воно має кілька форм, а його кількісні параметри можуть змінюватися в певних межах.

Взаємодія активованих пластичною деформацією поверхневих шарів металів з різними агресивними компонентами рідких і газових середовищ може призвести до утворення вторинних захисних структур іншого складу – на основі сірки, фосфору, азоту, вуглецю тощо. Цей загальний комплекс явищ, пов'язаних з деформацією, текстуруванням поверхневих об'ємів

металу, подальшою взаємодією з хімічно активними компонентами робочого середовища і руйнуванням утворених структур, складає механохімічне зношення.

До проміжних процесів руйнування можна віднести деякі форми абразивного зношення без зняття стружки і пошкодження дряпанням.

До патологічних процесів руйнування поверхонь відносять: процеси, які безпосередньо пов'язані з тертям (схоплення I і II роду, абразивне зношення з пошкодженням поверхонь контакту – зняттям мікростружки, втомне пошкодження, фретінг-процес) і побічно пов'язані з тертям (змінання, ерозія, кавітація, ерозія). Патологічні явища – це своєрідні, яскраво виражені види руйнування поверхні, що виникають при порушенні нормальних умов зовнішнього тертя. Перехід до патологічних процесів відбувається стрибкоподібно при досягненні деяких критичних умов.

Механохімічне окисне зношення – це процес поступового руйнування поверхонь тертя деталей вузлів або зразків при терті, який викликається взаємодією активних пластично деформованих (текстурованих) поверхневих шарів металу з атомами кисню, сірки, фосфору, хлору, азоту, вуглецю та іншими, що містяться в середовищі та адсорбуються на робочій поверхні. Взаємодія поверхневих шарів металу з киснем у повітрі або в мастилі, спричиняє окислювальне зношення як різновид механохімічного зношення. Окисне (окислювальне) зношення відбувається у випадку, коли на поверхнях дотику утворюються плівки окислів (твердих розчинів – вторинні структури I типу і хімічних з'єднань металу з киснем – вторинні структури II типу), які в процесі тертя руйнуються і знову утворюються. Продукти зношення складаються з окислів. Окисне зношення – встановлений стаціонарний процес динамічної рівноваги руйнування і відновлення окисних плівок вторинних структур.

При цьому виді зношення швидкість окислення ($v_{ок}$) перевищує швидкість інших процесів, що протікають на поверхнях тертя, тобто окислення, є переважаючим (домінуючим). Міцність плівок вторинних

структур, що утворюються, забезпечує стале протікання цього виду зношування, швидкість руйнування плівок не перевищує швидкість окислення ($\vartheta_{ок} > \vartheta_{руйн.}$).

Спільним для вторинних структур обох основних типів є їхня поверхнево-локалізація, високоміцна ультра дисперсна будова, здатність мінімізувати руйнування поверхневого шару й екранувати неприпустимі процеси захоплення, втомленості, корозії тощо.

Окисне (окислювальне) зношування характеризує нормальні умови експлуатації вузлів тертя. Окисні процеси як супутні спостерігаються і при інших видах зношування і пошкодженості поверхонь тертя. Деформаційні й окислювальні процеси відбуваються в дуже тонких поверхневих шарах порядку 10...100 нм.

Найчастіше механохімічне зношування спостерігається при терті сполучених деталей, виготовлених з різних металів і сплавів на основі твердих розчинів з гетерогенною структурою або підвищеними твердістю і границею текучості. Цей вид зношування характерний для деталей шарнірно-болтових з'єднань, калібрів, металевих коліс, фрикційних передач, чашок варіаторів, тяг механізмів керування тощо.

Окисне зношування має кілька форм. Залежно від умов, виду тертя, швидкості відносного переміщення, тиску, динамічності навантаження, температури, складу середовища, механічних і хімічних властивостей матеріалів, що труться, характер та інтенсивність окисних процесів змінюється. Перша форма окисного зношування характеризується утворенням на поверхнях тертя твердих розчинів кисню і тонких евтектик його з'єднань з металом. Друга форма – утворенням хімічних з'єднань кисню з металом (для сталі – FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄). У першому випадку характерне в'язке руйнування поверхонь контакту, а в другому – в'язко-крихке.

В умовах наявності абразивного середовища окислення і руйнування поверхонь інтенсифікується внаслідок великої концентрації напружень у локальних об'ємах металу. Особливості цієї форми окисного зношування

розглянуто далі.

Нормальне окисне зношування виникає при терті ковзання і кочення, присухому терті і граничному змащуванні.

Питомі тиски при окисному зношуванні не перевищують критичних значень, за яких відбувається руйнування мастильної плівки при граничному терті, або величин, які визивають інтенсивне руйнування захисних вторинних структур окислів і контактування ювінільних поверхонь при сухому терті.

Інтенсивність зношування може бути значною, але поверхні тертя зберігають малу шорсткість. Це пояснюється тим, що окисли перешкоджають захопленню поверхонь. При значних температурах окислення поверхня характеризується пластичною деформацією. Тому одним із методів боротьби зокисним зношуванням є створення поверхонь тертя з високою твердістю.

Підвищення температури до певних значень сприяє утворенню і зростанню окисних плівок, а вібрації – їх руйнуванню. У випадку циклічного утворювання окислів високої твердості зношування буде носити характер абразивного.

Окисне зношування може виникати при терті металів і сплавів з різними механічними й хімічними властивостями. Основні кількісні характеристики – інтенсивність зношування і коефіцієнт тертя, за різних форм і умов окисного процесу, залежить від специфіки окисних змін.

Окисне зношування є найважливішою різновидністю механохімічного зношування, загальною особливістю якого є те, що в усіх випадках воно зумовлене механічним процесом деформації тонких поверхневих шарів і одночасною взаємодією активних деформованих шарів з агресивними компонентами середовища.

Поряд з окисним існує ряд різновидів механохімічного зношування, які відрізняються утворенням у процесі тертя сульфідних, фосфатних та інших видів плівок вторинних структур, які виконують таку ж роль, як і плівки окислів.

Схоплювання і заїдання поверхонь при терті. Під час роботи машин і механізмів, вузли тертя яких передають великі навантаження за високих швидкостей ковзання і температур, виникає заїдання – процес виникнення і розвитку пошкоджень поверхонь тертя внаслідок схоплювання і перенесення матеріалу.[3]

Схоплювання – явище місцевого з'єднання двох твердих тіл (металів) у результаті взаємного тертя або сумісного деформування при температурі, нижчій від температури рекристалізації. При цьому утворюються міцні кристалічні зв'язки в зонах безпосереднього контакту поверхонь. У місцях схоплювання зникає межа між тілами, що дотикаються, і відбувається зношування металів. Процеси схоплювання безпосередньо зв'язані з адгезією і когезією. Адгезія супроводжується перенесенням матеріалу і постерігається в усіх металів під час контакту їхніх незабруднених поверхонь.

