

Міністерство освіти та науки України
Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського
Природничо-географічний факультет
Кафедра хімії та методики навчання хімії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«МАСТИЛЬНІ КОМПОЗИЦІЇ НА ОСНОВІ ПРОДУКТІВ КОМПЛЕКСНОГО ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД СУЛЬФІД-, ГІДРОСУЛЬФІД- ТА КУПРУМ(II)-ІОНІВ»

Виконав:

Здобувач 2 курсу

СВО магістра групи МХП

Освітня програма Хімія. Прикладна хімія

Спеціальність 102 Хімія

Галузь знань 10 Природничі науки

Манченко Іван Вікторович

Науковий керівник: кандидат технічних наук,
доцент кафедри хімії та методики навчання
хімії

Худоярова Ольга Степанівна

Розширена шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка:ECTS _____

Голова Екзаменаційної комісії _____ (_____)

Члени комісії: _____ (_____)

_____ (_____)

_____ (_____)

м. Вінниця – 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена питанню створення нових матеріалів, вирішенню актуальної проблеми використання відходів водоочищення для отримання корисних технічних продуктів, зокрема, компонентів спеціальних пластичних мастил. Проведено дослідження застосування відпрацьованих сорбентів на основі активованого вугілля та кізельгуру після комплексного адсорбційного очищення промислових стічних вод від Cu^{2+} , S^{2-} та HS^- іонів у складі пластичних мастил. До складу останніх входить тверда модифікована поверхня сорбентів $[(\text{AB} + \text{CuS} + \text{S}) + (\text{K} + \text{MEA})]$ та регенована промислова олива І-40А. Високі реологічні властивості пластичних мастил забезпечуються модифікацією твердої поверхні компонентів, на яких є активні центри хемосорбції.

Ключові слова: пластичні мастила, комплексне адсорбційне очищення, відходи сорбентів, хемосорбція, реологічні властивості.

ABSTRACT

The work is devoted to the issue of creating new materials, solving the urgent problem of using water treatment waste to obtain useful technical products, in particular, components of special plastic lubricants. The study of the use of spent sorbents based on activated carbon and kieselguhr after complex adsorption treatment of industrial wastewater from Cu^{2+} , S^{2-} and HS^- -ions in the composition of plastic lubricants was carried out. The composition of the latter includes a solid modified surface of sorbents $[(\text{AB} + \text{CuS} + \text{S}) + (\text{K} + \text{MEA})]$ and regenerated industrial oil I-40A. High rheological properties of plastic lubricants are provided by modification of the solid surface of components, which have active chemisorption centers.

Keywords: plastic lubricants, complex adsorption purification, sorbent waste, chemisorption, rheological properties.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ.....	9
1.1. Класифікація мастильних матеріалів.....	9
1.2. Склад і основні властивості пластичних мастил.....	12
1.3. Методи одержання мастильних матеріалів.....	14
1.4. Фізико-хімічні властивості мастил.....	17
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	20
2.1. Характеристики досліджених промислових об'єктів.....	20
2.2. Методики дослідження промислових об'єктів.....	22
2.3. Методики приготування та дослідження властивостей мастильних композицій.....	24
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	27
3.1. Комплексне адсорбційне очищення промислових стічних вод від сульфід-, гідросульфід- і купрум(II)-іонів.....	27
3.2. Адсорбційне очищення відпрацьованих індустріальних олив.....	34
3.3. Розроблення мастильних композицій.....	37
3.4. Дослідження триботехнічних властивостей мастильних композицій.....	42
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	50
ДОДАТОК.....	55

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПМ – пластичне мастило

МК- мастильні композиції

АВ – активоване вугілля

К – кізельгур

ГДК – гранично допустима концентрація

НПЗ – нафтопереробний завод

ВФ – виробнича фірма

ПАТ – публічне акціонерне товариство

ВІО – відпрацьована індустріальна олива

ВНО – відпрацьована нафтова олива

РФА – рентгенофазовий аналіз

ІЧ спектроскопія – інфрачервона спектроскопія

БТА – бензгіоанлід

МП – модифікована поверхня

МЕА – моноетаноламін

ВСТУП

Створення нових речовин і матеріалів є важливими показниками розвитку суспільства. Пріоритетні напрямки наукових досліджень в Україні визначаються законодавством з урахуванням сучасних викликів, зокрема пов'язаних із воєнним станом, обороною та повоєнним відновленням. Одними із ключових пріоритетів є раціональне природокористування та нові речовини і матеріали [1]. Невпинний розвиток економіки, виклики сьогодення спонукають до впровадження нових технологій і створення нових матеріалів.

Комплексне використання сировини - одна з найважливіших задач економії ресурсів, рішення якої допоможе також істотно поліпшити охорону навколишнього середовища. Також важливим завданням сучасного суспільства є використання накопичених відходів як вторинної сировини, зокрема, для отримання нових корисних матеріалів. В Україні склалася критична ситуація з накопиченням, переробленням та утилізацією відходів. Для вирішення питання утилізації відходів в Україні в 2017 році розроблена Національна стратегія з управління відходами, що передбачає план до 2030 року. Необхідно вирішити питання утилізації відходів та гармонізувати політику поводження з відходами з європейськими вимогами [2].

На сьогодні вкрай мало технологічних розробок одержання цінних технічних продуктів на основі компонентів, вилучених в результаті комплексного очищення промислових стоків від забруднювачів та регенерації рідких та твердих відходів виробництв. Це стосується і технології одержання пластичних мастил. Пластичні мастила (ПМ) займають особливе місце серед мастильних матеріалів. Пластичні мастила в першому наближенні є стійкими колоїдними системами, складаються з трьох компонентів: оливної основи (дисперсійне середовище), твердого загусника (дисперсна фаза) і добавок та мають спроможність відновлювати свій структурний каркас після його руйнування [3, 4]. Об'єм виробництва мастил дуже малий порівняно з випуском олив, і використовуються вони там, де немає можливості вживати

рідкі оливи. Мастила використовуються у тих вузлах тертя, де не має змоги використовувати рідкі ММ (оливи). Під дією невеликих зусиль мастила мають ознаки твердого тіла – можуть утримуватися на вертикальних і похилих поверхнях. Із зростанням навантаження мастило починає деформуватися. При дії критичних навантажень мастила працюють як рідина – характеризуються текучістю. Після зняття навантаження течія мастила припиняється, і воно знов набуває властивостей твердого тіла. Таке поєднання властивостей твердого тіла і рідини обумовлено будовою пластичних мастил – наявністю структурного каркаса. Роль структурного каркаса в пластичних мастилах виконує загусник, який утримує у своїх комірках рідке середовище [4]. Основним призначенням пластичних мастил є зменшення зносу поверхонь тертя для продовження ресурсу деталей машин і механізмів. Однак мастила виконують ряд інших корисних функцій. Вони перешкоджають утворенню задирів на поверхні, мінімізують заїдання або заклинання поверхонь тертя, перешкоджають проникненню на поверхню тертя агресивних рідин, газів і пари, а також абразивних частинок (пилу, бруду та ін.), тобто, вони відіграють роль ефективних герметиків. На експлуатаційні якості мастильного матеріалу впливає дисперсійне середовище – олива. Тип оливи (мінеральна, синтетична і їх якість) впливає на стабільність мастила, формування структури: її розмір, орієнтацію частинок. На структуру мастильного матеріалу також впливають такі сполуки, як присадки та модифікатори структури.

Науково-практичним завданням сьогодення є зменшення техногенного навантаження, пов'язаного з накопиченням, поводженням та мінімізацією відходів. Відповідно до принципів «зеленої хімії» [5, 6], відходи виробництва або вторинна промислова сировина повинні підлягати хімічній переробці, а не спалюванню та зберіганню на спеціальних полігонах. Аналіз останніх досліджень і публікацій [7, 8] показав, що сумісна переробка та утилізація відходів процесу міднення гальванічного виробництва і високотоксичних відпрацьованих сульфідно-лужних розчинів нафтопереробних заводів дасть змогу вилучити цінні хімічні сполуки, повторно їх використовувати та суттєво

покращити екологічний стан довкілля в місцях їх зберігання. Фундаментальна залежність «склад–властивості–застосування» надає можливість не лише прогнозувати необхідні експлуатаційні властивості нових ПМ, а і наперед передбачити необхідність використання конкретних складових компонентів у таких складних колоїдних системах. Ця фундаментальна залежність стала основою при розробці та дослідженні карбон-сульфурвмісних мастильних композицій.

Мета роботи: розробити мастильні композиції, до складу яких входить карбон-сульфурвмісна складова як продукт комплексного адсорбційного водоочищення від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів та регенерована індустриальна олива.

