

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ПРИСЯЖНА КАТЕРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА**



УДК 678.5.02

**ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ  
ЗА ТЕХНОЛОГІЯМИ РЕЦИКЛІНГУ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ**

**05.02.01 – матеріалознавство**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Луцьк 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Хмельницькому національному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор, академік Української технологічної академії  
**Мандзюк Ігор Андрійович**,  
Хмельницький національний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
завідуючий кафедрою хімічних технологій.

**Офіційні опоненти:** заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, академік Академії технологічних наук України  
**Сіренко Геннадій Олександрович**,  
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника  
Міністерства освіти і науки України,  
професор кафедри теоретичної та прикладної хімії, м. Івано-Франківськ;

кандидат технічних наук, доцент  
**Трофімов Ігор Леонідович**,  
Національний авіаційний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
доцент кафедри екології, м. Київ.

Захист відбудеться “30” червня 2017 о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 32.075.02 Луцького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 43018, Волинська область, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Луцького національного технічного університету за адресою: 43018, Волинська область, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.

Автореферат розісланий “23” травня 2017 р.

Вчений секретар  
Спеціалізованої вченої ради



Гусачук Д. А.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією з важливих складових трибологічного матеріалознавства є мастильні матеріали. З кожним роком збільшується загальна кількість і питома потужність машин та устаткування. В умовах виснаження світових сировинних ресурсів, а також значного зростання вимог до забезпечення охорони навколишнього середовища, надійності і довговічності машин і механізмів, гостро постає питання про пошук нових шляхів створення екологічно безпечних мастильних матеріалів. У цій галузі науки і техніки відкриваються значні перспективи для використання нових технологій, що знаходяться на стику різних наукових дисциплін і об'єднані в концепцію “зеленої трибології”, одним із завдань якої є розробка технологій виготовлення і використання екологічно безпечних мастильних матеріалів.

Вагомий внесок у галузь розробки паливно-мастильних матеріалів на основі рослинних олій зроблено українськими вченими Войтовим В. А., Ранським А. П., Сіренком Г. О. Дослідження, що проведені в роботах Ю. Падгурскаса, підтверджують можливість використання рослинних олій в якості альтернативної сировини мінеральним та синтетичним базовим олівам. Природні жири є відновлювальною сировиною, біодеградуючими та нетоксичними. Тому розробка технологій синтезу мастильних матеріалів на основі природних жирів із залученням технологій хімічного рециклінгу вторинної сировини відноситься до надзвичайно актуальних питань.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертацію виконано на кафедрі хімічних технологій Хмельницького національного університету протягом 2013–2017 рр., відповідно до держбюджетної теми № 0115U000221 “Розробка та застосування технологій рециклінгу полімерних відходів для отримання екологічно безпечних мастильних матеріалів” та міжнародного договору україно-литовської співпраці між Хмельницьким національним університетом та університетом імені Александраса Стульгінскіса (м. Каунас).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка та оптимізація складу нового класу мастильних матеріалів на основі природних жирів, з використанням технологій рециклінгу полімерних відходів.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні завдання:

- побудова теоретичної моделі отримання нового класу базових основ мастильних матеріалів з використанням природних жирів та розрахунок їх квантово-хімічних, квантово-механічних та термодинамічних параметрів;
- здійснення синтезу напівпродуктів, базових основ мастил відповідно до теоретичної моделі;
- розробка складів пластичних мастил на базі синтезованих основ із природних жирів із залученням рециклінгових технологій;
- комплексні дослідження фізико-хімічних, реометричних, триботехнічних властивостей, отриманих основ мастильних матеріалів;

- оцінка параметрів екологічної безпечності розроблених матеріалів;
- апробація розроблених мастильних матеріалів в умовах експлуатації промислового обладнання.

**Об'єкт дослідження** – синтез базових основ мастильних матеріалів за технологіями рециклінгу полімерних відходів.

**Предмет досліджень** – комплекс експлуатаційних властивостей розроблених мастильних матеріалів.

**Методи дослідження.** Поставлені в дисертаційній роботі завдання вирішено за допомогою сучасних фізико-хімічних і триботехнічних методів дослідження: реометрії, інфрачервоної спектроскопії, диференційної скануючої калориметрії, електронної мікроскопії, квантово-хімічного моделювання, математичного планування та оптимізації експериментів, аналізу життєвого циклу, біодеградації.

**Наукова новизна роботи** полягає у тому, що сформульовані наукові основи нового напрямку отримання базових основ мастил з природної сировини із залученням технологій рециклінгу. Теоретичні і експериментальні дослідження дозволили отримати такі наукові результати *вперше*:

- теоретичну модель синтезу основ мастильних матеріалів із природних жирів прищепленням рециклатів відходів ПЕТ;
- квантово-хімічну модель ацилгліцеролів жирів, ПЕТ-ацилгліцеролів;
- сполуки на основі природних жирів відповідно до теоретичної моделі;
- методику визначення схильності до окиснення природних жирів, їх похідних, мастильних матеріалів на основі досліджень зміни динамічної в'язкості;
- параметри реологічних і триботехнічних властивостей нових синтезованих основ мастильних матеріалів;
- здійснено порівняльний аналіз життєвого циклу мастильних матеріалів на традиційній мінеральній основі та розроблених матеріалів на основі природних жирів;
- досліджено схильність до біодеградації розроблених мастильних матеріалів.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблено технологію синтезу пластичних мастильних матеріалів на основі природної відновлювальної сировини за допомогою хімічного рециклінгу відходів поліетилентерефталатних пакувальних матеріалів;
- оптимізовано склад пластичного мастильного матеріалу на основі природної сировини, використання якого приведе до зменшення енергетичного та екологічного навантаження на навколишнє середовище, до підвищення раціонального використання матеріальних та сировинних ресурсів;
- оптимізовано параметри синтезу пластичних мастильних матеріалів, що дозволило отримувати композиції мастил із високими експлуатаційними

властивостями в умовах достатньої кількості вторинної сировини, які можуть бути рекомендовані для використання у різьбових з'єднаннях бурильних труб та інших галузях техніки.

Практичне значення отриманих результатів підтверджено патентами на корисну модель України № 110856 та № 110857, позитивним рішенням від 22.02.2017 № 4344/ЗА/17 за патентом “Спосіб синтезу біодеградуючої базової основи мастильних матеріалів”.

Ефективність розроблених матеріалів доведено результатами виробничих випробовувань в умовах підприємства ТОВ “Цем-Ресурс 1” в бурильних установках Atlas Copco ROC L7 в якості різьбового мастила при згвинчуванні обсадних труб бурових свердловин. Річний економічний ефект від застосування розроблених мастильних матеріалів на п'яти бурильних установках, складає 507,45 тис. грн.