Вивченню явища схоплювання і методів боротьби з ним присвячено праці Б.І. Костецького, В.Д. Кузнєцова, М.Л.Голего, І.В. Крагельського, М.О. Буше тощо.

Встановлено, що на інтенсивність розвитку процесів схоплювання впливають фізичні, хімічні, механічні властивості матеріалів, геометрія поверхонь тертя, фізико-хімічні властивості середовища.

На явищі схоплювання при сумісному пластичному деформуванні металів базуються технологічні процеси холодного зварювання металів і отримання біметалів методом холодного прокатування тощо.

В умовах вакууму без газового або рідинного середовища зовнішнє тертя приводить до міцної адгезійної взаємодії двох поверхонь – їх зварювання. Узв'язку з цим з'явився технологічний процес зварювання у вакуумі, а з 1936 р. почалися роботи із забезпечення працездатності вузлів тертя, експлуатованих в умовах вакууму.

Задир – пошкодження поверхні тертя і утворення в результаті схоплювання широких і глибоких борозен (рівчаків) з витісненням металу як в сторони, так і в напрямку ковзання. На поверхнях тертя може утворитися і

кілька борозен.

Розрізняють процеси схоплювання I і II родів, відмінних умовами роботи.

Схоплювання I роду – процес недопустимого пошкодження поверхонь тертя в результаті виникнення локальних металічних зв'язків, їх деформації і руйнування з відокремлення частинок металу або налипанням на поверхню контакту. При цьому виді пошкоджуваності швидкість процесу утворення металічних зв'язків перевищує швидкість інших процесів і стає переважаючим. Виникнення металічних зв'язків відбувається при інтенсивній деформації поверхневих об'ємів металу, зумовленої термічною пластичністю.

Пластична деформація в цих умовах призводить до зміни стану поверхні, руйнування плівок окислів і адсорбованих плівок мастила, виходу на поверхню ювенильних ділянок. У результаті деформації відбувається активізація металу поверхневих шарів. Унаслідок схоплювання частинки металу вириваються на одних ділянках поверхонь і налипають на інші ділянки, що призводить доношування поверхні деталей, а в окремих випадках відбувається їх заїдання.

Заїдання – процес виникнення і розвитку пошкоджень поверхні тертя внаслідок схоплювання і перенесення матеріалу.

Схоплювання I роду або холодний задир виникає при терті ковзання з малими швидкостями відносного переміщення і питомим тиском, які перевищують границі плинності (текучості) металу на ділянках фактичного контакту за відсутності шару мастила або захисних плівок окислів в умовах незначного підвищення температур, які призводять до інтенсивного пластичного деформування, руйнування й вдосконалення частинок металу з поверхонь тертя, внаслідок схоплювання металів, що являє собою процес міцного зєднання контактних ділянок сполучених поверхонь. У вакуумі, починаючи відступеня розрідження ($1,33 \cdot 10^{-3}$), цей вид пошкоджуваності може виникати і притерті кочення. Процес схоплювання суттєво залежить від механічних і фізичних властивостей матеріалів, їх співвідношень, міцності,

твердості, типу кристалічної ґратки, взаємного розчинення, електронної будови і т.п.

Схоплювання I роду або холодний задир є один з найнебезпечніших і різко виражених видів пошкоджуваності деталей машин.

У практиці роботи деталей машин цей патологічний процес зовсім небажаний. Для його усунення необхідні дані про критичні значення величин тиску, швидкості та природи процесу. Особливо небезпечні прояви атермічного схоплювання, що виникають при динамічному навантаженні поверхонь і розвитку фретінг-процесу.

Схоплювання II роду – процес недопустимого пошкодження поверхонь тертя, викликаний утворенням місцевих металічних зв'язків, їх деформацією і руйнуванням, який виражається в утворенні тріщин, намащуванні, перенесенні металу і відокремленні частинок з поверхонь тертя. Виникнення металічних зв'язків при цьому зумовлене нагріванням, пом'якшенням, деформацією і контактуванням ювінільних поверхонь. Виділення теплоти вище значень, допустимих для даних матеріалів, зумовлює їх деформацію, вихід ювінільних ділянок і наближення поверхонь на відстань між атомних радіусів.

Схоплювання II роду, або гарячий задир, виникає й розвивається при терті ковзання за великих швидкостей відносно руху і підвищених питомих тисків, що зумовлює високий градієнт й інтенсивність зростання температури в поверхневих шарах металів та їх термічну пластичність. Термічна пластичність викликає втрату міцності, явища відпуску і плавлення. При цьому утворюються структури рекристалізації, відпуску, гартування і вторинного гартування, структурних змін і фазових перетворень, до різкої зміни механічних властивостей. Схоплювання II роду може проявлятися при сухому терті і граничному змащуванні. При граничному терті воно виникає при високих швидкостях ковзання й тиску і пов'язано з попередніми процесами десорбції мастила. Схоплювання II роду більшою мірою залежить від теплофізичних властивостей матеріалів, теплостійкості, твердості,

теплоємності й теплопровідності. Воно виникає при терті металів з різними механічними властивостями. У групі сталей цей вид захоплювання найхарактерніший для загартованих матеріалів.

У практиці роботи деталей машин захоплювання II роду найчастіше виникає в тих спряженнях, робота яких пов'язана зі стійким граничним змащуванням. Ця умова порушується при припиненні регулярного підведення мастила.

1.2. ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ ТА МЕТОДИ ЇХ ПІДВИЩЕННЯ

Основні фактори, що впливають на термоокиснювальну стабільність палива. Реакційна здатність вуглеводнів різних класів відносно кисню повітря за кімнатної температури показала, що, залежно від природи і будови, вони здатні (більшою чи меншою мірою) до окиснення в присутності не вуглеводневих компонентів – ініціюють їх автоокиснення. Особливо інтенсивно ця реакція протікає при підвищенні температури, що характеризує паливну систему літаків. В умовах підвищених температур деякі компоненти палива стають термічно нестійкими, наслідком чого є інтенсивне утворення осаду і підвищення корозійної активності, що призводить до забивання паливопроводів, а також зносу плунжерної пари паливного агрегату.

На термічну стійкість палива, крім температури, можуть впливати метали, що застосовуються для виготовлення паливної апаратури двигунів: мідь, бронза, латунь, леговані сталі та ін. Ці метали за високих температур є каталізаторами процесів окиснення палива.

Наявність смол у паливі призводить до збільшення утворення осаду. Причому негативна роль смолистих речовин виявляється тільки при досягненні певної їх концентрації, нижче за яку присутність смол викликає підвищення стабільності та підсилює протикорозійні властивості палив для реактивних двигунів. Така інгібуюча дія смол пояснюється наявністю в них деяких сірко-, азото- і кисневмісних сполук.