Завдання дослідження:

- провести літературний аналіз відомих мастильних композицій, розглянути їх класифікацію, склади, фізико-хімічні властивості, застосування;
- провести експериментальні дослідження комплексного адсорбційного очищення стічних вод, що містять сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іони на прикладі модельних розчинів;
- провести експериментальні дослідження по адсорбційній очистці відпрацьованих мінеральних олив;
- визначити оптимальні фізико-хімічні або термічні методи переробки продуктів очищення для отримання функціональних компонентів мастил;
- розробити склади і приготувати мастильні композиції;
- провести хімічну та структурну ідентифікацію отриманих компонентів, зокрема їхніх антифрикційних та протизносних властивостей.

Методи дослідження. Теоретичні та емпіричні методи. Аналітична частина роботи включає методи: моделювання, експеримент, вимірювання, розрахунок, аналіз, опис. Триботехнічні характеристики пластичних мастильних композицій визначали на машині тертя типу СМЦ-2.

Об'єкт дослідження: продукти комплексного сорбційного очищення промислових стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів,

регенерована відпрацьована олива та мастильні композиції, створені на їх основі.

Предмет дослідження: фізико-хімічні властивості продуктів комплексного сорбційного очищення промислових стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів, регенованої відпрацьованої оливи, експлуатаційні властивості отриманих мастил.

Наукова новизна роботи полягає в комбінації детального аналізу мастильних матеріалів, їх складових з пошуком інноваційних рішень використання відпрацьованих сорбентів після комплексного адсорбційного очищення промислових стічних вод від Cu^{2+} , S^{2-} та HS^- іонів та регенованих мінеральних олив у складі пластичних мастил.

Структура і обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку джерел інформації (41 найменування). Загальний обсяг роботи становить 58 сторінок. Робота містить 12 рисунків і 9 таблиць, 1 додаток.

Результати роботи викладено в наукових статтях:

1. Худоярова О.С., Манченко І.В. Мастильні композиції на основі продуктів комплексного очищення промислових стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів. XVIII Полтавські хімічні читання: Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції Полтава: Редакційно-видавничий відділ ПНПУ імені В. Г. Короленка. 2025. С.83-86.

2. Худоярова О.С., Немировська А.Ю., Манченко І.В. Одержання ефективних сорбентів із відходів виробництв. Інноваційні матеріали та технології: біотехнологія, прикладна хімія, екологія: Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 95-річчю Київського національного університету технологій та дизайну. Київ, КНУТД, 30-31 жовтня 2025 року. Київ : КНУТД, 2025. С. 120.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Мастильні матеріали - це матеріали, які наносять на поверхні тертя рухомих частин механізмів, машин і приладів для виконання низки ключових функцій. Основне призначення мастильних матеріалів - зменшення тертя та запобігання зношуванню деталей. Переваги мастил перед оливами полягають у здатності утримуватись в негерметизованих вузлах тертя, кращих мастильних якостях, більш високих захисних якостях, високій економічності використання[3]. Мастильні матеріали характеризуються широким асортиментом і колом споживачів. Проте частка мастильних матеріалів (ММ) у продукції перероблення нафти становить лише 1,2 %. Потреби економіки нашої держави на сьогодні покриваються до 80 % імпортом ММ.

Механічному зношуванню під час експлуатації машин піддаються пари тертя – сполучені деталі, що рухаються відносно одна одної з певним навантаженням. Вузли тертя, що змащують пластичними мастилами, простіші в обслуговуванні, не так часто вимагають заміни мастильного матеріалу і не потребують постійного нагляду за їх роботою. При невеликій швидкості переміщення і порівняно великих навантаженнях (наприклад, підшипники ковзання та кочення) мастило не повністю розділяє деталі, і вони контактують між собою (граничний режим змащення).

1.1. Класифікація мастильних матеріалів

Мастильні матеріали класифікують за різними ознаками [9]. За фізичним станом мастильні матеріали поділяють на [10]:

- рідинні (мастильні оливи): найбільш поширені, використовуються для змащування більшості механізмів.

- пластичні (консистентні мастила): являють собою суміш оливи та загусника (наприклад, мила), використовуються там, де рідинна олива не може утримуватися.
- тверді: графіт, дисульфід молібдену (MoS_2), тальк. Використовуються в умовах екстремальних температур або навантажень.
- газуваті: повітря, інертні гази. Застосовуються в газових підшипниках.

За призначенням та областю використання мастильні матеріали поділяють на моторні оливи: для змащування двигунів внутрішнього згорання (бензинових, дизельних). Класифікуються за в'язкістю та експлуатаційними властивостями: трансмісійні оливи: для змащування коробок передач, редукторів, мостів.

Також класифікуються за в'язкістю та експлуатаційними властивостями: індустріальні оливи: для верстатів, пресів, компресорів, насосів, турбін (турбінні, компресорні, циліндрові, тощо). Класифікуються за ISO VG (клас в'язкості) та стандартами DIN або ISO-L (за типом присадок): гідравлічні оливи для гідравлічних систем (приводів). Класифікуються за в'язкістю та наявністю присадок (наприклад, за ISO-L).

Наведену на рис. 1.1 класифікацію мастильних матеріалів наведено на основі таких функціональних характеристик: фізичні ознаки (фізичний стан), сукупність яких дає змогу окреслити певну сферу й технологію застосування мастильного матеріалу; – компонентний склад (вид базової компоненти, загусника тощо), який визначає умови застосування мастильного матеріалу (температура, тиск, хімічний склад речовини, що змащується, навколишнє середовище тощо).

Пластичні мастила (ПМ) складають окрему групу мастильних матеріалів, що в першому приближенні є стійкими колоїдними системами, які складаються із рідкого середовища, дисперсних твердих загущувачів та додатків спеціального призначення. Принципова різниця ПМ від рідких олив полягає в тому, що завдяки специфічним інгредієнтам вони утворюють жорсткий «каркас» і при незначних навантаженнях ведуть себе як тверді тіла,

а при критичних «каркас» ламається і ПМ можуть переходити в рідкий стан. Ці переходи зворотні.

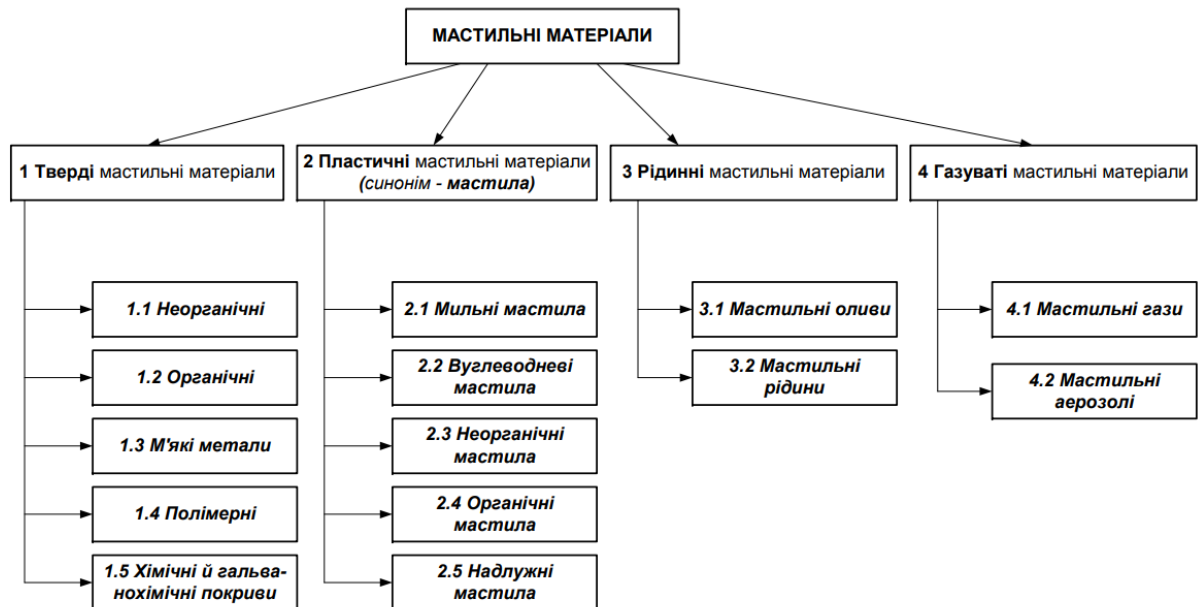


Рис. 1.1. Класифікація мастильних матеріалів [9]

Практичне значення ПМ величезне, вони використовуються там, де немає змоги використати рідкі оливи. Головне призначення ПМ – зменшення зносу поверхонь тертя для продовження терміну експлуатації деталей машин та механізмів. Однак, пластичні мастила виконують ще цілу низку корисних функцій. В окремих випадках при високих навантаженнях та високих температурах вони попереджають задир, заїдання або заклинання поверхонь тертя [3-5]. Пластичні мастила запобігають проникненню до поверхні тертя агресивних рідин, газів та пари, а також абразивних частинок (пилу, бруду тощо), тобто в деякій мірі виконують роль ефективних герметиків. При цьому вони забезпечують [3-5]:

- міцностні якості (ПМ повинно утримуватись на вертикальних, похилих поверхнях тертя, особливо при різкому збільшенні температури);
- механічну стабільність (розрідження при деформації і зворотне загущення при знятті навантаження);

- в'язкістні властивості (в першу чергу ефективність роботи ПМ при низьких температурах);
- колоїдну стабільність (здатність утримувати дисперсійне середовище – базову масляну основу – від відокремлення в окрему масу в результаті зберігання та експлуатації);
- хімічну стабільність (здатність ПМ простояти окисненню під дією кисню повітря);
- термічну стабільність (здатність зберігати пластичний стан під впливом короткочасної дії високих температур);
- випаровуваність рідкої фази базової складової (підвищення концентрації загущувачів за рахунок зменшення рідкої фази, що приводить до погіршення низки експлуатаційних характеристик).