**Особистий внесок здобувача** полягає у постановці та вирішенні основних завдань, виборі методів дослідження, проведенні експериментів, аналізі отриманих результатів, розробці технологій виготовлення мастильних матеріалів на основі природної сировини, формулюванні наукової новизни, практичної цінності одержаних результатів, висновків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати роботи доповідались, обговорювались та отримали позитивну оцінку:

– на VIII міжнародній конференції Balttrib 2015, 26–27 листопада 2015 р., м. Каунас, Литва, Aleksandras Stulginskis University;

– на 33 щорічній міжнародній конференції “Композиційні матеріали в промисловості”, 27–31 травня 2013 р., м. Ялта, Гурзуф;

– на VII Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Хімія та сучасні технології”, 27–29 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ, УДХТУ;

– на IV науковій конференції “Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці”, 2016 р., м. Харків, Технологічний центр;

– на Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю “Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта”, 4 квітня 2014 р., м. Луганськ, Східноєвропейський національний університет;

– на всеукраїнській студентській конференції з міжнародною участю “Наукова Україна”, 25 травня 2015 р., м. Дніпропетровськ, УДХТУ;

– на 1-й Міжнародній конференції “Science and Education in Australia, America and Eurasia: Fundamental and Applied Science”, 23 липня, 2014 р., Мельбурн, Австралія.

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано у 13 працях, в тому числі 4 у фахових виданнях, що входять до наукометричних баз даних РИНЦ, Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, 7 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях, в тому числі 1 збірник тез, що входить до наукометричної бази даних Scopus, 2 патенти України.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел інформації та додатків. Основна частина роботи викладена на 136 сторінках друкованого тексту, список використаних джерел інформації складається з 137 назв на 14 сторінках. Повний обсяг дисертації – 168 сторінок, включаючи 114 рисунків, 33 таблиць та 4 додатків на 18 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовані об'єкт і предмет дослідження, визначені мета, основні завдання, методи досліджень, сформульовані наукова новизна роботи, її практичне значення, наведено особистий внесок здобувача, інформацію про апробацію результатів дисертації, публікації та її структуру.

У **першому розділі** розглянуто екологічні аспекти розробки та застосування мастильних матеріалів за концепцією “зеленої трибології”.

Одним із значних джерел забруднень природного середовища є відпрацьовані мастильні матеріали. Це пояснюється перш за все низькою схильністю до біодеградації мінеральних і синтетичних олив і мастил. Нафтові і синтетичні мастильні матеріали і їх компоненти являються екотоксичними продуктами, наприклад, поліциклічні ароматичні вуглеводні, що відносяться до канцерогенних речовин.

Одним з пріоритетних напрямів вирішення проблеми енерго- і ресурсозбереження є пошук і використання заміників викопної сировини альтернативними мастильними матеріалами з екологічно чистої сировини природного походження. Обґрунтованість такого вибору підтверджується високою динамікою світового ринку і значним збільшенням технічного використання рослинних олій. Втіленням ідеології збереження та сталого розвитку природи і суспільства є формування концепції “зелених технологій”. Важливою складовою концепції “зелених технологій” є використання у вузлах тертя екологічно безпечних, мастильних матеріалів з відновлюваної сировини.

Для мастильних матеріалів з точки зору матеріалознавства важливим є вирішення двох проблемних завдань:

- забезпечити виробництво природною, відновлюваною сировиною;
- створити мастильні матеріали з високими триботехнічними властивостями і здатними до самостійної біодеградації після закінчення циклу експлуатації.

Потенційною сировиною для створення екологічних мастильних матеріалів є рослинні олії, тваринні жири і синтетичні складні етери та естери.

Одним із наочних прикладів взаємодії техніки і оточуючого середовища є буріння свердловин. Важливим питанням є розробка якісних мастильних матеріалів для вузлів тертя сучасного обладнання, застосування яких не сприяло би порушенню екологічного балансу на місці проведення

бурильних робіт. При бурінні свердловин використовуються спеціальні труби, з'єднанні між собою в бурильну колону, елементи якої кріпляться між собою за допомогою замкових різьбових з'єднань.

Мастильний матеріал призначений знижувати коефіцієнт тертя та забезпечувати його стабільність, дозволяючи точно контролювати зусилля зтяжки різьбових з'єднань. Він також захищає різьбове з'єднання від агресивних впливів зовнішнього середовища, зберігаючи його працездатність та дозволяє без пошкоджень розібрати після тривалої експлуатації. Сучасна практика показала економічну доцільність застосування спеціальних мастильних матеріалів при складанні різьбового з'єднання для попередження його поломки.

У **другому розділі** наведено характеристику методів дослідження. Застосовані традиційні та сучасні експериментальні методи досліджень: ІЧ-спектроскопія, диференційна скануюча калориметрія, електронна мікроскопія, реометрія, квантово-хімічне моделювання, методи математичного планування та оптимізації, оцінка життєвого циклу, біотестування, триботехнічні методи.

Гліцероліз природних жирів з подальшим синтезом мастильних матеріалів із залученням технологій рециклінгу відходів поліетилентерефталату здійснювали на розробленій лабораторній установі. Триботехнічні властивості мастильних матеріалів досліджували на трибометрах: ЧШМ-1, МАСТ-1, УМТ2168, МТУ-2К7.

**Третій розділ** присвячений розробці теоретичної моделі процесу синтезу базових основ мастильних матеріалів із природних жирів.

З точки зору хімічної будови природні жири є сполуками, які отримують за реакції між гліцеролом і аліфатичними карбоновими кислотами з утворенням естерів – ацилгліцеролів. Професором Мандзюком І.А. розроблено технологію хімічного рециклінгу відходів поліетилентерефталату (ПЕТ пляшки) шляхом гліцеролізу з утворенням олігомерних продуктів – рециклатів, різної молекулярної маси (рис. 1) – ПЕТ-гліцеролів.

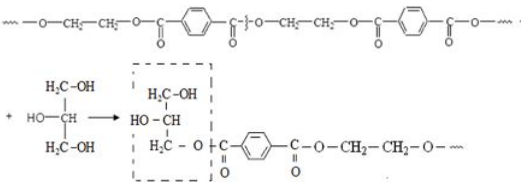


Рис. 1. Механізм гліцеролізу відходів ПЕТ і утворення ПЕТ-гліцеролу

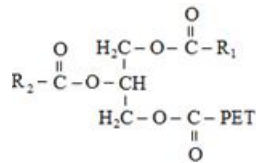


Рис. 2. Схематична форма синтезованих ПЕТ-ацилгліцеролів

Приєднавши фрагмент молекули ПЕТ-гліцеролів до молекул природних жирів отримують ПЕТ-ацилгліцероли – базові основи мастильних матеріалів (рис. 2).

За допомогою комп'ютерного моделювання з використанням емпіричних методів розрахунку (методу молекулярної механіки) отримано геометричний

образ синтезованих сполук. Наведені зображення цих сполук (рис. 3 та 4) свідчать про відмінність будови ПЕТ-ацилгліцеролів від будови вихідних жирів за геометричною формою макромолекули та розміщенням їх у просторі.

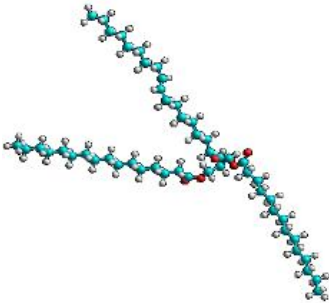


Рис. 3. Оптимізована геометрична форма молекули яловичого жиру

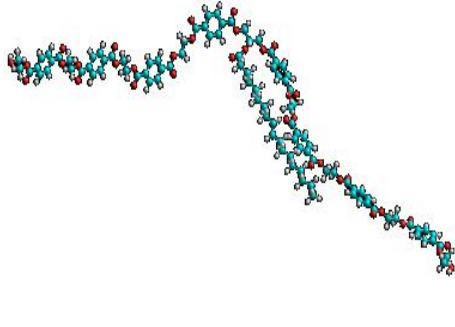


Рис. 4. Геометрична форма молекули ПЕТ 1,3-ацилгліцеролу на основі яловичого жиру при співвідношенні жир/гліцерол 1/3

Розроблена і запропонована теоретична модель отримання ПЕТ-ацилгліцеролів, коректно і адекватно підтверджена інструментальними методами аналізу. Це дає підстави розглядати синтезовані ПЕТ-ацилгліцеролів у якості однієї з модифікованих форм природних жирів.