Вилучення з палив азотовмісних сполук сприяє підвищенню термоокиснювальної стабільності палив.

З вуглеводневих компонентів найбільш термічностійкими є алканоцикланові вуглеводні. Присутність ароматичних вуглеводнів, особливо бі- і поліциклічних, сприяє збільшенню кількості утворюваного осаду. З ненасичених вуглеводнів найбільш низька термічна стабільність у алкенілароматичних вуглеводнів.

Термоокиснювальна стабільність – стійкість палив до окиснення з утворенням смолистих відкладень при підвищених температурах.

Ця експлуатаційна властивість палив характерна для реактивних двигунів з паливними системами, де паливо нагрівається до 100–120°C. У цих умовах спостерігається інтенсивне окиснення деяких сполук палива з утворенням смолистих відкладень.

Частина цих смолистих відкладень не розчиняється в паливах і може призвести до забивання фільтру і відмови двигуна.

Вимоги з термоокиснювальної стабільності характеризується двома показниками:

- термоокиснювальна стабільність у статистичних умовах;
- термоокиснювальна стабільність у динамічних умовах.

Разом з тим, ряд експлуатаційних властивостей палив не тільки не вдається поліпшити, але, навпаки, якоюсь мірою, вони погіршуються. Так, практично повне вилучення гетероорганічних сполук позбавляє паливо природних інгібіторів окиснення: вуглеводневі компоненти палив піддаються легшому окисненню і смолоутворенню в умовах зберігання; протизносні властивості, залежні від присутності поверхнево-активних речовин (нафтових кислот), значно погіршуються. Тому для задоволення вимог, що висуваються до якості масових палив для реактивних двигунів як прямогонних, так і вторинного походження, широко застосовуються присадки, що у вигляді індивідуальних сполук або різних композицій поліпшують одну або декілька експлуатаційних властивостей (поліфункціональні присадки).

Отже, до палив дизельних двигунів двигунів висуваються такі основні вимоги:

- достатня випаровуваність для забезпечення повноти згорання;
- висока повнота і теплота згорання, що визначають дальність польоту;
- задовільна прокачуваність і низькотемпературні властивості для забезпечення подачі палива в камеру згорання;
- низька здатність до утворення відкладень, що характеризується високою хімічною та термоокиснювальною стабільністю;
- задовільна сумісність з матеріалами: низькі антикорозійні властивості відносно металів і відсутність впливу на гумовотехнічні вироби;
- задовільні протизношувальні властивості, що зумовлюють невелике зношення деталей паливної апаратури;
- задовільні антистатичні властивості, що запобігають накопиченню зарядів статичної електрики та забезпечують пожежну безпеку під час заправлення літаків.

2. ВИКОРИСТАННЯ КОМПОНЕНТІВ НА ОСНОВІ РОСЛИННИХ ОЛІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОТИЗНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ.

2.1. МЕТОД ОТРИМАННЯ КОМПОНЕНТІВ

Під час проведення експерименту було досліджено змащувальну здатність дизельного палива, трьох видів біокомпонентів, а також їх сумішей з дизельним паливом. Біокомпоненти були представлені сумішшю метилових естерів жирних кислот (МЕЖК) ріпакової олії, що відповідають вимогам EN 14214 [10], а також метиловими (МЕЖК(М)) та етиловими (ЕЕЖК(М)) естерами ріпакової олії, спеціально модифікованими для застосування як компонента палив для дизельних двигунів. Модифікація проводилася вакуумним фракціонуванням відповідно до розробленої технології [4]. Зразки паливних сумішей містили зазначені біокомпоненти у кількості 10%, 20%, 30%, 40% та 50%.

2.2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зазвичай протизносні властивості палив для дизельних двигунів оцінюються за величиною зносу характерної пари тертя. Знос в середовищі певного виду палива однієї довільної пари тертя не може характеризувати змащувальні властивості цього палива однозначно. Зміна матеріалу деталей, режимів випробувань та інших факторів може істотно вплинути на знос поверхонь тертя. У зв'язку з цим, оцінка протизносних властивостей проводиться за жорсткорегламентованих умов [5, 8, 11].

У міжнародній практиці протизносні властивості палив для дизельних двигунів оцінюються відповідно до стандарту ASTM D5001. Прилад для визначення зносостійкості за схемою «кулька по циліндру» (Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator – BOCLE) відповідно до ASTM D5001 імітує окисно-корозійний тип зношування. Протизносні властивості оцінюються кількісно за величиною діаметру плями зносу досліджуваної пари тертя. У той же час було

розроблено та запропоновано прилад SLBOCLE, призначений для прогнозування та оцінки протизадирних властивостей палив визначенням навантаження до задиру. Крім того, протягом останніх 40 років було розроблено багато інших механізованих стендів для визначення змащувальних властивостей палив для дизельних двигунів. Тим не менше, більшість з них не здатні імітувати найбільш важливий тип зносу, що має місце в паливних системах ПС [2, 6].

Протизносні властивості зразків палива було досліджено за допомогою чотирикулькової машини T-02U, що складається з випробувального приладу та системи контролю. Механічна частина (випробувальний прилад) представлено на рис. 1; вона включає в себе корпус, двигун, регулюючий навантаження на пару тертя привід, чашудля розміщення кульок і основу. Пара тертя (рис. 2) складається з трьох нижніх кульок, встановлених в затискач з навантаженням відповідної сили, що прикладена до верхньої кульки, встановленої на шпинделі, що обертається з заданою швидкістю [12].

Для випробувань було використано типові шарикопідшипники діаметром 1/2 дюйма. Підшипники виготовлені з підшипникової сталі GCR15 з твердістю $60 \div 65$ HRC. Механічна система дозволяє збільшувати лінійне навантаження, що прикладається до пари тертя під час випробування. Система контролю складається з блоку управління з мікропроцесором, асинхронним контролером двигуна та комп'ютеру з відповідним програмним забезпеченням [12].