1.2. Склад і основні властивості пластичних мастил

Пластичні мастила в першому наближенні є стійкими колоїдними системами, складаються з трьох компонентів: оливної основи (дисперсійне середовище), твердого загусника (дисперсна фаза) і присадок та мають спроможність відновлювати свій структурний каркас після його руйнування. Як дисперсну фазу використовують оливи нафтового та синтетичного походження (70–80 %), а як загусники – натрієві, літієві, кальцієві, барієві, цинкові та алюмінієві мила або тверді вуглеводні (парафіни, церезини) – (10–15 %). Крім того, до складу пластичних мастильних матеріалів входять різні модифікатори структури, добавки та присадки (1–15 %) [3]. Тип оливи (мінеральна, синтетична та їх якість) впливає на стабільність мастила, на утворення структури: її розмір, орієнтацію часток. На структуру мастила впливають також такі сполуки, як присадки та модифікатори структури. За своїм експлуатаційним призначенням ПМ можуть бути: протизношувальними; протизадирними; антикорозійними; високотемпературними та високонавантажувальними; консерваційними; канатними. Антифрикційні та протизношувальні присадки вводять у мастила

для запобігання руйнуванню мікрорельєфу. У більшості випадків вони хімічно перетворюють (модифікують) поверхню металу, створюють на ній тонку плівку з іншими властивостями, яка розділяє робочі поверхні пар тертя від безпосередньої взаємодії. За останні десятки років на ринках розвинутих країн з'явилася велика кількість різних препаратів і зокрема, додаткових присадок до мастил. Проте, часто відсутня достовірна інформація про сполуки, корисну дію і можливі побічні ефекти при використанні різних присадок до мастил.

Номенклатура та маркування ПМ на сьогодні надмірно великі і ще до кінця не впорядковані, тому їх вибір краще проводити на основі базової основи мастил, згущувачів та цілої низки спеціальних додатків [3-5]. Основні експлуатаційні характеристики та галузь застосування пластичних мастил наведено в Додатку 1 [11].

Пластичні мастила в залежності від умов експлуатації різноманітних машин та механізмів можна розділити на окремі групи. До мастил загального призначення (перша група) відносяться солідоли різної модифікації, що складаються із суміші нафтових олив середньої в'язкості загущених кальцієвими милами синтетичних жирних кислот. Деякі із них, наприклад, Агрінол містить у своєму складі антифрикційні добавки. ПМ першої групи, як правило, використовують в грубих вузлах тертя, температура експлуатації яких не перевищує $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Багатоцільові мастила (Літоли, Фіоли, друга група) складаються із суміші нафтових олив в'язкістю $60\text{--}75\text{ мм}^2/\text{с}$, загущених літієвим милом 12-гідроксистеаринової кислоти і містять також антифрикційні добавки. Такі ПМ використовують у більш важливих і відповідальних парах тертя машин та механізмів, що працюють в температурному інтервалі від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$. При роботі в умовах підвищених температур використовують ПМ (Агрінол 1-13, Азмол 1-13, Консталін, третя група), які складаються із суміші нафтових або циліндрових олив, загущених натрієвими милами жирних кислот касторової оливи. Окрему четверту групу складають специфічні термостійкі ПМ, які працюють в температурному інтервалі $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +160\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 200\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Безумовно,

такі унікальні можливості забезпечують складові таких мастил. Їх основу складають силіційорганічні речовини. Згущувачем виступає силікагель (Азмол БНЗ, Сілікол, Азмол Графітол, Азмол Аерол) або його модифікована форма (БНЗ-4, Графітол). Крім цього, як загущувач та додаток, який забезпечує високі термічні властивості, вводять графіт (Графітол), неорганічні пігменти, а також молібден дисульфід та антиокислювальні добавки. Тобто, високотемпературні ПМ при забезпеченні необхідних експлуатаційних властивостей включають такі складові: графіт; модифікований аеросил; силікагель (SiO_2) як згущувач; молібден дисульфід (MoS_2).

1.3. Методи одержання мастильних матеріалів

Чисельні умови експлуатації вимагають розробки і використання великої кількості спеціальних пластичних мастил, що різняться як за складом, так і за призначенням та експлуатаційними характеристиками [13]. На сьогодні великий об'єм прикладних досліджень пояснює зв'язок отриманих експериментальних матеріалів з будовою структурного каркаса пластичних мастил, їх реологічними та експлуатаційними характеристиками, фізико-хімічними властивостями дисперсійного середовища та дисперсних фаз. Експлуатаційні характеристики пластичних мастил можна суттєво покращити за рахунок введення до їх складу функціональних додатків, наповнювачів.

Сутність виготовлення ПМ полягає у створенні структурованої колоїдної системи, що має необхідні експлуатаційні характеристики [3]. Тому під час виробництва мастил для одержання необхідної структури слід ретельно витримувати технологічні режими: температуру й тривалість змішування компонентів, охолодження та гомогенізацію суміші, додавання присадок, додатків, модифікаторів і наповнювачів. Для одержання мастил можуть використовуватися готові загусники. Такі загусники, як мила й полісечовини, можуть також готуватися *in situ*, тобто, у процесі приготування самого мастила змішуванням реагентів у дисперсійному середовищі.

Приготування мастил з готових загусників полягає в інтенсивному

механічному диспергуванні загусника в оливі. Для вуглеводневих і деяких мильних мастил буває досить простого перемішування при нагріванні. Такі загусники, як глини, аеросил вимагають більш активного впливу, до яких відносяться циркуляція суміші по контуру, проміжна гомогенізація. Приготування загусника *in situ* відбувається під час змішування реагентів в дисперсійному середовищі або його частини. Наприклад, для приготування мила в реактор завантажують дисперсійне середовище, жири та водний розчин (або суспензію) гідроксиду металу. Суміш нагрівають до 200 °C і більше та перемішують протягом заданого часу (10-40 хв.). У реакторі відбувається омилення жиру з утворенням мила й гліцерину. Гліцерин залишається в мастилі, а надлишок води випаровується. Для цього використовуються спеціальні випарні апарати. Повністю воду з мастила видалити не можна, і тому частина її (до декількох відсотків на мастило) залишається. Іноді це виявляється корисним. Наприклад, вода в гідратованих кальцієвих змащеннях служить стабілізатором їх структури. Іншим прикладом приготування загусника *in situ* може служити одержання полісечовини. Для цього у дисперсійному середовищі послідовно змішують аміни та ізоціанати, спостерігаючи в процесі реакції між ними інтенсивне загущення суміші з виділенням тепла. Завершується стадія диспергування загусника освітленням гомогенного розплаву або тонкої суспензії.

Охолодження – відповідальна стадія, на якій починається утворення структури мастила. Воно починається в реакторі та триває в спеціальних скребкових холодильниках. Існують інші способи охолодження, наприклад, в тонкому шарі на обертових барабанах. На завершальній стадії процесу охолодження до складу мастила додають більшість присадок і наповнювачів.

Гомогенізація мастила завершує утворення її структури. Вона полягає в інтенсивному механічному впливі на гель. Найпростішим гомогенізатором є тривалкові змішувачі для фарб, в яких через щілини між обертовими валками пропускається мастило. Більш ефективні клапанні і роторно-щілинні гомогенізатори, в яких мастило пропускається з великою швидкістю під

тиском через малі регульовані щілини. Існують гомогенізатори та інших типів.

Деаерація – стадія, якою іноді нехтують. Проте видалення повітря з готового мастила покращує його структуру й зовнішній вигляд.

Фільтрація вихідних компонентів і готових мастил також необхідна для одержання якісного продукту з задовільними антифрикційними характеристиками. З цією метою мастила пропускають через металеві сітки, патронно-щілинні фільтри або фільтри інших, більш складних конструкцій.

Найбільш простою є технологія виготовлення вуглеводневих мастил, що складається з попередньої підготовки вихідних компонентів (тверді вуглеводні, оливи), їх поєднанні під час розплавлення, зневодненні розпаву та його охолодженні.

При виготовленні мастил на вискодисперсному гідрофобізованому силіцій діоксиді, органоглинах, олеофільному графіті, сажі, пігментах та інших неорганічних та органічних загусниках основна стадія технологічного процесу зводиться до механічного диспергування загусника в оливному середовищі та гомогенізації.