У **четвертому розділі** наведено результати розробки складу мастильного матеріалу на основі природних жирів. Жири та мастильні матеріали на їх основі при контакті з киснем повітря окиснюються, що призводить до погіршення їх властивостей, скорочення термінів зберігання та експлуатації.

З метою підвищення стійкості жирів та продуктів на їх основі, стабілізації їх властивостей, в умовах дії окиснювального середовища, широко використовуються інгібітори окиснювальних процесів – антиоксиданти. Антиоксиданти за принципом дії поділяють на: первинні антиоксиданти, вторинні антиоксиданти, багатофункціональні антиоксиданти. Проведено дослідження з оцінки ефективності різних за класом антиоксидантів Irganox фірми BASF на стійкість синтезованих матеріалів до дії окиснювального середовища (кисень повітря оточуючого середовища): Irganox L06, Irganox L64, Irganox L109, Irganox L115, Irganox L150.

Здійснено комплекс досліджень з визначення стійкості природних жирів до окиснення за результатами зміни динамічної в'язкості від температури та від швидкості деформації зсуву.

Композиції з пакетом присадок Irgalube 2030 на основі ПЕТ-ацилгліцеролів (рис. 5 та 6) володіють високою стійкістю до окиснення.

Досліджені реологічні властивості систем у динаміці їх еволюційного ускладнення: а) вихідна сировина – яловичий жир, ріпакова олія, курячий



жир; б) напівпродукти синтезу – ацилгліцероли цих жирів; в) синтезовані основи мастильних матеріалів ПЕТ-ацилгліцеролів жирів.

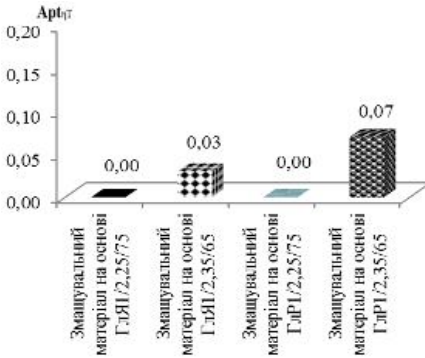


Рис. 5. Схильність до окиснення розроблених складів змащувальних матеріалів, яка розрахована за зміною в'язкості від температури ( $\dot{\gamma} = 1333 \text{ c}^{-1}$ ), точка розрахунку  $50 \text{ }^\circ\text{C}$

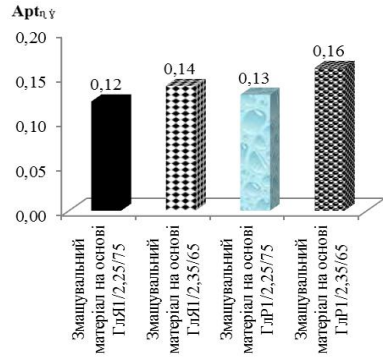
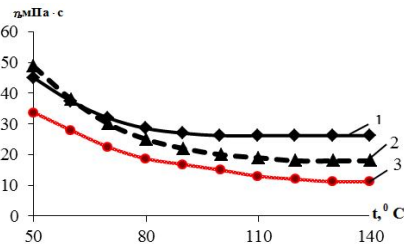


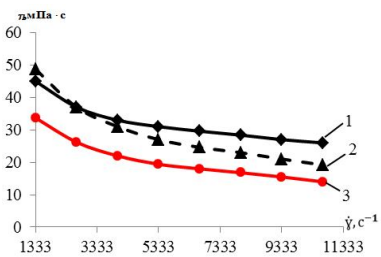
Рис. 6. Схильність до окиснення розроблених складів змащувальних матеріалів, яка розрахована за зміною в'язкості від швидкості зсуву ( $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ), точка розрахунку  $10667 \text{ c}^{-1}$

Для вихідних природних жирів (рис. 7 та 8) спостерігаються класичні криві зміни в'язкості низькомолекулярних рідин, а саме зниження в'язкості з підвищенням температури і швидкості зсуву.



1 – яловичий жир; 2 – курячий жир; 3 – ріпакова олія

Рис. 7. Залежність в'язкості ( $\eta$ ) від температури ( $t$ ) вихідних жирів ( $\dot{\gamma} = 1333 \text{ c}^{-1}$ )



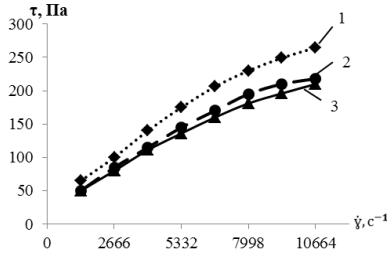
1 – яловичий жир; 2 – курячий жир; 3 – ріпакова олія

Рис. 8. Залежність в'язкості ( $\eta$ ) від швидкості деформації зсуву ( $\dot{\gamma}$ ) вихідних жирів ( $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Отримані графічні залежності напруги зсуву від швидкості деформації зсуву (рис. 9), описуються рівнянням плинуненьютонівських псевдопластичних рідин – Power Law:

$$\tau = kD^n, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт в'язкості, Па · с (0,23 – для яловичого жиру; 0,38 – для курячого жиру; 0,29 – для ріпакової олії);  $D$  – швидкість зсуву,  $\text{с}^{-1}$ ;  $n$  – індекс плинності (0,75 – для яловичого жиру; 0,68 – для курячого жиру; 0,69 – для ріпакової олії).



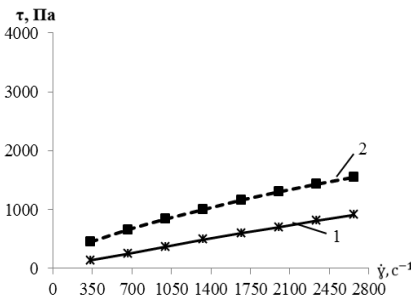
1 – яловичий жир; 2 – курячий жир; 3 – ріпакова олія

Рис. 9. Залежність напруги ( $\tau$ ) зсуву від швидкості зсуву ( $\dot{\gamma}$ ) ( $t = 50\text{ }^\circ\text{C}$ )

Зміна в'язкості залежно від швидкості деформації зсуву для ПЕТ-ацилгліцеролів 1/2,25/75 на яловичому жирі та ріпаковій олії та змащувального матеріалу на основі даних ПЕТ-ацилгліцеролів (рис. 10 та 11) описується рівнянням Herschel–Bulkley для в'язкопластичних рідин:

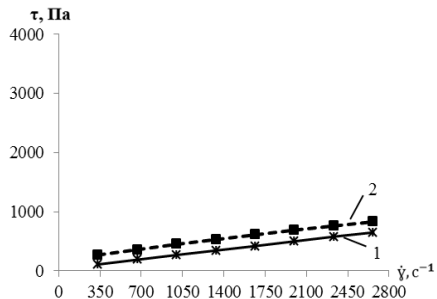
$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n, \quad (2)$$

де  $\tau$  – напруга зсуву, Па;  $\tau_0$  – статичне значення напруги зсуву, Па;  $k$  – коефіцієнт в'язкості, Па · с;  $\dot{\gamma}$  – швидкість зсуву,  $\text{с}^{-1}$ ;  $n$  – індекс плинності.