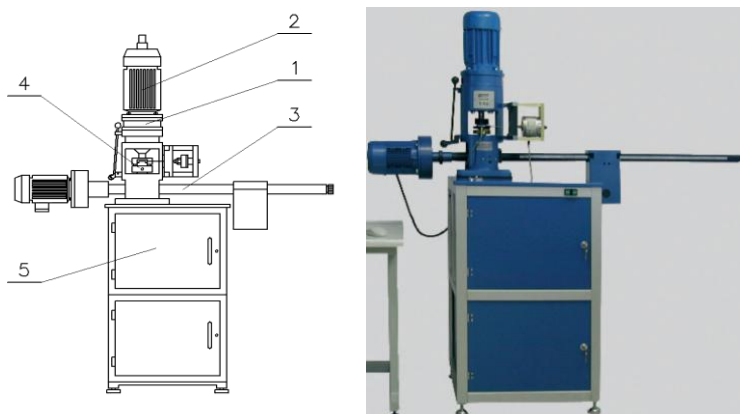


Рис. 2.1. Чотирикулькова машина T-02U [26], 1 - корпус, 2 - двигун, 3 привід, регулюючий навантаження на пару тертя, 4 - чаша для розміщення кульок, 5 – основа

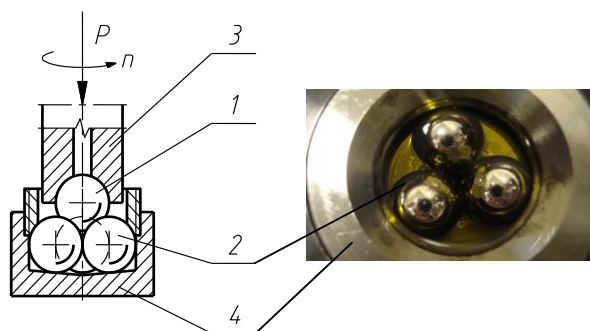


Рис. 2.2. Пара тертя чотири кулькової машини[26], 1 - верхня кулька, 2 - нижні кулки 3 - пружинний затиск, 4 - чаша для розміщення кульок

Випробування проводилися в умовах поступового збільшення навантаження. Швидкість обертання під час випробувань становила 500 обертів на хвилину, за швидкості підвищення навантаження 409 Н/с. Температура зразків палив на початку дослідження становила $60 \pm 0,5$ °С. В рамках даного дослідження, задирання пари тертя відбувається тоді, коли перевищується граничний момент тертя $M_T = 10$ Нм. Ця величина визначається за міцністю верхньої кульки у парі тертя. Значення моменту тертя M_T та лінійно зростаючого навантаження P на пару тертя фіксуються під час тесту.

Принцип методу полягає у визначенні навантаження задирання та граничного навантаження до задирання прикладених до пари тертя (рис. 3) [12]. Навантаження P в точці 1, де значення моменту тертя починає різко зростати, називається навантаженням задирання і позначається як P_S . Точка 2 є точкою задиру; в цей момент досягається граничний момент тертя M_T , рівний 10 Нм. Навантаження P в точці 2 називається граничним навантаженням задирання $P_{ГЗ}$.

Отже, зразок палива з найбільшим прикладеним навантаженням задирання вважається таким, що має кращі протизносні властивості. Іншими словами, це означає, що гранична плівка цього зразка палива продемонструвала найбільш високу стійкість до руйнування.

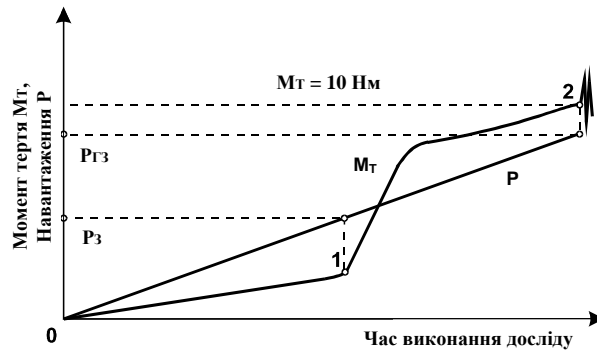


Рис. 2.3. Спосіб визначення навантаження задирання P_3 і граничного навантаження до задирання, $P_{ГЗ}$ [2]: 1 - точка ініціації задирання, 2 – точка задиру

На рисунках 5–7 представлено криві моменту тертя, навантаження на парутертя та коефіцієнту тертя, що вимірювалися під час дослідів. Для кожного випробовуваного зразка було визначено навантаження задирання, що характеризує критерій для оцінки змащувальних властивостей палив згідно обраної методики досліджень.

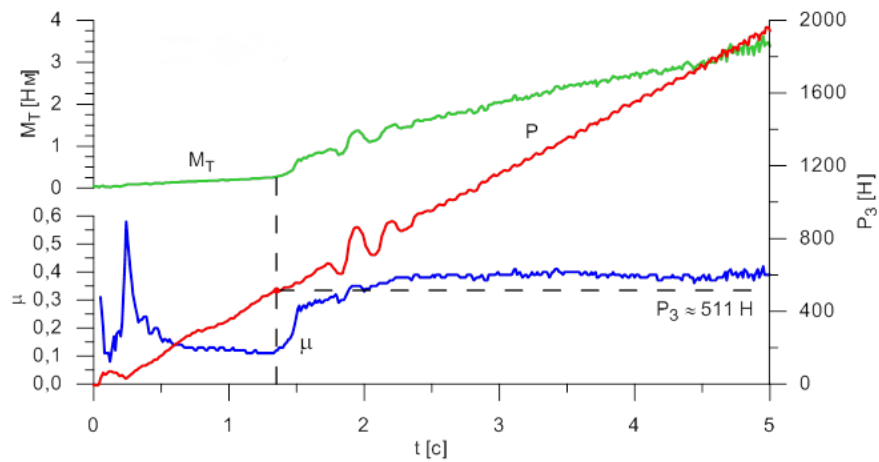
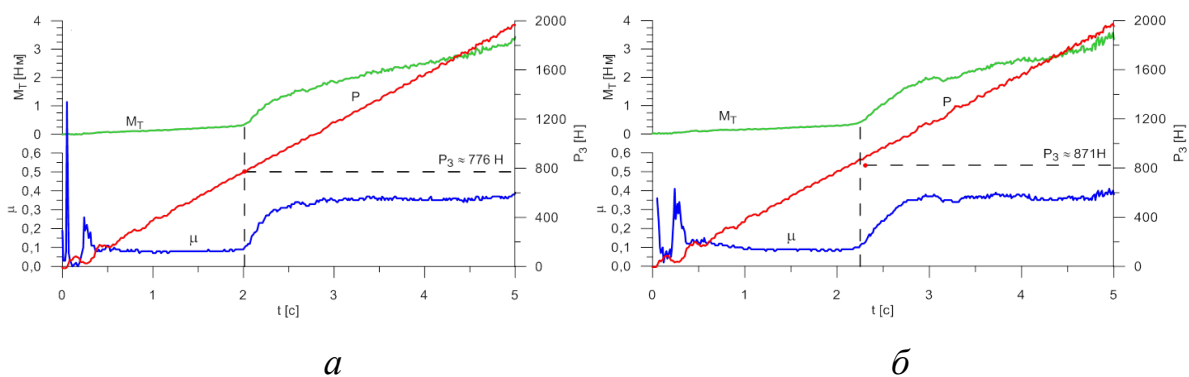