Технологія виготовлення мильних мастил та на похідних сечовини, складна та багатостадійна, потребує спеціального апаратурного оформлення. Процес виготовлення мастил на мильних загусниках складається з наступних основних стадій: підготовки та дозування сировини, одержання загусника, його термомеханічного диспергування, охолодження суміші, гомогенізації, фільтрації, деаерації та фасування.

Існує три основні методи виготовлення мастил: періодичний, напівбезперервний та безперервний. Різні максимальні робочі температури, навіть при застосуванні одного і того ж загусника, можуть забезпечити одержання мастил з різними властивостями. У даний час більшість ПМ отримують за допомогою періодичних процесів. На рис.1.2 представлено технологічну схему установки виробництва мильних мастил періодичним методом.

Пластичні мастила представляють собою мазеподібні продукти частіше

від світло-жовтого до темно-коричневого кольору, іноді чорні (графітні) або кольорові [14]. Вони повинні бути однорідними по складу, без комків, абразивних домішок та води, мати високу стабільність, тобто не розшаровуватися на складники. Якщо при зберіганні мастило розшарувалося, то необхідно злити масло яке відокремилось, зняти верхній шар мастила який окислився і використовувати тільки залишену частину.

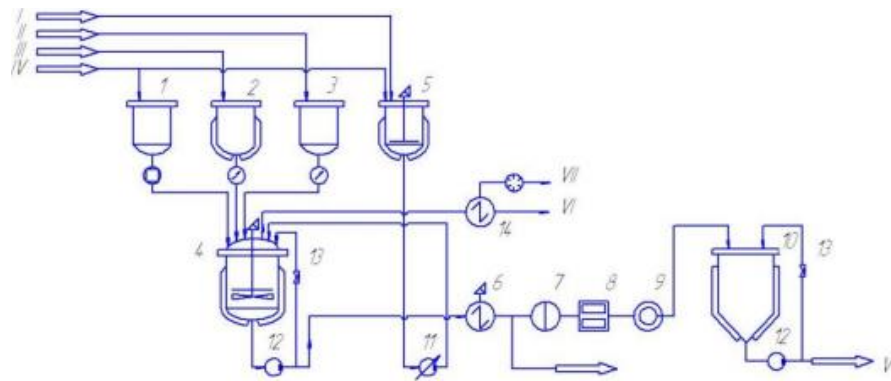


Рис. 1.2. Технологічна схема установки виробництва мильних мастил періодичним методом: (1–3 – сировинні місткості; 4 –скребково-лопатевий апарат; 5 – апарат для виготовлення концентрату присадок; 6 – скребковий холодильник; 7 – фільтр; 8 – гомогенізатор; 9 – деаератор; 10 – накопичувач; 11 – дозувальні пристрої; 12 – насоси; 13 – гомогенізуючі клапани; 14 – конденсатор; 15 – насос вакуумний; I – присадки; II – компоненти, що омиляються; III – розчин (суспензія) гідроксиду металу; IV – олива; V – готова продукція (мастило) на фасування; VI – конденсат; VII – повітря – неконденсовані гази

Ефективність роботи мастильного матеріалу залежить також від особливостей конструкції вузла тертя (типом, розміром, характером, руху поверхонь тертя тощо).

1.4. Фізико-хімічні властивості пластичних мастил

Пластичні мастила (ПМ) характеризуються широким колом споживачів – від побутової до космічної техніки. У багатьох механізмах кількість мастила, що вводиться в вузол тертя, обчислюється в грамах, а терміни заміни мастил складають у низки вузлів кілька тисяч годин роботи [3]. У більшості випадків

експлуатації техніки пластичні мастила використовують для зменшення тертя та зношення деталей, що труться, тобто як антифрикційні. Антифрикційні пластичні мастила застосовують в різних вузлах тертя: підшипниках кочення та ковзання, шестернях і гвинтових передачах, різьбових з'єднаннях та інших.

До найбільш важливих властивостей мастил відносяться [12]: межа міцності, в'язкість, механічна стабільність – тиксотропні властивості, тобто властивості, які характеризують структурно-механічні (реологічні) властивості мастил; стабільність мастил (термічна, колоїдна, хімічна, радіаційна, випаровування); стійкість до зовнішніх впливів.

Температура крапання – це температура падіння першої краплі мастила при нагріванні у визначених умовах. За температурою крапання судять про верхню температурну межу працездатності мастила. Працездатна температура повинна бути на 10...20 ° С нижче температури крапання. Більшість немильних мастил, особливо високотемпературних, взагалі не мають температури крапання. Пенетрація характеризує густину мастила [12]. Число пенетрації виражає глибину занурення стандартного конуса в мастило протягом 5 с при 25 ° С. Чим м'якше мастило, тим глибше занурення конуса в мастило. Під хімічною стабільністю мастил розуміють їх стійкість проти окислення при зберіганні та експлуатації [12]. Окислення мастил знижує їх антикорозійні властивості, а також викликає їх розшарування, погіршення колоїдної стабільності, мастильної та захисної можливості. При підвищенні температури окислення мастил прискорюється. На хімічну стабільність мастил впливає тип загусника та якість дисперсного середовища. Більшість неорганічних та органічних мастил переважають за хімічною стабільністю мильні мастила. Для підвищення хімічної стабільності до мастил додають антиокисні присадки. Поява твердої корки на поверхні мастила при зберіганні свідчить про глибоке окислення мастила.

Основні фізико-хімічні властивості деяких ПМ, що наведені в Додатку 1, подані в табл. 1.1 [12]. Необхідно зазначити, що зміна таких показників, як температура крапання, пенетрація, межа міцності, в'язкість в рамках

розглянутих груп 1→2→3, вказує на наявність фундаментальної залежності «склад – властивості-застосування». Це надає можливість не лише прогнозувати необхідні експлуатаційні властивості нових ПМ, а і наперед передбачити необхідність використання конкретних складових компонентів у таких складних колоїдних системах.

Таблиця 1.1

Фізико-хімічні властивості пластичних мастил (ПМ)

Назва мастил (товарна)	Температура крапання, °C, не менше	Пенетрація при 25 °C, 10 ⁻⁴ мм	Межа міцності при 20 °C, Па	В'язкість при 0 °C та швидкості деформації 10 с ⁻¹ , Па·с	Колоїдна стабільність %, не більше
1. Пластичні мастила загального призначення					
Солідол С	85 ...105	260-310	200-500 (при 50 °C)	< 190	1-5
Солідол Ж	78	230-290	196 (при 50 °C)	< 250	—
1-13	120	180-250	500-1000	< 500	20
Графітна	130	225-275	150-300	250-500	8-20
2. Мастила багатоцільові					
Літол-24	185	220-250	500-1000	0< 280	12
Фіол-1	185	310-340	> 250	< 200	25
Фіол-2	188	265-295	300	< 250	16
3. Термостійкі мастила					
ЦІАТ ІМ-221	200	280-160	250-450	80-200	7
ВНІІ НІІ-207	250	220-245	250-500	180-200	7
ВНІІ НІІ-246	—	345	80-240 (при -80 °C)	500 (при -40 °C)	10
Уніол-1	200	280-320	200-500	< 160	10
Графітол	250	265-295	350-700	300-600	8
ПФМС-4с	—	—	100-200	200-250	1,6
Силікол	250	220-250	700-1000	< 550	9

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ, МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження були продукти комплексного сорбційного очищення промислових стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів, регенована відпрацьована олива та мастильні композиції, створені на їх основі.

Предметом дослідження були фізико-хімічні властивості продуктів комплексного сорбційного очищення промислових стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів, регенованої відпрацьованої оливи, експлуатаційні властивості отриманих мастил.

Особливістю досліджених об'єктів - продуктів комплексного сорбційного очищення промислових стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів та регенованих відпрацьованих олив є те, що при їх очищенні використовувався один і той самий регенований сорбент, який складався із активованого вугілля (AB) та кізельгуру (K). Комплексне використання сорбційних технологій стосовно промислових об'єктів передбачало регенерацію відпрацьованого сорбенту харчової промисловості, очищення стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів. Крім того, адсорбційному очищенню підлягала відпрацьована індустріальна олива І-40А. Регеновану індустріальну оливу в подальшому використовували як складову компоненту високонавантажувального та антифрикційного пластичного мастила спеціального призначення.

2.1. Характеристики досліджених промислових об'єктів

Відпрацьований сорбент (AB + K) після очистки цукрового сиропу у виробництві газованих напоїв. До його складу входили кізельгур марок Бекогур 3500 (90,5% SiO₂) і Бекогур 200 (92,5% SiO₂) та активоване вугілля марки Деколар А (високоактивний сорбент з питомою поверхнею адсорбції 1000–1500 м²/г). Відпрацьований сорбент (AB + K) було відібрано на

підприємстві по виробництву безалкогольних газованих напоїв «Панда» (Вінниця, Україна).