1 – ПЕТ-ацилгліцерол  
на яловичому жирі 1/2,25/75;  
2 – мастильний матеріал

Рис. 10. Залежність напруги зсуву ( $\tau$ ) від швидкості зсуву ( $\dot{\gamma}$ ) ( $t = 50\text{ }^\circ\text{C}$ )



1 – ПЕТ-ацилгліцерол  
на ріпаковій олії 1/2,25/75;  
2 – мастильний матеріал

Рис. 11. Залежність напруги зсуву ( $\tau$ ) від швидкості зсуву ( $\dot{\gamma}$ ) ( $t = 50\text{ }^\circ\text{C}$ )

Рівняння Herschel–Bulkley являється узагальненням реологічних рівнянь неньютоновської рідини Оставльда–Вейля і в'язкопластичного середовища Шведова–Бінгама. Для цієї моделі характерні, головним чином, в'язкопружні властивості змащувальних матеріалів.

В якості загусників мастильних матеріалів досліджували: парафін П400, бджолиний віск, аеросил 200, модифікований четвертинними амонієвими солями бентоніт, натрію стеарат та літію стеарат. За критерій ефективності загущення синтезованої основи розглядали температуру краплепадіння. Також досліджували показник зношування, що визначається як середній діаметр нижніх трьох кульок ЧШМ-1 після години роботи при стандартному навантаженні; коефіцієнт тертя. За результатами досліджень в якості загусника обрано натрій стеарат.

В якості наповнювачів досліджені аеросил 200, модифікована четвертинними амонієвими солями бентонітова глина (ВАТ “Дашуківські бентоніти”, розмір частинок – 20 нм), антифрикційні наповнювачі – тальк, графіт – відходи алмазного виробництва та дисульфід молібдену.

При додаванні різних типів наповнювачів спостерігається підвищення значень статичної напруги зсуву ( $\tau_0$ ) (табл. 1).

Таблиця 1

#### Статична напруга зсуву для матеріалів з наповнювачами

Матеріал	Значення $\tau_0$ , Па
ГлЯ1/2, 25/75+стеарат натрію	59,5
ГлЯ1/2, 25/75+ стеарат натрію+12 % тальку	262
ГлЯ1/2, 25/75+ стеарат натрію+17 % тальку	386
ГлЯ1/2, 25/75+ стеарат натрію+12 % аеросилу	495
ГлЯ1/2, 25/75+стеарат натрію+17 % аеросилу	1487,5
ГлЯ1/2, 25/75+стеарат натрію+12 % бентоніту	81,2
ГлЯ1/2, 25/75+стеарат натрію+17 % бентоніту	93,2
ГлЯ1/2, 25/75+стеарат натрію+3 % графіту	184
ГлЯ1/2, 25/75+стеарат натрію+8 % графіту	357
ГлЯ1/2, 25/75+стеарат натрію+3 % дисульфід молібдену	247
ГлЯ1/2, 25/75+стеарат натрію+8 % дисульфід молібдену	379

При використанні загусників, що формують жорстку структуру (неорганічні загусники, а також високі концентрації стеаратів металів), наповнювачі утримуються в каркасі змащувального матеріалу та не поступають в зону тертя. Наповнювачі додавали у загущені стеаратом натрію матеріали, введення якого не призводить до значного підвищення межі плинності, зберігає тиксотропність системи, що в свою чергу дозволяє антифрикційним наповнювачам поступати в зону тертя.

Введення наповнювачів підвищує показник навантаження зварювання, причому до різкого зростання призводить введення дисульфиду молібдену або графіту (рис. 12).

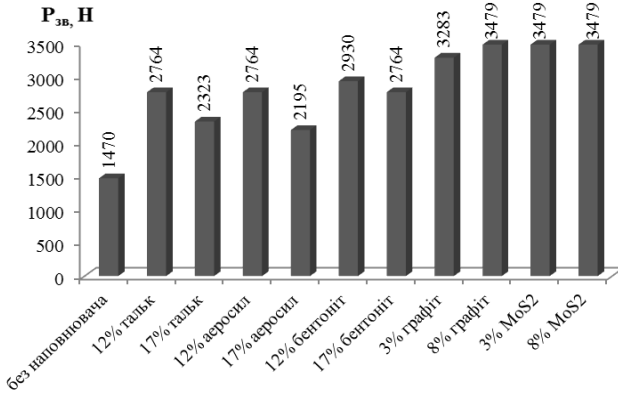


Рис. 12. Навантаження зварювання змащувальних матеріалів з наповнювачами

Для знаходження найбільш сприятливих значень технологічних і рецептурних чинників виготовлення композиції з ПЕТ-ацилгліцеролу яловичого жиру, за умов наявності якісних чинників, використовували математичне планування – греко-латинські квадрати. Оптимальний склад мастила (табл. 2 та 3) знаходили, використовуючи симплекс-планування. При проведенні оптимізації в якості критеріїв відгуку вибрані наступні триботехнічні показники: діаметр плями зносу кульки за 196 Н навантаження ( $d_1$ ), критичне навантаження ( $P_{кр}, Н$ ) ( $d_2$ ); навантаження зварювання ( $P_{зв}, Н$ ) ( $d_3$ ).

Таблиця 2

### Оптимальний склад мастильної композиції

Компонент	Масова частка, м.ч.
Базова основа ГЯ 1,2-25/75	100
Загусник – натрій стеарат	8,56
Присадка Irgalube 2030	0,48
MoS <sub>2</sub>	4,12
CuO	0,92

Таблиця 3

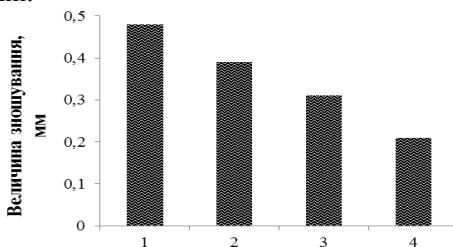
### Характеристики оптимального складу розробленого змащувального матеріалу

Показник	Значення показника
Температура краплепадіння, °С	165±13
Динамічна в'язкість, Па · с (за 50 °С)	230±9
Статичне значення напруги зсуву, Па	240±10
Показник зношування, мм	0,31±0,03
Критичне навантаження, Н	900±70
Навантаження зварювання, Н	>3000
Коефіцієнт тертя	0,08±0,01

При розробці нових складів мастильних матеріалів, за умов дослідження реометричних фізико-хімічних, експлуатаційних властивостей визначальними залишаються триботехнічні властивості. Комплексні триботехнічні властивості вихідних жирів, їх похідних, синтезованих основ і розроблених пластичних мастил досліджували на трибOMETрах ЧШМ-1, МАСТ-1, УМТ2168, МГУ-2К7.

Алгоритм випробувань полягав у порівнянні зміни триботехнічних показників відповідно до ускладнення системи від вихідного жиру, похідних жиру до синтезованої основи мастильного матеріалу.