Рис. 2.4. Залежність зміни сили навантаження на пару тертя P , моменту тертя M_T та коефіцієнту тертя μ від часу проведення дослідів t для палива ДП



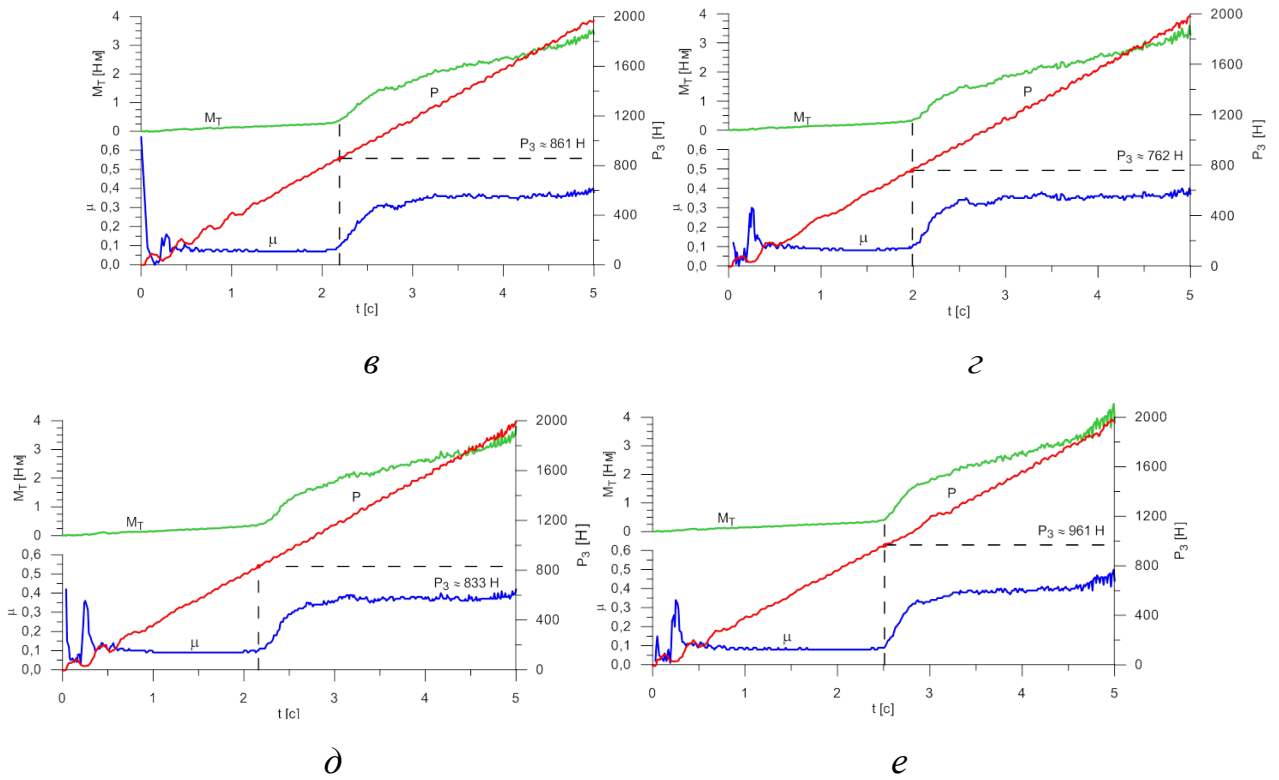
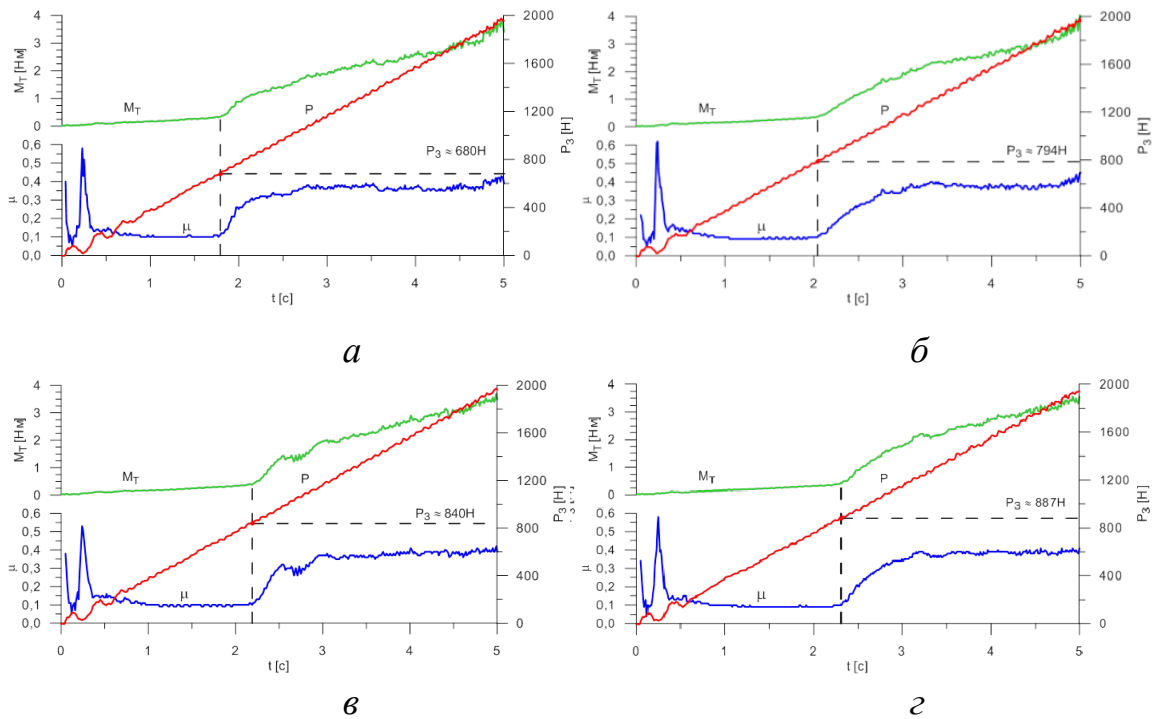


Рис. 2.5. Залежність зміни сили навантаження на пару тертя P_3 , моменту тертя M_T та коефіцієнту тертя μ від часу проведення дослідів t для зразків палив: а – ДП+МЕЖК10; б – ДП+МЕЖК20; в – ДП+МЕЖК30; г – ДП+МЕЖК40; д – ДП+МЕЖК50; е – МЕЖК; P_3 – навантаження задирання.