Сульфідно-лужні розчини очищення сирової нафти. Вони є відпрацьованими відходами (стоками). Утворюються в результаті хімічної взаємодії лужного реагенту (найчастіше натрій гідроксиду) із гідрогенсульфідом, меркаптанами та іншими сірчистими сполуками, а також нафтовими кислотами, що містяться в сирій нафті. Такі стоки можуть утворюватися на будь-якому українському підприємстві, що займається нафтопереробкою або великою нафтохімією, де застосовується лужне очищення: Надвірнянський НПЗ (ПАТ «Нафтохімік Прикарпаття»), ТзОВ «Карпатнафтохім» (м. Калуш), Кременчуцький НПЗ (ПАТ «Укртатнафта»). Дослідження, присвячені очищенню таких розчинів, часто використовують модельні стоки, наближені за складом до тих, що утворюються саме на цих заводах. Модельні розчини натрію сульфід- та гідросульфід-іонів 1,40 та 0,21 моль/дм³ відповідно з рН=12,6-13,2 були наближені до сульфідно-лужних розчинів нафтохімічних виробництв.

Промивні води електрохімічного міднення. Ці води є стічними водами і генеруються під час промивання деталей після виходу їх із робочих гальванічних ванн. Після того, як деталь виймають з ванни міднення (яка містить розчини солей міді – сульфат міді, ціаніди міді тощо), на її поверхні залишається тонкий шар робочого електроліту. Деталь обов'язково промивають, щоб видалити цей електроліт і запобігти його висиханню та корозії. Ця вода, яка змиває залишки електроліту, і є промивними водами електрохімічного міднення.

Як промивні води процесу електрохімічного міднення були досліджені модельні розчини купруму(II) сульфату за концентраціями Cu^{2+} -іонів в діапазоні 10-300 г/дм³ з рН=1,5-2,5.

Відпрацьовані індустріальні оливи. Адсорбційній регенерації підлягали відпрацьовані індустріальні оливи І-40 А стендового гідроприводу

екскаватора навчальної лабораторії ВНТУ (м. Вінниця) та відпрацьовані оливи МГЕ-46В редуктора ливарної машини ВМ-650 (ПП «ЄКСІМ», м. Херсон).

Характеристика компонентів досліджених мастильних композицій.

В експериментальних дослідженнях за базове пластичне мастило прийнято консталінове мастило (ПМ-1). На базі цього мастила розроблені композиційні мастила з присадками наступних складів: ПМ-2÷4 (консталінове мастило + графіт + полісульфід міді (II)), ПМ-5÷10 і ПМ-12 (композиції на основі консталінового мастила + штучний «псевдографіт»). Як дисперсійне середовище використовували регенеровані індустріальну оливу І-40А.

Як згущувачі використовували: олеїнову кислоту технічну (ДСТУ 4830:2007), блідо-жовту маслянисту рідину з густиною $0,895 \text{ г/см}^3$, не розчинну у воді, але розчинну в спиртах; модифікований згущувач, що утворюється на регенерованій поверхні (АВ + К) при взаємодії кізельгуру (SiO_2) з моноетаноламіном; борорганічну речовину, яка є продуктом взаємодії борної кислоти та моноетаноламіну (МЕА) у співвідношенні БОР:МЕА = 1 :2.

Як добавки при розробці мастильних композицій використовували: графіт марки ГС-1 із зольністю не більше 0,5 %; «псевдографіт» – відпрацьований сумішевий сорбент після комплексного очищення промислових стічних вод від іонів Cu^{2+} , S^{2-} , HS^- [(АВ + К) + CuS + S] (модифікований сорбент). Для забезпечення високих протизношувальних та антифрикційних властивостей використовували розчин тіобензаніліду (БТА) загальної формули $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}(=\text{S})\text{NHC}_6\text{H}_5$ в індустріальній оливі І-40 А [14].

2.2. Методики дослідження промислових об'єктів

Методика регенерації відпрацьованого сорбенту. Регенерацію сорбенту проведено за методикою, описаною в роботах [15]. Спочатку сорбент промивали водою, а потім додавали послідовно 1% NaOH та 4% HCl. Рациональні параметри регенерації: масове співвідношення сорбент : H_2O = 1:4; час регенерації 45–60 хв; температура процесу 50–60°C; інтенсивність

перемішування реакційної маси 200 об/хв. Після фільтрування, промивання водою та сушіння при 105°C отримували регенерований сорбент (РС).

Методика вилучення іонів купруму(II) з модельних розчинів. Вилучення іонів купруму(II) з модельних розчинів проведено відповідно до методики, описаної в роботі [16]. До 10 г регенерованого сорбенту (РС) додавали 100 см³ модельного розчину купрум(II)-іонів. Одержану суміш інтенсивно перемішували (350 об/хв) впродовж 30–45 хвилин за температури 20–25 °C та залишали її для остаточного закінчення процесу на одну добу за тієї ж температури. Суміш фільтрували під вакуумом і визначали у фільтраті залишкову концентрацію іонів Cu²⁺. На основі одержаних експериментальних даних розраховували ступінь вилучення E (%) купрум(II)-іонів з розчину і величину адсорбції Γ (мг/г).

Методика вилучення сульфід- і гідросульфід-іонів з модельних розчинів (отримання модифікованого сорбенту - МС). Вилучення сульфід- і гідросульфід-іонів з водних розчинів проведено відповідно до методики, описаної в роботах [17, 18]. До 10 г РС через крапельну лійку додавали окремими порціями (~30 см³) сульфідно-лужний розчин. Реакційну масу перемішували швидкісною мішалкою протягом 5–15 хв за температури 20–25 °C. Потім відбирали пробу і проводили якісний аналіз реакційної маси на наявність в ній сульфід- і гідросульфід-іонів. Потім додавали чергову порцію сульфідно-лужного розчину. Повне сорбування сульфід- і гідросульфід-іонів поверхнею сорбенту вважали завершеним за наявності в розчині сульфід- і гідросульфід-іонів. Осад [(сорбент) + S²⁻, HS⁻] (модифікований сорбент – МС) відфільтровували на фільтрі Шотта і висушували. Визначали ступінь вилучення сульфід-і гідросульфід-іонів на стадії модифікації сорбенту.

Методика вилучення іонів купруму(II) на модифікованому сорбенті (МС). Вилучення купрум(II)-іонів з водних розчинів на модифікованому сорбенті проведено відповідно до методики, описаної в роботах [19, 20]. В реактор поміщали 10 г модифікованого сульфід- та гідросульфід-іонами сорбенту. Потім із крапельної воронки додавали першу порцію (~30 см³)

модельного розчину з вмістом купрум(II)-іонів, наприклад, 150,0 мг/дм³. Реакційну масу перемішували швидкісною мішалкою протягом 5–15 хв за температури 20–25 °С. Після цього відбирали пробу і проводили якісний аналіз реакційної маси на наявність в ній не зв'язаних іонів купруму(II). Потім додавали чергову порцію розчину з аналогічною послідовністю проведення операцій. Розраховували ступінь вилучення E (%) купрум(II)-іонів з розчину.

Методика адсорбційного очищення відпрацьованих індустріальних олив.

При адсорбційному очищенні (регенерації) відпрацьованої індустріальної оливи (BIO) I-40 А використовували регенерований сорбент (AB + K), а сам процес здійснювали контактним методом, перемішуючи відпрацьовану оливу та сорбент високошвидкісною мішалкою за кімнатної температури з наступним фільтруванням суміші на вакуумній установці. Як описано в роботах [21, 22], відпрацьовану індустріальну оливу (I-40 А) попередньо очищали від можливих механічних домішок фільтруванням через складчастий фільтр та від води обробкою безводним Na₂SO₄ (1,5г Na₂SO₄ / 100 см³ BIO). Відповідно до методики, описаної авторами [23], до 100 г відпрацьованої індустріальної оливи BIO) I-40А додають 10 г регенерованого сорбенту (PC) у масовому співвідношенні (AB + K) : (BIO) = 1:10. Суміш перемішують на швидкісній магнітній мішалці ($n = 1000-1200$ об/хв), при температурі 20-25 °С протягом 60 хв. Далі суміш фільтрують і для очищеної оливи визначають основні фізико-хімічні характеристики.

2.3. Методики приготування та дослідження властивостей мастильних композицій

Методика приготування мастильних композицій. Мастильні композиції готували в гідродинамічному режимі з використанням високошвидкісної магнітної мішалки VELP AREC (VELP Scientifica, Італія), що забезпечувала необхідну однорідність та реологію кінцевого продукту. Відповідно до методики, запропонованої авторами [7, 20], до суміші 30,0 г консталинового мастила 1-13 та 10,0 г індустріальної оливи I-40А додавали 10,0 г

борорганічного додатку («Боран»), включали магнітну мішалку та перемішували суміш при 40–45 °С протягом 30 хв. Після цього поступово додавали 40,0 г «псевдографіту» (модифікованого сумішевого сорбенту [(AB + K) + CuS + S]). Подальше швидкісне перемішування проводили протягом 30–40 хв, поступово підвищуючи температуру реакційної маси до 70–75 °С. На заключній стадії порціями додавали 10,0 г олеїнової кислоти. Реакційну масу витримували в гідродинамічному режимі до повної її гомогенізації, а потім охолоджували.