На прикладі яловичого жиру на стенді МАСТ 1, за зміною діаметра плями зносу кульок під час навантаження 150 Н (рис. 13) наочно спостерігається зменшення зношування під час мащення яловичим жиром при переході до його похідних (основ). Для ПЕТ-ацилгліцеролу зносостійкість зростає на 33 % порівняно з вихідним жиром. Додавання присадки до ПЕТ-ацилгліцеролу на 54 % підвищує зносостійкість. Це означає, що на поверхні тертя ПЕТ-ацилгліцерол утворює в процесі тертя стабільну захисну олігомерну плівку, яка сприяє зменшенню зношування металеві поверхні.

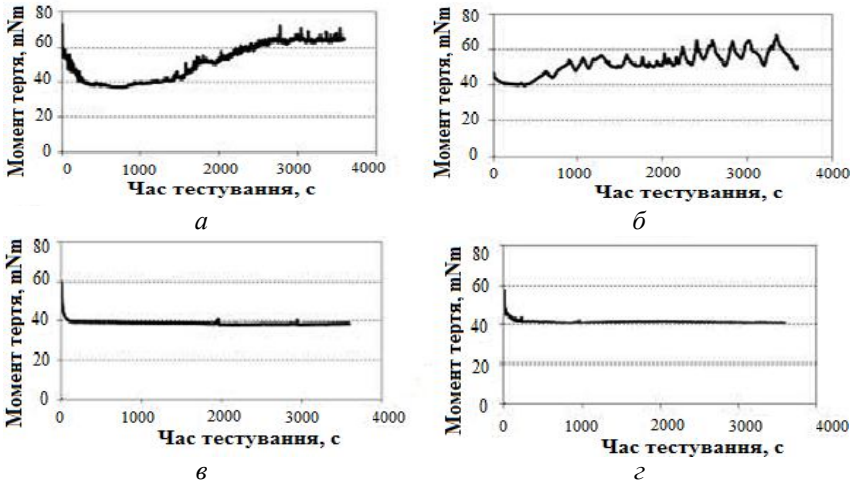


1 – вихідний жир; 2 – вихідний жир + пакет антифрикційних присадок;  
3 – ПЕТ-ацилгліцерол 1/2,20/80; 4 – ПЕТ-ацилгліцерол 1/2,20/80 +  
пакет антифрикційних присадок

Рис. 13. Величина зношування для яловичого жиру та його похідних

Вимірювання моменту тертя (рис. 14) підтверджує утворення проміжної, стабільної плівки на поверхні тертя.

З графіка видно, що при змащуванні вузла тертя вихідним жиром момент тертя (коефіцієнт тертя) після 1500 с починає зростати майже на 60 %. Спостерігається, нестабільність роботи пари тертя, що відбивається на стрибковому характері кривої та збільшення коефіцієнту тертя. Стабільний момент тертя зафіксований у випадку змащування ПЕТ-ацилгліцеролом. Додавання протизносної присадки не впливає на характер зношування. Таким чином, можна констатувати, що використання ПЕТ-ацилгліцеролів дає можливість отримати покращення умов тертя за рахунок утворення на поверхні металу проміжної олігомерної стабільної плівки з високою адгезією.



- а) вихідний жир; б) вихідний жир + пакет антифрикційних присадок;  
 в) ПЕТ-ацилгліцерол яловичого жиру; г) ПЕТ-ацилгліцерол яловичого жиру + пакет антифрикційних присадок

Рис. 14. Характер зміни моменту тертя

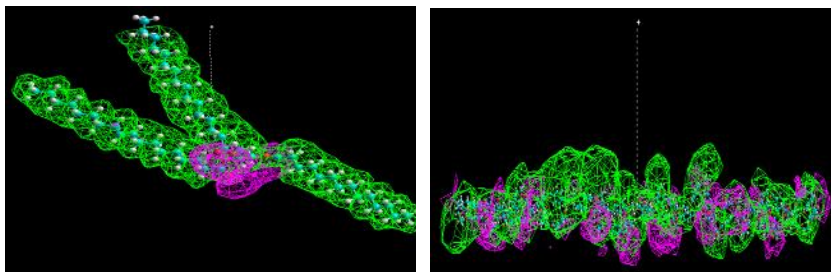
Результати циклу досліджень з визначення зміни триботехнічних властивостей залежно від послідовного ускладнення досліджуваної системи: натуральний жир – синтезована основа, з привитим полімером (ПЕТ-ацилгліцерол) – мастильний матеріал, що містить пакет присадок (табл. 4), наочно демонструють якісну позитивну зміну триботехнічних характеристик досліджених мастильних речовин з ускладненням їх структурної будови. Перехід від вихідних жирів: яловичого жиру і ріпакової олії до синтезованих, на їх основі і відходів ПЕТ, сполук (ПЕТ-ацилгліцерол) забезпечує покращення, як показників зношування, так і зменшення схильності до зварювання.

Комп'ютерне моделювання та розрахунки квантово-механічних показників (напівемпіричним методом АМ1) структури яловичого жиру, синтезованої основи ПЕТ-ацилгліцеролу показали (рис. 15) на значну різницю у величинах дипольних моментів: для молекули жиру – 4,22D; для ПЕТ-ацилгліцеролу – 9,43D. Направлення дипольного моменту відносно горизонтальної площини, яку можна вважати площею тертя, та розподіл електростатичного потенціалу наочно показує орієнтацію молекул синтезованих основ мастильних матеріалів в адсорбованому шарі на поверхні металу. Звертає на себе увагу велика кількість диполів по довжині макромолекули ПЕТ-ацилгліцеролу. Саме специфічна будова синтезованих сполук – ПЕТ-ацилгліцеролів дає можливість адсорбуватись їм паралельно поверхні металу (рис. 15, б).

Триботехнічні характеристики досліджуваних матеріалів

Матеріал	Критичне навантаження $P_{кр}$ , Н	Навантаження з варювання $P_{зв}$ , Н	Індекс задирання $IЗ$	Показник зношування $IЗ$ , мм	Коефіцієнт тертя $k$
Яловичий жир	696	1166	447	1,0	0,15
Ріпакова олія	519	1303	276	1,0	0,15
ПЕТ-ацилгліцерол яловичого жиру 1,2–25/75	735	1381	545	0,9	0,10
ПЕТ-ацилгліцерол яловичого жиру 1,2–35/65	823	1842	613	0,9	0,11
ПЕТ-ацилгліцерол ріпакової олії 1,2–25/75	823	1646	510	0,86	0,08
ПЕТ-ацилгліцерол ріпакової олії 1,2–35/65	1098	2067	607	0,84	0,10
Змашувальний матеріал на основі ПЕТ-ацилгліцеролу яловичого жиру 1,2–25/75	900	>3400	818	0,53	0,08
Змашувальний матеріал на основі ПЕТ-ацилгліцеролу яловичого жиру 1,2–35/65	1235	>3400	720	0,61	0,08
Змашувальний матеріал на основі ПЕТ-ацилгліцеролу ріпакової олії 1,2–25/75	980	3087	750	0,45	0,07
Змашувальний матеріал на основі ПЕТ-ацилгліцеролу ріпакової олії 1,2–35/65	1166	3283	760	0,57	0,08
Літол-24	657	1235	301	1	0,17
ЦІАТИМ-201	696	1303	360	0,89	0,2
Divinol Fett R2	519	1235	388	0,87	0,2
P-113	920	3010	260	0,89	–

Як видно з рисунка моделі, молекула ПЕТ-ацилгліцеролу вздовж основної осі має значну кількість як позитивно, так і негативно заряджених активних центрів (розподіл електростатичного потенціалу).