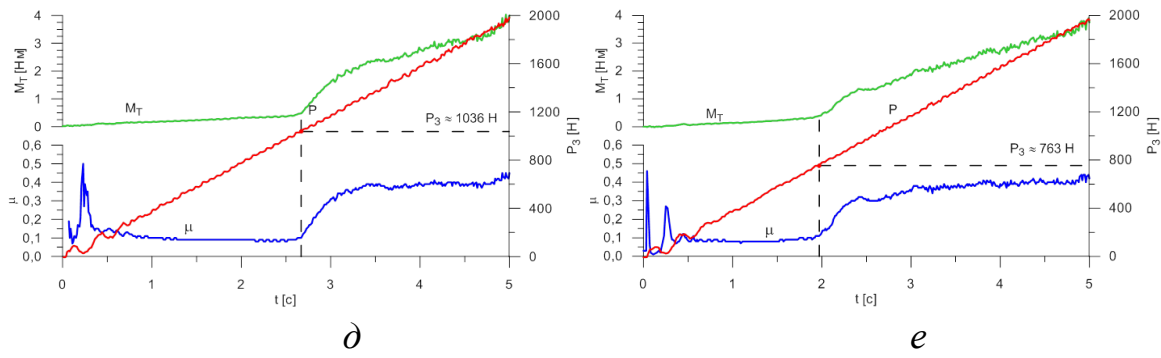


Рис. 2.6. Залежність зміни сили навантаження на пару тертя P , моменту тертя M_T та коефіцієнту тертя μ від часу проведення дослідів t для зразків палив: а – ДП+ЕЕЖК(М)10; б – ДП+ЕЕЖК(М)20; в – ДП+ЕЕЖК(М)30; г – Jet A-1+ЕЕЖК(М)40; д – Jet A-1+ЕЕЖК(М)50; е – ЕЕЖК(М); P_3 – навантаження задирання.

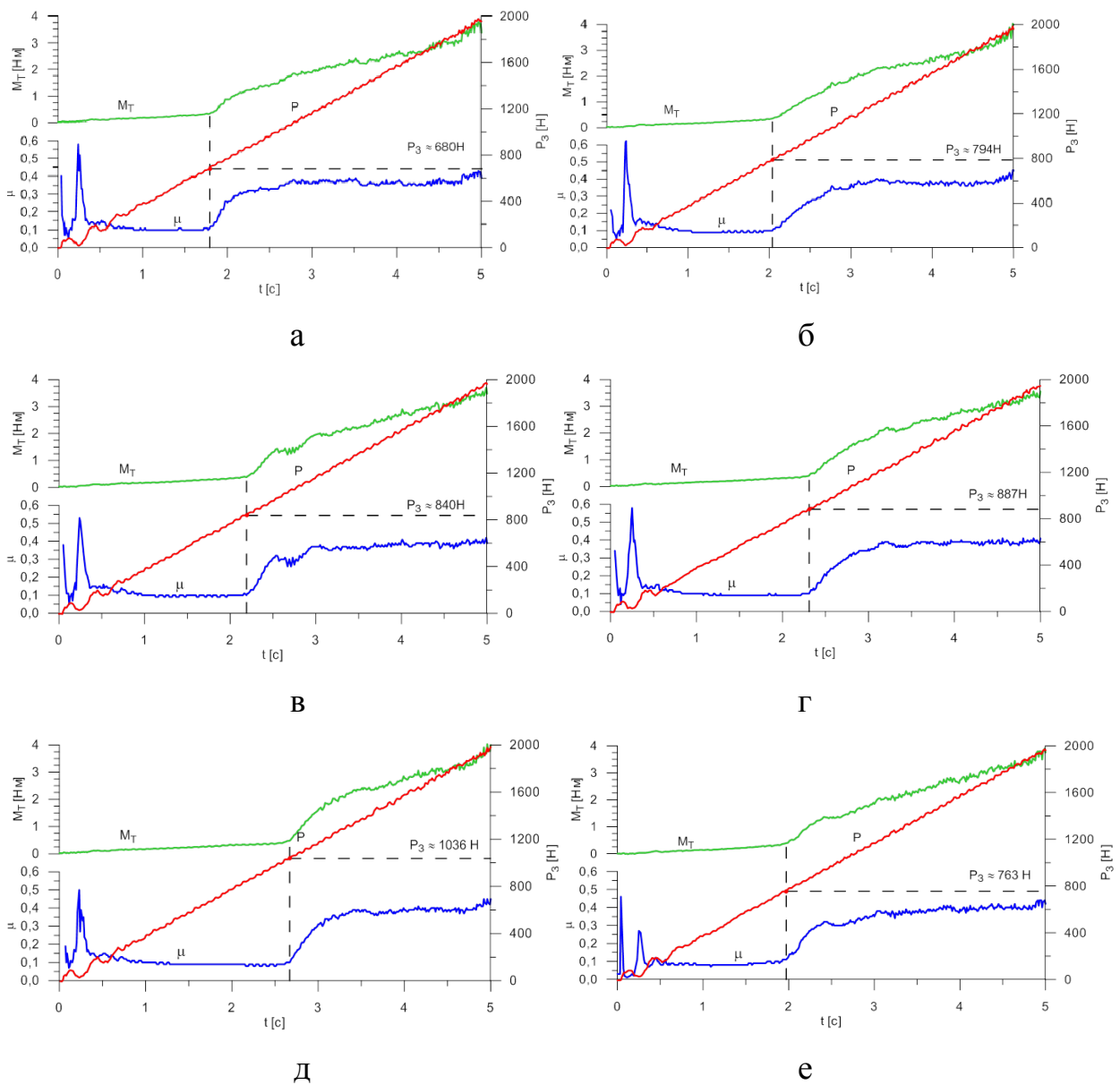


Рис. 2.7. Залежність зміни сили навантаження на пару тертя P , моменту тертя M_T та коефіцієнту тертя μ від часу проведення дослідів t для зразків палив: а – Jet A-1+ЕЕЖК(М)10;

б – Jet A-1+ЕЕЖК(М)20; в – Jet A-1+ЕЕЖК(М)30; г – Jet A-1+ЕЕЖК(М)40; д – Jet A-1+ЕЕЖК(М)50; е – ЕЕЖК(М); Рз – навантаження задирання.

У процесі обробки отриманих результатів, було визначено навантаження задирання P_S для кожного зі зразків палив, що представлено на рисунку 8.