Методика досліджень властивостей мастильних композицій. Протизношувальні і протизадирні властивості пар тертя в умовах змащування синтезованими присадками за схемою тертя кочення з 20% проковзуванням визначали на машині тертя типу СМЦ-2, яка призначена для вивчення процесів тертя і зношування, зокрема з парами тертя «ролик-ролик» із швидкістю ковзання 1,3 м/с (швидкохідний ролик) та загальним шляхом тертя 3120 метрів (тривалість досліду у всіх випадках складала 40 хвилин). Матеріал роликів – сталь 45. Тертя кочення з проковзуванням моделює основні робочі процеси в зубчастих передачах, підшипниках кочення тощо. Дослідження проводились в режимах обмеженого та періодичного змащування з метою розширення результатів досліджень на більш широку область експлуатації вузлів тертя. Загальний вигляд машини і моделі пар тертя, які на ній реалізуються, наведено на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Загальний вигляд машини тертя СМЦ-2

Привід машини здійснюється від електродвигуна змінного струму А02-32/6 через циліндричний редуктор і клинопасову передачу. Це дає можливість ступінчасто змінювати швидкість обертання шпинделя, яка контролюється за допомогою тахометра годинникового типу. Навантаження на ролики створюється за допомогою пружини механізму навантаження. Регулювання зусиль навантаження роликів створюється гвинтом стискання пружини. Величина навантаження контролюється за допомогою шкали навантажувального пристрою. Вся система навантаження тарувалась по зусиллю за допомогою динамометра ДОСМ-3-0.2. Дослідження проводилися при нормальній температурі.

Технічні характеристики машини тертя СМЦ-2:

1. Частота обертання валу контр тіла, об/хв 300, 500, 1000;
2. Коефіцієнт проковзування круглих зразків з однаковими діаметрами, %
- 0, 10, 15, 20;
3. Максимальний момент тертя, Н·м – 15;
4. Діапазон зміни моменту тертя, Н·м - 1,5 ... 15;
5. Діапазон вимірювання навантаження, Н
- ролик-ролик; ролик-колодка - 200÷2000
- вал-втулка 500÷5000;
6. Потужність, кВт - 2,2;
7. Межа похибки коефіцієнта проковзування $\pm 5\%$;
8. Межа похибки числа обертів контр тіла від вимірюваної величини $\pm 10\%$.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даній роботі досліджене комплексне очищення промислових відходів деяких виробництв, зокрема стічних вод, а також очищення відпрацьованих олив з використанням регенованого сорбенту харчової промисловості з метою отримання компонентів мастильних композицій.

3.1. Комплексне адсорбційне очищення промислових стічних вод від сульфід-, гідросульфід- і купрум(II)-іонів.

Для дослідження використано регенований відпрацьований сорбент харчової промисловості (AB+K), сорбційну ємність якого визначали за йодом [24]. Використаний метод регенерації відпрацьованого сорбенту дозволяє на 100% відновити його сорбційну ємність з виходом 98%. Відновлення сорбційної ємності після регенерації пояснюється проходженням кислотно-основних хімічних реакцій на поверхні сорбенту та вимиванням продуктів їх взаємодії водою. Дані рентгенофазового аналізу (рис. 3.1) підтверджують аморфний стан активованого вугілля, а також наявність у лівій частині дифрактограм кізельгуру основного піка кристоболіту SiO_2 , що розміщується при 26° та характеризує вихідний сорбент (дифрактограма 1) та регенований сорбент (дифрактограма 3). Однак, на дифрактограмі 2 нерегенованого сорбенту цей пік зсувається до більш низьких значень дифракційних кутів: від 26° до 23° . Таким чином, положення цього основного піка кристоболіту SiO_2 в розглянутих дифрактограмах можна вважати надійним маркером, що вказує на ефективність регенерації відпрацьованого сорбенту.

Для дослідження ефективності повторного використання регенованого сорбенту для очищення стічних вод від хімічних забруднювачів, було проведено адсорбційне очищення модельних розчинів, які містили сульфід- і гідросульфід-іони та модельних розчинів, що містили

купрум(II)-іони відповідно до методики, запропонованої авторами [25].

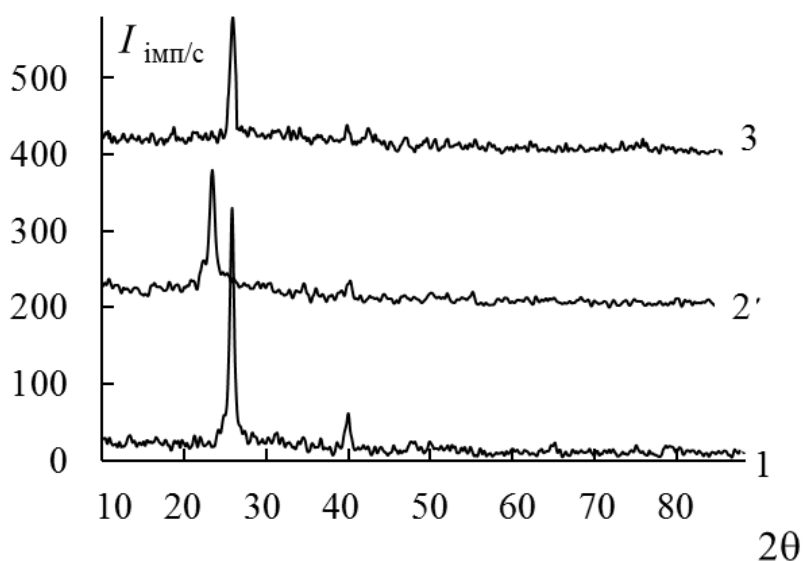


Рис. 3.1. Рентгенівські дифрактограми: 1 – вихідний сорбент; 2 – нерегенований сорбент, промитий водою; 3 – регенований сорбент (РС).

В розглянутому діапазоні концентрацій $C(\text{Cu}^{2+})=10\text{--}300$ мг/дм³ адсорбційне вилучення іонів купруму(II) з модельних розчинів показало низькі значення (табл. 3.1). Регенований сорбент має низьку здатність адсорбувати іони купруму(II) з розчинів через зміни у складі поверхневих груп після кислотно-лужної активації. Це можна пояснити незначною кількістю функціональних груп, які забезпечують спорідненість купрум(II)-іонів до поверхні сорбенту. Отримані дані свідчать про незначну адсорбцію Cu^{2+} на регенованому сорбенті (РС), що пояснюється як природою адсорбату, так і морфологією адсорбенту після його кислотно-лужної активації. Досліджуваний нами сорбент РС, очевидно, проявляє катіонообмінні властивості. Але функціональних груп на поверхні сорбенту, що забезпечують цю спорідненість, мало. В області низьких значень рН ступінь сорбції невеликий, оскільки карбоксильні та фенольні групи сорбенту протоновані, при досить низьких концентраціях купруму(II) іони гідрогену конкурують за вільні сорбційні центри.

Таблиця 3.1

Ступінь вилучення і адсорбція купрум(II)-іонів на регенованому сорбенті

Концентрація Cu^{2+} , мг/дм ³		Ступінь вилучення E , %	Адсорбційна ємність Γ , мг/г
Початкова (C_0)	Рівноважна (C_p)		
10	9,40	5,7	0,057
30	26,90	10,4	0,312
50	44,20	11,6	0,58
150	115,05	23,3	3,50
300	209,8	31,3	9,39

Хімія поверхні залежить від наявності певних функціональних груп, впливає на властивості сорбентів і визначає їх поведінку у різноманітних фізико-хімічних процесах. Поверхню сорбенту можна модифікувати. Отже, без модифікації поверхні регенованого сорбенту використання даного методу очищення купрумвмісних стічних вод з концентраціями Cu^{2+} 10-300 мг/дм³ не доцільне. З метою отримання модифікованої поверхні сорбенту (AB+K) досліджено сорбційне очищення модельних сульфідно-лужних розчинів від сульфід- та гідросульфід-іонів з використанням РС. Отримані результати подано в табл. 3.2. Аналіз даних підтверджує ефективне використання дослідженого РС для очищення таких розчинів, які утворюються при лужній очистці сирої нафти від сульфурвмісних сполук. Ступінь вилучення сульфід- та гідросульфід-іонів досягає 94-96 %, що вказує на високу ефективність процесу та на можливість його практичного використання. Крім того, в процесі сорбційного очищення сульфідно-лужних розчинів було одержано модифіковану сульфід- і гідросульфід-іонами поверхню сорбенту - (МС) - [(сорбент) + S^{2-} , HS^-]. У випадку адсорбції сульфід-іонів на поверхні регенованого сорбенту має місце іонообмінна

адсорбція. При досягненні рівноваги, адсорбція продовжує зростати, що можна пояснити осадженням.