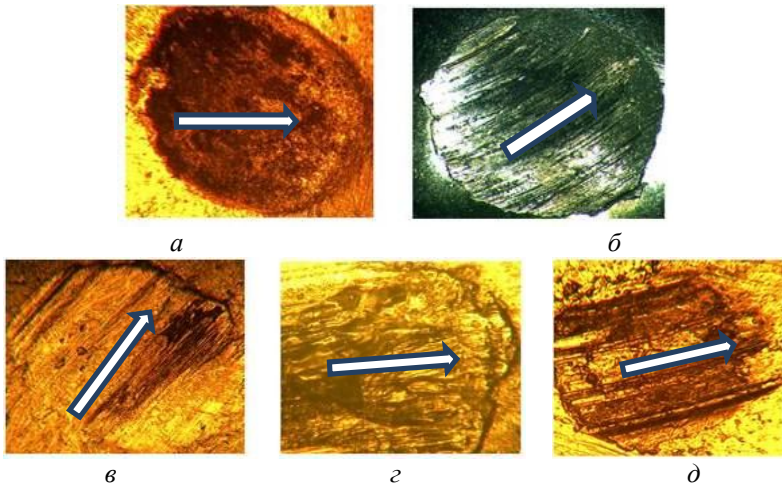


(штрихова вертикальна лінія – напрям вектора дипольного моменту; червоне – від'ємний потенціал заряду, зелене – позитивний потенціал:  
а) яловичий жир; б) синтезована основа ПЕТ-ацилгліцерол

Рис. 15. Моделі молекул та розподіл електростатичного потенціалу

У той час, як для яловичого жиру спостерігається лише одиночний центр. Саме ця обставина пояснює надзвичайно високий ступінь адгезії ПЕТ-ацилгліцеролів до поверхні тертя, що дозволяє утримуватись мастильній плівці на поверхні металу за великих напруг зсуву і обумовлює значне покращення триботехнічних характеристик (табл. 4).

Вигляд плями зносу під час тертя з синтезованою основою (рис. 16, в) свідчить про наявність ознак пластичної деформації тонкого шару металу у зоні тертя, що проявляється в утворенні валику маси металу попереду кульки під час її руху. Величина пластичних деформацій ще недостатня для досягнення схоплювання, зварювання металевих поверхонь. Пластичні деформації металу є свідченням утворення в зоні контакту проміжного шару, обумовленого явищами адсорбції мастильного матеріалу на активних центрах металевій поверхні.



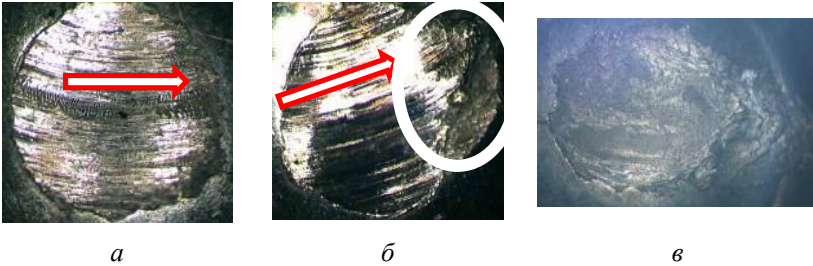
а) без мастила; б) яловичий жир; в) синтезована основа ГЯ 1,2- 35/65;  
 з) мастило на основі ГЯ 1,2-35/65; д) Літол-24

Рис. 16. Пляма зносу кульки за  $P_{кр}$  для різних мастильних матеріалів (стрілкою зазначено напрям руху)

Більш наочно різниця у поведінці досліджених мастильних матеріалів та характер зношування металевій поверхні проявляється за навантажень зварювання (рис. 17). На плямі зносу при дослідженні яловичого жиру спостерігається доріжка зношування металевій поверхні – зношування під час заїдання. Для плями зносу при терті з синтезованою основою ПЕТ-ацилгліцерол, поверхня рівна, відбулося вирівнювання нерівностей за рахунок пластичних деформацій і утворення наклепу металу. Підвищена рухомість пластичного шару металу обумовлює вихід з



глибинних шарів металу на поверхню дислокацій та їх концентрацію у частині наклепаного матеріалу. За рахунок цього відбувається підвищення твердості та крихкості металу у наклепаному шарі. На рис. 17, б видно злом металу при крихкому руйнуванні. У випадку досліджень Літолу-24, на плямі зношування видно локальні ділянки зварювання і значне пластичне деформування поверхні металу.



а) яловичий жир; б) синтезована основа ГЯ 1,2-25/75  
(колом виділена ділянка крихкого руйнування); в) Літол 24

Рис. 17. Пляма зносу кульки при  $P_{зв}$  для різних мастильних матеріалів

Триботехнічні дослідження підтверджують, що розроблені складні пластичних мастильних матеріалів на основі ПЕТ-ацилгліцеролів, що містять цільові присадки, дозволяють отримати показники характеристик, які переважають показники промислових мастил Літол-24, ЦІАТИМ-201, Divinol Fett R2, P-113.

**П'ятий розділ** присвячено дослідженню екологічної безпеки мастил на основі природних жирів. В розділі проведено аналіз доцільності виробництва мастильних матеріалів з природних жирів методом оцінки життєвого циклу (LCA). Основні етапи життєвого циклу біомастил включають: переробку тваринного жиру, отримання мастильних матеріалів, використання та утилізацію їх.

Для традиційних мастил етапи життєвого циклу передбачають видобуток сирої нафти, переробку нафти, отримання мастил, використання та утилізацію.

Сумарний екологічний індекс впливу на навколишнє середовище, визначений за методикою Eco-indicator – 95 (рис. 18) свідчить про те, що найбільш негативний вплив здійснюють мастила на мінеральній основі.

Для підтвердження екологічної безпеки розроблених змащувальних матеріалів було проведено дослідження із схильності до біодеградації (БДГ). Принцип методу дослідження і наступні розрахунки базуються на вимірюванні біохімічного споживання кисню (БСК) і аналізі залишкового вмісту хімічних речовин з метою оцінки здатності до біорозкладання. Показник БСК розраховували за зміною концентрації кисню у середовищі, яку вимірювали оксиметром – EZODO-7031.

Результати розрахунку ступеню деградації розроблених мастил порівняно з промисловими зразками наведено на рис. 19.

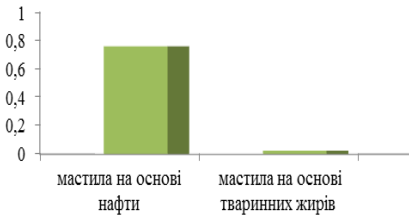
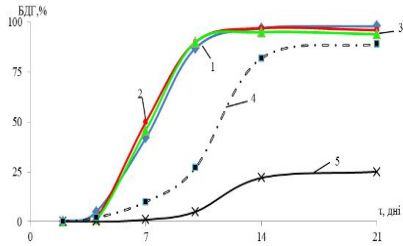


Рис. 18. Екоіндикатори, визначені за методикою Eco-indicator-95 для двох варіантів отримання мастил



1 – анілін; 2 – ріпакова олія;  
3 – яловичий жир;  
4 – змащувальний матеріал на основі яловичого жиру; 5 – P113

Рис. 19. Ступінь деградації мастильних матеріалів

Ступінь біодеградації синтезованих мастильних матеріалів на основі природних жирів відповідає екологічним вимогам і не поступається біодеградації природних матеріалів.