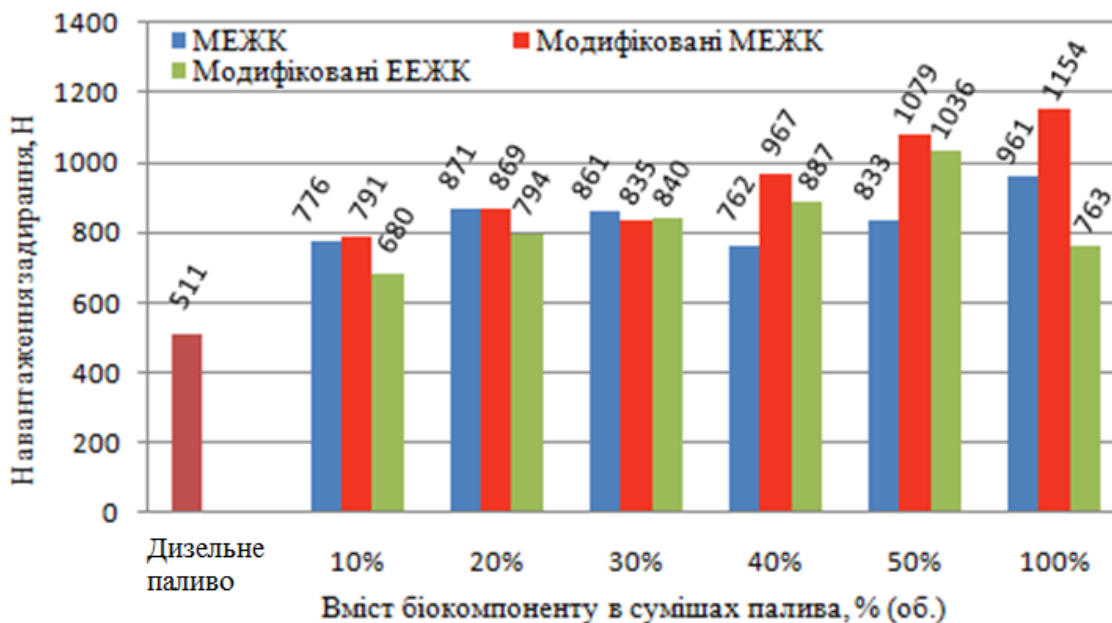


Рис. 2.8. Навантаження задирання пари тертя в середовищі дизельного палива та досліджених сумішевих палив

З наведених результатів видно, що традиційне паливо для дизельних двигунів продемонструвало найнижчі значення навантаження задирання – 511 Н. У той же час максимальні значення навантаження задирання були зафіксовані для двох видів біокомпонентів: 961 Н – для МЕЖК ріпакової олії і 1154 Н – для модифікованих МЕЖК ріпакової олії. Модифіковані ЕЕЖК ріпакової олії показали дещо нижче значення у порівнянні з попередніми зразками. Приймавши зразок дизельного палива за контрольний, можемо зробити висновок, що використання естерів ріпакової олії позитивно впливає на змащуючі властивості дизельного палива.

Зношування деталей суттєво залежить від в'язкості палив [13, 14]. Традиційні дизельні палива для характеризуються відносно низькими значеннями в'язкості, так як складені вуглеводнями невеликої молекулярної маси. Їх молекули мають порівняно малі розміри і, як наслідок, менший дипольний момент. У результаті, гранична плівка, що формується на поверхні

твердого тіла має меншу міцність, у порівнянні з паливами з більш високими значеннями в'язкості. Крім того, зменшення розміру молекул спричиняє збільшення середньої швидкості їх хаотичного теплового руху, що сприяє руйнуванню (десорбції) граничної плівки.

Оскільки змащувальні властивості зразків сумішевих дизельних палив було досліджено за температури 60 °С, доцільним було оцінювати кінематичну в'язкість за такого ж температурного режиму. Результати вимірювань представлено у таблиці 1.

З наведених даних видно, що кінематична в'язкість традиційного нафтового дизельного палива є набагато нижчою у порівнянні з в'язкістю біокомпонентів. Такі високі значення в'язкості МЕЖК та ЕЕЖК пояснюються їх хімічною структурою. В'язкісні характеристики дизельних палив залежить від їх вуглеводневого складу: вмісту алканів (парафінів), циклоалканів (нафтенів), моно- і біциклічних аренів із середнім числом атомів вуглецю в молекулі від 5 до 16. У той же час, у вуглеводневих ланцюгах молекул складних естерів міститься 14 – 23 атомів вуглецю [14, 15]. Це зумовлює порівнянорозумно великий розмір молекул, завдяки чому зменшується швидкість їх хаотичного руху. Так, з таблиці 1 видно, що збільшення вмісту біокомпоненту в зразках сумішевих палив спричиняє збільшення їх в'язкості. На рисунку 9 представлено залежність зміни в'язкості та навантаження задирання зі збільшенням вмісту біокомпонентів в зразках сумішевих палив.

Таблиця 2.1.

Кінематична в'язкість досліджених зразків палива

| Позначення зразка палива | Кінематична в'язкість за температури 60 °С, мм ² /с | Позначення зразка палива | Кінематична в'язкість за температури 60 °С, мм ² /с | Позначення зразка палива | Кінематична в'язкість за температури 60 °С, мм ² /с |
|--------------------------|--|--------------------------|--|--------------------------|--|
| ДП | 0,89500 | ДП | 0,89500 | ДП | 0,895 |
| ДП+МЕЖК10 | 0,99289 | ДП+МЕЖК(М)10 | 0,99992 | ДП+ЕЕЖК(М)10 | 1,008 |
| ДП+МЕЖК 20 | 1,11510 | ДП+МЕЖК(М)20 | 1,13090 | ДП+ЕЕЖК(М)20 | 1,1493 |
| ДП+МЕЖК 30 | 1,25760 | ДП+МЕЖК(М)30 | 1,26790 | ДП+ЕЕЖК(М)30 | 1,2913 |
| ДП+МЕЖК 40 | 1,46030 | ДП+МЕЖК(М)40 | 1,42880 | ДП+ЕЕЖК(М)40 | 1,4628 |
| ДП+МЕЖК 50 | 1,70560 | ДП+МЕЖК(М)50 | 1,59570 | ДП+ЕЕЖК(М)50 | 1,6652 |
| МЕЖК | 3,06220 | МЕЖК(М) | 2,92630 | ЕЕЖК(М) | 3,1881 |