Таблиця 3.2

Результати очищення сульфід- та гідросульфід-вмісних модельних розчинів

Маса сорбенту, г	Вихідна концентрація в розчині до очищення			Концентрація в розчині після очищення			
	$[S^{2-}]_0$ моль/дм ³	$[HS^-]_0$ моль/дм ³	$[S_{заг}]_0$ моль/дм ³	залишкова концентрація в розчині, моль/дм ³		$[S_{заг}]_0 - [S_{заг}]_3$, моль/дм ³	ступінь вилучення $E, \%$
				$[S^{2-}]_3$	$[HS^-]_3$		
1	1,40	0,21	1,61	0,79	0,16	0,66	41,0
5	1,40	0,21	1,61	0,53	0,14	0,94	58,4
10	1,40	0,21	1,61	0,24	0,10	1,27	78,9
15	1,40	0,21	1,61	0,17	0,09	1,35	83,9
20	1,40	0,21	1,61	0,12	0,05	1,44	89,1
25	1,40	0,21	1,61	0,06	0,03	1,52	94,4
30	1,40	0,21	1,61	0,05	0,02	1,54	95,7

Рентгеноструктурний аналіз підтверджує наявність на поверхні регенованого сорбенту піків, характерних для Na_2S (рис. 3.2).

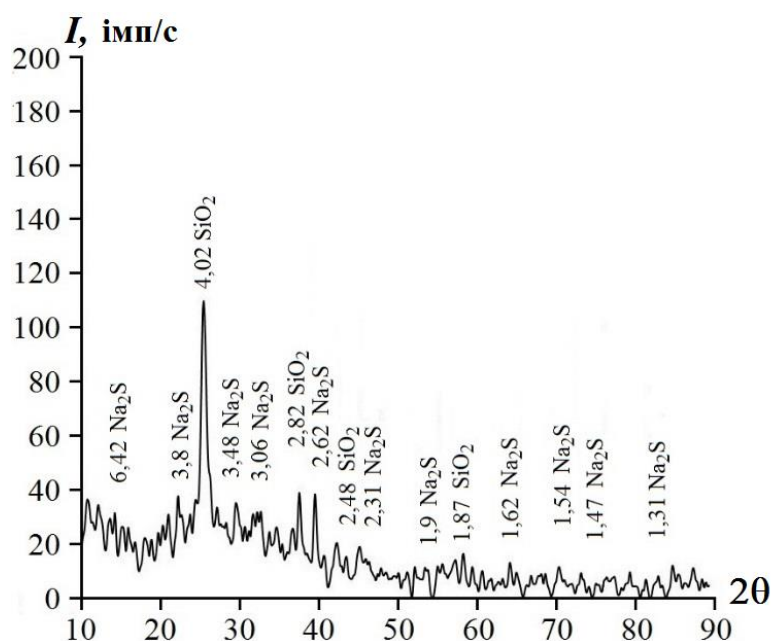


Рис. 3.2. Рентгенівська дифрактограма сполуки Na_2S на поверхні регенованого сорбенту (PC)

Присутність тих або інших поверхневих груп або атомів може суттєвим чином впливати на характеристики сорбенту та змінювати параметри процесів за їх участю. Модифікація розширяє можливості сорбенту. На поверхні сорбенту утворюються різні функціональні групи, які сприяють утворенню міцних зв'язків із забруднювачами різних типів за рахунок сил хімічної взаємодії.

Нами здійснено модифікування регенованого сумішевого сорбенту (AB + K) та використано модифікований сорбент при комплексному очищенні стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів за схемою, наведеною на рис. 3.3. Умови проведення процесу: $m(\text{AB} + \text{K}) = 1 \text{ г}$, $\tau = 24 \text{ год}$, $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

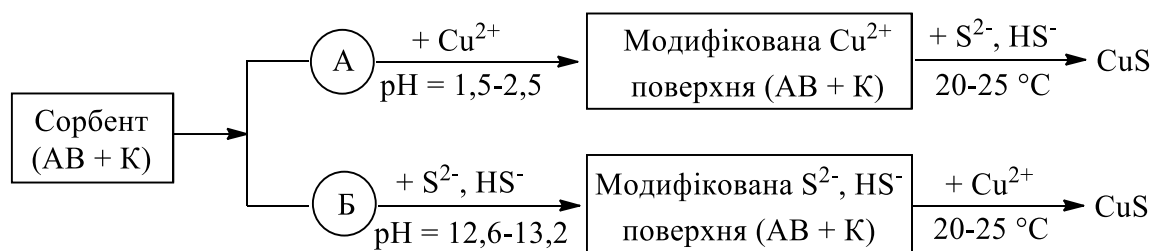


Рис 3.3. Схема модифікування сумішевого сорбенту (AB + K) з наступним використанням при комплексному очищенні стічних вод від сульфід-, гідросульфід- (метод А) та купрум(II)-іонів (метод Б)

При комплексному адсорбційному очищенні промислових стічних вод за методом А на першій стадії здійснювали модифікування сорбенту іонами купруму(II), який використовували для очищення сульфідно-лужних розчинів. За методом Б на першій стадії модифікували поверхню регенованого сумішевого сорбенту (AB + K) сульфід- та гідросульфід-іонами з сульфідно-лужних розчинів та очищали ним стічні води від іонів купруму(II). Отримані результати подані в табл. 3.3. Використання модифікованого сульфід- та гідросульфід-іонами сумішевого сорбенту дозволило підвищити ступінь вилучення іонів Cu^{2+} з 23 % до 83%, що обумовлено протіканням хімічних реакцій на поверхні сорбенту.

Така різниця у величині адсорбційної ємності визначається різною хімічною природою адсорбтивів (Cu^{2+} та S^{2-} , HS^-), тобто послідовністю модифікації поверхні сорбенту (AB + K) за методом А або за методом Б. У випадку вилучення катіонів купруму(II) за методом А їх сорбція здійснюється переважно карбоксильними групами і адсорбційна ємність становить 3,5 мг/г, за методом Б – за рахунок сульфід-гідросульфідних сорбованих груп і адсорбційна ємність становить 273,2 мг/г.

Таблиця 3.3

Адсорбція Cu^{2+} , S^{2-} , HS^- іонів на сумішковому сорбенті (AB + K) при комбінованому очищенні промислових стічних вод

Характеристика методу	Метод А		Метод Б	
	Cu^{2+}	S^{2-} , HS^-	S^{2-} , HS^-	Cu^{2+}
Ступінь вилучення E , %	23,0	98,0	95,7	83,0
Адсорбційна ємність Γ , мг/г	3,5	1,7	164,2	273,2
Маса отриманого CuS , мг	5,0		401,6	

Як показали результати досліджень, модифікація поверхні більш активними сульфід- та гідросульфід-іонами призводить до значного підвищення її адсорбції відносно іонів купруму(II). Ступінь вилучення сульфідних та гідросульфідних іонів на поверхні регенованого сорбенту на стадії модифікації становив ~ 96%, адсорбційна ємність сорбенту становила 164,2 мг/г. Модифікація поверхні РС сульфурвмісними іонами (S^{2-} , HS^-) дозволила збільшити ступінь вилучення катіонів купруму(II) у 65,5 рази.

Рентгенівські дослідження показують наявність купруму(II) сульфідів та елементарної сірки на поверхні модифікованого сорбенту після видалення іонів купруму(II) з розчину (рис. 3.4). Цей факт пояснюється проходженням топохімічних перетворень, які вірогідно каталізуються карбоном активованого вугілля.

Адсорбція починається з утворення сорбційного комплексу між сорбатом (Cu^{2+}) і первинно активованим центром сорбенту. Модифікована поверхня сорбенту містить велику кількість сульфідних лігандів, які і забезпечують швидку адсорбцію іонів Cu^{2+} .