## ВИСНОВКИ

1. Одним із шляхів запобігання негативного впливу на навколишнє середовище мінеральними та синтетичними мастилами може стати, на сьогодні, напрям матеріального забезпечення галузі новими матеріалами, виготовленими за розробленими і удосконаленими технологіями рециклінгу полімерних відходів.

2. Запропонована теоретична модель процесу синтезу нового класу основ мастильних матеріалів за рахунок прищеплення до жирів молекул олігомерів.

3. Розроблено фізико-хімічні основи синтезу мастильних матеріалів із застосуванням технологій рециклінгу відходів поліетилентерефталату.

4. Вперше запропоновано оцінювати стійкість до окиснення матеріалів, що досліджуються за величиною зміни динамічної в'язкості залежно від температури та швидкості деформації зсуву. Встановлено, що найбільш ефективними інгібіторами окиснення природних жирів є антиоксиданти фенольного типу (Irganox L06, Irganox L109) та сумішевого – суміш аміних та високомолекулярних фенольних антиоксидантів Irganox L150, стійкість до окиснення жирів збільшується до 75 %. Доведено, що шляхом прищеплення до молекули жиру фрагменту ланки поліестеру та додавання антиоксиданту, стійкість до окиснення мастильних композицій на основі синтезованих ПЕТ-ацилгліцеролів можна підвищити на 70–100 %.

5. Встановлено, що природні жири відносяться до неньютонівських псевдопластичних рідин, в'язкість яких знижується при зростанні швидкості зсуву. Для яловичого жиру при швидкостях зсуву в діапазоні від 1333 с<sup>-1</sup> до 10667 с<sup>-1</sup> в'язкість зменшується від 37 мПа·с до 26 мПа·с, для курячого жиру – від 48,7 мПа·с до 19,2 мПа·с, ріпакової олії – від 33,7 мПа·с до 14 мПа·с, при цьому зміна в'язкості від швидкості деформації зсуву для природних жирів описується рівнянням плинуненьютоновських псевдопластичних рідин Power Law. Встановлено, що відмінність базових основ змащувальних матеріалів насичених відходами поліетилентерефталату від ацилгліцеролів природних жирів полягає у наявності значних пружних властивостей – здатності проявляти пружне відновлення форми;

6. Доведено, що триботехнічні характеристики розроблених складів пластичних мастильних матеріалів на основі ПЕТ-ацилгліцеролів, що містять цільові присадки, перевершують показники промислових пластичних мастил Літол-24, ЦИАТИМ-201, Divinol Fett R2, P-113. У середньому, показники критичного навантаження розроблених мастильних матеріалів у порівнянні з промисловими мастилами зростають до 45 %, значення навантаження зварювання – на 60 %; показники зношування зменшуються на 54 %, значення коефіцієнтів тертя – зменшується в два рази.

7. Методом ОЖЦ встановлено, що значний негативний вплив навколишньому середовищу завдається під час етапів отримання мастила на основі нафтопродуктів і розрахований сумарний екологічний індекс шкідливого впливу на навколишнє середовище, розрахований за методикою Eco-indicator – 95, в цьому випадку більший майже в 40 разів. Ступінь біодеградації розробленого мастильного матеріалу на основі яловичого жиру становить майже 90 % і наближається до показників біодеградації природних жирів, що становлять 96 % та 94 % для ріпакової олії та яловичого жиру відповідно, ступінь біодеградації промислового мастильного матеріалу на нафтовій основі P113 становить 25 %.

8. Розроблений мастильний матеріал на основі природного жиру та відходів ПЕТ був апробований на підприємстві “Цем-Ресурс 1” в буринних установках Atlas Copco ROC L7. Річний економічний ефект від застосування розроблених мастильних матеріалів виготовлених на основі вторинної сировини – природних жирів та відходів полімерів, складає 507,45 тис. грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мандзюк І. А. Перспективи використання тваринних жирів як “альтернативної сировини” при розробці змащувальних матеріалів. Повідомлення 1 / І. А. Мандзюк, **К. О. Присяжна** // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 3. – С. 194–199. *Особистий внесок дисертанта: вивчення реологічних властивостей природних жирів.*

2. Mandzyuk I. The bases for lubricating materials synthesized by technologies of thermoplastic waste recycling / I. Mandzyuk, **K. Prisyazhna** // Problems of Tribology. – 2016. – № 1. – P. 25–30. *Особистий внесок дисертанта: дослідження з ефективності дії різних за класом антиоксидантів Irganox.*

3. Igor Mandziuk. Industrial lubricants based on renewable raw materials report 1. study of properties acylglycerol natural fats / Igor Mandziuk, **Kateryna Prisyazhna** // Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series Chemistry. – 2015. – № 23. – P. 32–37. *Особистий внесок дисертанта: дослідження реологічних властивостей ацилгліцеролів природних жирів.*

4. Мандзюк І. А. Новий клас основ мастильних матеріалів за вимогами “зеленої трибології” / І. А. Мандзюк, **К. О. Присяжна** // Проблеми трибології. – 2017. – № 1. – P. 35–40. *Особистий внесок дисертанта: дослідження триботехнічних властивостей мастильних матеріалів.*

5. Mandzyuk I. Base oils bases synthesized using technologies of recycling waste products of thermoplastics / I. Mandzyuk, **K. Prisyazhna** // Proceedings of the International Conference BALTRIB'2015 (Kaunas, Lithuania 26–27 november 2015). – Kaunas, 2015. – P. 38–43. *Особистий внесок дисертанта: вивчення схильності природних жирів до окиснення.*

6. Mandzyuk I. Animal fats as an alternative raw material for developing formulations of lubricants / I. Mandzyuk, **C. Prisyazhna** // The 1<sup>st</sup> International Academic Conferece “Science and Education in Australia, America and Eurasia: Fundamental and Applied Science”. Paper and commentaries (25 June 2014 Australia, Melbourne). – 2014. – Vol. 1. – P. 75–80. *Особистий внесок дисертанта: визначення кислотних чисел природних жирів.*

7. Мандзюк І. А. Температурно-частотні характеристики реометричних досліджень розплавів поліолефінів / І. А. Мандзюк, **К. О. Присяжна** // Композиційні матеріали в промисловості : 33 щорічна міжнар. конф. (м. Ялта, 27–31 травня 2013 р.). – Ялта, 2013. – С. 251–253. *Особистий внесок дисертанта: дослідження реометричних властивостей розплавів поліолефінів.*

8. Мандзюк І. А. Перспективи розробки змашувальних матеріалів технічного призначення на основі відновлювальної природної сировини / І. А. Мандзюк, **К. О. Присяжна**, О. В. Диха // Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. з міжнар. участю (м. Луганськ, 4 квітня 2014 р.). – Луганськ : вид-во ДЗ “ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2014. – С. 21–24. *Особистий внесок дисертанта: аналіз науково-технічної літератури щодо перспектив використання природних жирів в якості основи мастильних матеріалів.*