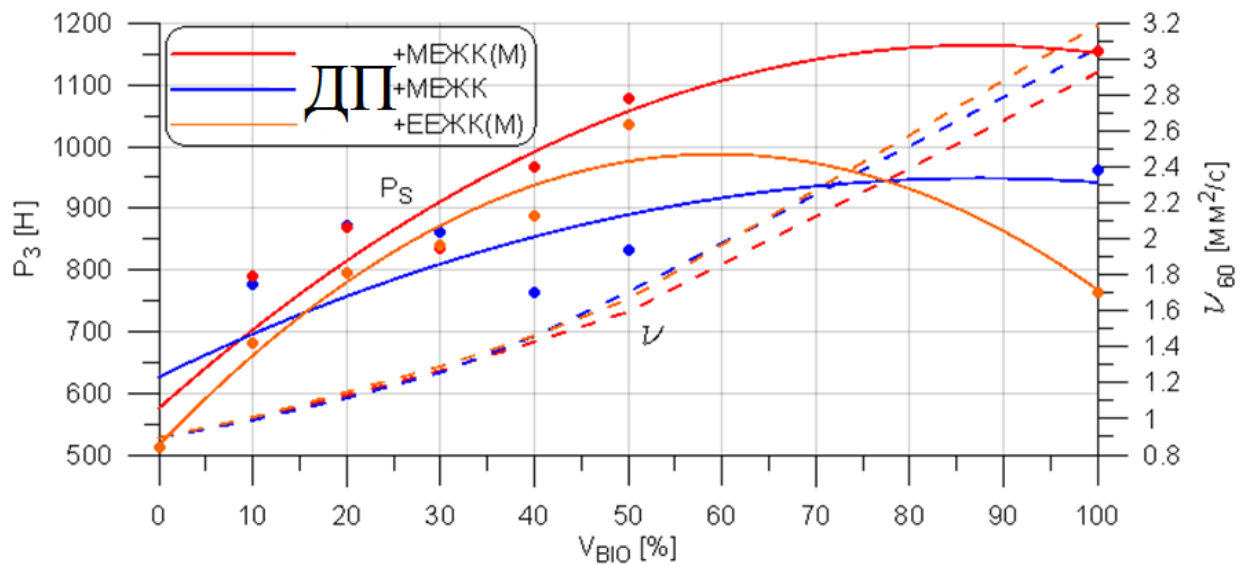


Рис. 2.9. Навантаження задирання пари тертя P_s , в'язкість палива ν як функція вмісту біокомпоненту в зразках сумішевих палив

З наведеного вище графіку видно, що підвищення в'язкості палив через збільшення вмісту біокомпонентів зумовлює зміцнення граничної плівки на поверхні пари тертя. Як наслідок суміші палив з більшим вмістом біокомпонентів мають вищі значення навантаження задирання [16]. Таким чином, отримані результати свідчать про те, що протизносні властивості дизельних палив на пряму залежать від їх в'язкості, що забезпечує розділення поверхонь тертя шаром палива, а також від наявності поверхнево-активних речовин в паливі, що утворюють на поверхнях тертя абсорбційний шар високої міцності, забезпечуючи зниження коефіцієнту тертя та зносу деталей.

Висновки

Для оцінки змащувальних властивостей дизельного палива та його сумішей з біокомпонентами, отриманими з ріпакової олії використовувалася чотирикулькова машина з системою безперервного збільшення навантаження

Дослідження зразків сумішевих палив показали, що МЕЖК та БЕЖК ріпакової олії виявляють здатність утворювати більш міцну граничну плівку порівнянні з дизельним паливом нафтового походження для окремо взятої пари тертя. Ця здатність пояснюється поверхневою активністю молекул естерів та їх високою в'язкістю. Результати проведених випробувань свідчать, що збільшення вмісту біокомпонентів у зразках сумішевих палив сприяє зміцненню граничної плівки на поверхні пари тертя. Таким чином, можна припустити, що дизельні палива з вмістом біокомпонентів, отриманих з ріпакової олії, характеризуються кращими протизносними властивостями. Іншими словами, естери жирних кислот ріпакової олії позитивно впливають на змащувальні властивості нафтових дизельних палив і можуть використовуватися з метою покращення протизносних властивостей традиційних дизельних палив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Хіммотологія та інженерне забезпечення використання газу і паливно-мастильних матеріалів : навчальний посібник / : С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, Й. А. Любінін, П. І. Топільницький, О. Б. Шевченко, І. Л. Трофімов, Л. І. Павлюх. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2013. – 276 с.
- [2] Яновский С.Л. Горюче-смазочные материалы для авиационной техники / С.Л. Яновский, Н.Ф. Дубовкин, Ф.Н. Галимов. Казань. 2002.
- [3] Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 322 с.
- [4] Патент № 95751. Спосіб отримання компонента палив для повітряно-реактивних двигунів із сировини рослинного походження. Зареєстр. 12.01.2015.
- [5] Сіренко
Г.О. Антифрикційні властивості полікомпонентних композицій на основі хімічно-модифікованої ріпакової оливи під час мащення пари ароматичний поліамід - сталь / Г.О. Сіренко, Л.Я. Мідак, О.В. Кузишин, Л.М. Кириченко, В.І. Кириченко // Полімер. журн. — 2008. — Т. 30, № 4. — С. 338-344.
- [6] Дубовкин Н.Ф. Инженерные методы определения физико-химических и эксплуатационных свойств топлив / Н.Ф. Дубовкин, С.Л. Яновский. Казань. 2002. 376 с.
- [7] Абазіна О.А. ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕТИЧНОГО РІДКОГО ПАЛИВА АВІАПІДПРИЄМСТВАМИ. Київ. 2014
- [8] Братков А.А. Химмотология ракетных и реактивных топлив / А.А. Братков, Е.П. Серегин, А.Ф. Горенков. Москва: Химия; 1987.
- [9] An American National Standard ASTM D1655
Standard Specification for Aviation Turbine Fuel

- [10] Liquid petroleum products - Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications - Requirements and test methods
- [11] *Aksenov A. F.*, Effect of jet fuel chemical composition on antiwear properties / A. F. Aksenov, K. S. Chernova, V. G. Spirkin, S. G. Klirnov, A. E. Borodin, V. P. Belyanskii, V. I. Terekhin, Yu. G. Nekipelov, A. Ya. Shepel' // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 1972, Vol. 8, Iss. 2, pp 133-137.
- [12] T-02U. Aparat czterokulowy – instrukcja obsługi. Radom: Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji; 2011.
- [13] *Стельмах А.У.* Закономерность влияния скорости скольжения на характеристики трибоконтакта посредством изменения агрегатного состояния смазочной среды / А. У. Стельмах, Д. Д. Хусейн // Наукові нотатки. – 2013. – Вип. 42. – С. 292-295. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nn_2013_42_49.pdf.
- [14] *Пилявский В.С.* Улучшение смазывающих свойств этанольных моторных топлив. / В.С. Пилявский, Е.В. Полункин, О.А. Гайдай // Збірник матеріалів II-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю
- [15] *Яновский С.Л.* сновы авиационной химмотологии. С.Л. Яновский, В.П. Дмитренко, Н.Ф. Дубовкин. Москва: МАТИ. 2005.
- [16] Трофімов І.Л. Дослідження протизносних властивостей сумішевих авіаційних палив на основі етилових естерів рижієвої олії / І.Л. Трофімов, С.В. Бойченко, А.В. Яковлева, С.В. Терновенко // Енерготехнології і ресурсозбереження – №4/2019. – С. 18-24.