9. Присяжна К. О. Альтернативна сировина виготовлення біодеградуючих мастильних матеріалів / К. О. Присяжна, Ю. М. Гребенець, Р. В. Макар // Наукова Україна : зб. матеріалів Всеукр. студ. наук. конф. з міжнар. участю (25 травня 2015 р.). – Дніпропетровськ : “SeKum Software”, 2015. – С. 361–364. *Особистий внесок дисертанта: дослідження з визначення зміни кислотного числа досліджуваних матеріалів та вимірювання динамічної в'язкості залежно від зміни температури та швидкості деформації зсуву.*

10. **Присяжна К. О.** Природні жири як базова основа розробки технічних змащувальних матеріалів / К. О. Присяжна, І. А. Мандзюк // Хімія та сучасні технології : тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф. студ., асп. та молодих вчених (27–29 квітня 2015 р.). – Дніпропетровськ, 2015. – Т. IV. – С. 153–155. *Особистий внесок дисертанта: дослідження з визначення кінематичної в'язкості, температури краплепадіння.*

11. Мандзюк І. А. Разработка смазочных материалов в рамках концепции “Зеленой трибологии” / І. А. Мандзюк, **К. О. Присяжна** // Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці : зб. наук. пр. IV наук. конференції. – Харків : Технологічний Центр, 2016. – 100 с. *Особистий внесок дисертанта: дослідження триботехнічних властивостей розроблених складів базових основ мастильних матеріалів.*

12. Декл. патент на корисну модель № 110856 Україна, МПК<sup>7</sup> C10M 107/04, C10M 101/00, C11C 3/06, C10N 40/02. Склад консистентного мастила / І. А. Мандзюк, К. О. Присяжна ; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет. – № u201603572 ; заявл. 04.04.2016 ; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20. – 3 с.

13. Декл. патент на корисну модель № 110857 Україна, МПК<sup>7</sup>. Консистентне мастило / І. А. Мандзюк, К. О. Присяжна ; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет. – № u201603574 ; заявл. 04.04.2016 ; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20. – 3 с.

## АНОТАЦІЯ

**Присяжна К. О. Екологічно безпечні мастильні матеріали за технологіями рециклінгу полімерних відходів. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство. – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2017.

Розроблено новий клас мастильних матеріалів на основі природної відновлюваної, біодеградуєчої сировини з використанням технологій рециклінгу полімерних відходів. Запропоновано теоретичну модель синтезу екологічно безпечних мастильних матеріалів на основі природних жирів шляхом прищеплення фрагменту молекули поліетилентерефталату. Здійснено комплекс досліджень з визначення стійкості досліджуваних матеріалів до окиснення, досліджено реологічні властивості систем у динаміці їх еволюційного ускладнення. Перехід від вихідних жирів: яловичого жиру і ріпакової олії до синтезованих, на їх основі та відходів ПЕТ сполук (ПЕТ-ацилгліцеролів) забезпечує покращення триботехнічних показників.

Проведено аналіз життєвого циклу мастильних матеріалів на традиційній мінеральній основі та розроблених матеріалів на основі відновлювальної сировини. Вивчення схильності до біодеградації розроблених мастильних матеріалів підтверджує їх екологічну безпечність.

**Ключові слова:** мастильний матеріал, природний жир, рециклінг, поліетилентерефталат, біодеградація.

## АННОТАЦИЯ

**Присяжная Е. А. Экологически безопасные смазочные материалы, полученные по технологиям рециклинга полимерных отходов. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – материаловедение. – Луцкий национальный технический университет. – Луцк, 2017.

Разработан новый класс смазочных материалов на основе природного возобновляемого, биоразлагаемого сырья с использованием технологий рециклинга полимерных отходов.

Предложена теоретическая модель синтеза экологически безопасных смазочных материалов с высокой степенью адгезии к поверхности металла, на основе природных жиров путем привития фрагмента молекулы полиэтилентерефталата. Построенные квантово-химические модели и рассчитаны термодинамические параметры ацилглицеролов жиров, ПЭТ-ацилглицеролов. Осуществлен комплекс исследований по определению устойчивости природных жиров, их производных – ацилглицеролов, базовых основ ПЭТ-ацилглицеролов, композиций смазочных материалов к окислению за изменением показателей динамической вязкости. Проведен анализ эффективности действия различных по типу антиоксидантов Irganox (BASF). Доказано, что прививка звена полиэтилентерефталата к молекуле жира и добавление антиоксидантов позволяет существенно повысить стойкость к окислению композиций смазочных материалов. Исследованы реологические свойства систем в динамике их эволюционного усложнения – от природных жиров к композициям смазочных материалов. Экспериментально подтверждено, что природные жиры по характеру течения относятся к неньютоновским псевдопластическим материалам, их поведение описывается законом Power Law. Характер течения ацилглицеролов по сравнению с жирами меняется и описывается уравнением Herschel-Bulkley для вязкопластичных жидкостей. Отличие базовых основ смазочных материалов насыщенных отходами ПЭТ от ацилглицеролов жиров заключается в наличии значительных упругих свойств, то есть способности проявлять упругое восстановление формы.

Результаты триботехнических исследований демонстрируют качественное позитивное изменение свойств исследованных смазок с усложнением их структурного строения. Переход от исходных жиров: говяжьего жира и рапсового масла к синтезированным на их основе и отходов ПЭТ соединений обеспечивает улучшение, как показателей износа, так и уменьшения склонности к свариванию.

Проведение анализа жизненного цикла смазочных материалов на традиционной минеральной основе и разработанных материалов на основе возобновляемого сырья доказывает, что более негативное воздействие на окружающую среду оказывается в процессе изготовления масел на минеральной основе. Изучение склонности к биодegradации разработанных смазочных

материалов підтверджує їх екологічну безпеку, оскільки, ступінь біодеградації наближається до значень біодеградації природних жирів.

**Ключові слова:** мастильний матеріал, природний жир, рециклінг, поліетилентерефталат, біодеградація.

## SUMMARY

### **Prysiazhna K. O. Ecologically safe lubricants based on technology of recycling of polymeric waste. – Manuscript.**

Dissertation for obtaining a level of Candidate of technical science on specialty of 05.02.01 – science of materials. – The Lytsk National Technical university. – Lytsk, 2017.

It is suggested the development of a new class of lubricants based on natural renewable biodegradable raw materials using the technology of recycling of polymeric waste. It is suggested the theoretical model of synthesis of ecologically safe lubricants on natural fats basis with the method of adding of fragment of polyethylene terephthalate molecule. It has been carried out a number of investigation for determination of resistance of studied materials to corrosion. Has been studied reological properties of systems in dynamics of their evolutionary complication. Transition from initial fats: from beef fat and raps oil to the synthesized ones and PET waste (PET acilglycerol) improves the tribo-technical indexes. Has been done technical analysis of lubricants lifecycle based on traditional natural basis and also materials based on recyclable raw materials. The study of disposition towards biodegradation of designed lubricants proves their ecological safety.

**Key words:** lubricants, natural fat, recycling, biodegradability, polyethylene terephthalate.

Підписано до друку 13.05.2017. Формат 30 × 42/4.

Ум. друк. арк. – 0,9. Обл.-вид. арк. – 1,0.

Наклад 100 прим. Зам. № 66/17, 2017

---

Редакційно-видавничий центр ХНУ.  
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1.  
Свідоцтво про внесення в Державний реєстр,  
серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.