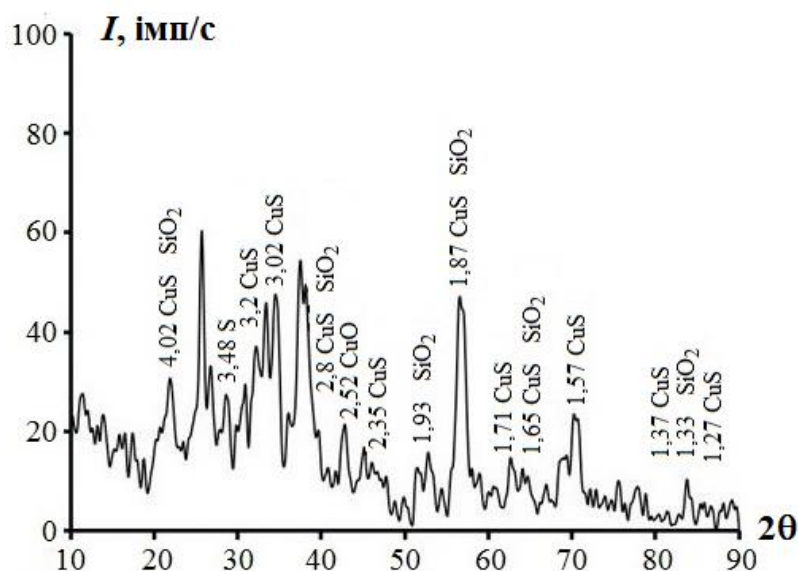
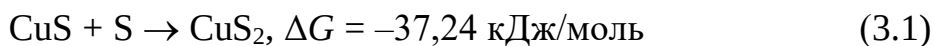


Рис. 3.4. Рентгенівська дифрактограма сполук CuS і S на поверхні регенованого сорбенту

Метою проведених досліджень було не тільки вилучення купрум(II)-іонів із модельних розчинів та збільшення ступеня вилучення, а й одержання на поверхні активованого вугілля купрум(II) дисульфиду (ймовірного замітника MoS_2 в пластичних мастилах). Однак, не зважаючи на те, що не вдалось отримати на модифікованій поверхні ($\text{AB} + \text{K}$) купрум(II) дисульфід розрахована енергія Гіббса (ΔG) реакції



вказує на велику вірогідність самодовільного протікання цієї реакції та утворення CuS_2 в процесі тертя. В процесі тертя виникають точково моменти з підвищеною температурою.

Як показали результати раніше проведених ІЧ-спектральних досліджень [26], в ІЧ-спектрах наявне дуже сильне і незмінне поглинання на 1045 см^{-1} , що відповідає коливанням зв'язку $\text{Si}-\text{O}$ та вказує на інертність кізельгуру при

топохімічних перетворення на модифікованій поверхні (AB+K) при комплексному очищенні стічних вод від сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іонів.

3.2. Дослідження адсорбційного очищення відпрацьованих індустриальних олив

Забруднення гідросфери відпрацьованими нафтовими оливами (ВНО) становить 20 % загального техногенного забруднення або 60 % забруднення нафтопродуктами [27]. Тому проблема утилізації ВНО у наш час є надзвичайно актуальною [28]. Саме тому регенерація відпрацьованих олив є енергетично та економічно доцільною. Це показує світовий досвід розвинених країн. В таких країнах частка регенованих олив становить близько 30% від загального обсягу їх виробництва, а в Німеччині цей показник сягає 55%. Німецьке законодавство зобов'язує виробника олив додавати при їх виробництві не менше 10% так званої *refining base oil* – відновленої оливи. Виробництво оливи є самим цінним продуктом переробки нафти. На виробництво 1 л олив вакуумною перегонкою нафти необхідно 1 барель (159 л) сирої нафти. Тому, з метою раціонального використання цього важливого для України природного ресурсу, відпрацьовані оливи необхідно розглядати як вторинну промислову сировину. Однак, згідно до статистичних даних в Україні збирається близько 25% відпрацьованих олив від загального об'єму їх використання, а регенується лише 15%, що складає близько 3% від загального об'єму споживання. При цьому значна частина, наприклад, відпрацьованих олив приватних транспортних засобів (30–50%) потрапляє у навколишнє середовище або каналізацію, що порушує Постанову Кабміну України № 1221 від 17.12.12 (зі змінами), якою затверджено «Порядок збирання, видалення, знешкодження та утилізації відпрацьованих мастил (олив)».

Сьогодні для регенерації відпрацьованих олив використовуються різноманітні фізичні методи (відстоювання, фільтрування, відцентрове очищення, вакуумна дистиляція), що дозволяє вилучати механічні домішки, воду та легкі вуглеводні. Фізико-хімічні методи (коагуляція, адсорбція, йоннообмінне очищення, екстракція) дозволяють частково або повністю вилучати кислі або смолисто-асфальтенові речовини [29]. Використання хімічних методів очищення відпрацьованих олив (сульфатне, лужне або гідроочищення) дозволяє практично повністю очистити оливу від забруднювачів та максимально наблизити їх до фізико-хімічних показників чистих олив [30]. Необхідно зазначити, що вибір методу регенерації відпрацьованих олив залежить як від ступеню забруднення відпрацьованих олив, так і від можливостей повторного їх використання, економічних, технологічних можливостей підприємства та ряду інших факторів. Так, найбільш поширена послідовність операцій регенерації відпрацьованих олив наведена на рис. 3.5, що включає очищення від механічних домішок – 1; зневоднення – 2; вилучення легких вуглеводнів – 3; вилучення смолисто-асфальтенових речовин – 4; введення легуючих додатків/ компаундування – 5.

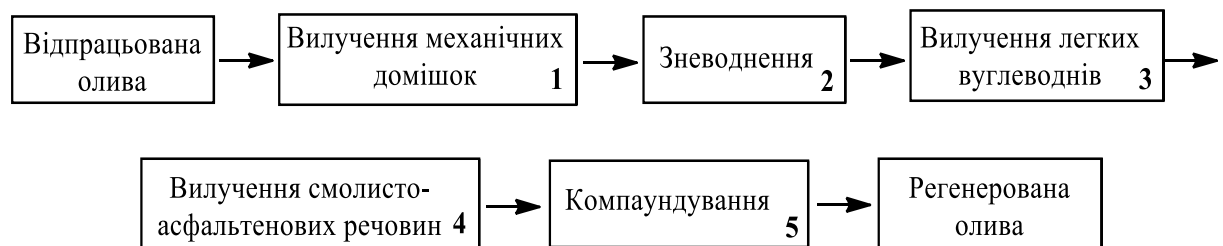


Рис. 3.5. Послідовність операцій регенерації відпрацьованих олив

В більшості випадків індустриальні оливи працюють при порівняно невисоких температурах (не більше 65–70 °С) при відсутності безпосереднього контакту з водяною парою, гарячим повітрям та агресивним хімічним середовищем. В процесі експлуатації вони забруднюються механічними домішками, водою, смолисто-асфальтеновими речовинами

окислювальних процесів і стають непридатними для подальшої експлуатації. При цьому ефективним є метод їх очищення з використанням штучних та природних сорбентів.

Для дослідження адсорбційного очищення була використана відпрацьована олива І-40А (ВІО) стендового гідроприводу екскаватора навчальної лабораторії ВНТУ. Адсорбційне очищення відпрацьованих індустриальних олив проводили з використанням попередньо регенованого сорбенту ВФ «Панда» (м. Вінниця) [24].

Загальна методика очищення регенерації відпрацьованої індустриальної оливи описана в підрозділі 2.2. Для очищеної оливи визначали основні фізико-хімічні характеристики (кінематичну в'язкість, масову частку води, кислотне число, густину, оптичну густину, масову частку домішок, температуру спалаху) [31, 32].

Отримані за наведеними методиками основні фізико-хімічні характеристики досліджених індустриальних олив наведено в табл. 3.4. Як показують результати досліджень, адсорбційне очищення ВІО із використанням регенованого сорбенту покращує фізико-хімічні характеристики оливи І-40А, а саме зменшуються кислотне число, масова частка води, оптична густина; задовільними є і показники кінематичної в'язкості та температури спалаху продукту. У випадку адсорбційного очищення з використанням масового співвідношення $(AB + K) : (BIO) = 1 : 10$ отримані фізико-хімічні характеристики регенованої індустриальної оливи суттєво перевершують ті, що були отримані при використанні співвідношення $(AB + K) : (BIO) = 1 : 20$. У цьому випадку регенована олива лише за двома показниками: кислотним числом та оптичній густині поступаються товарній оливі І-40А SN 300. Проміжні значення були отримані при використанні масового співвідношення $(AB + K) : (BIO) = 1 : 15$.

Однак, не зважаючи на відмінність отриманих фізико-хімічних характеристик регенованої індустриальної оливи І-40А, можна зробити висновок, що адсорбційне очищення відпрацьованих індустриальних олив з

використанням регенованого сорбенту (AB + K) є ефективним і технологічним.

Таблиця 3.4

Фізико-хімічні характеристики зразків індустріальної оливи I-40A

№ з/п	Найменування показника	Олива I-40A SN 300	Відпрацьована олива (BIO) I-40A	Регенована олива			Умови регенерації	
				Масове співвідношення (AB + K) : (BIO)			Температура, °C	Час, хв
				1 : 10	1 : 15	1 : 20		
1	Кінематична в'язкість при 40 °C, мм ² /с	61–75	70	73	72	71	20–25	30–60
2	Масова частка води, % мас.	сліди	0,15	сліди	сліди	0,05	20–25	30–60
3	Кислотне число, мг КОН/г,	0,05	0,81	0,09	0,22	0,37	20–25	30–60
4	Оптична густина, D ₄₇₀	0,082	0,362	0,093	0,210	0,298	20–25	30–60
5	Температура спалаху у відкритому тиглі, °C	220	210	220	218	212	20–25	30–60
6	Механічні домішки, % мас.	відсутні	0,23	відсутні	відсутні	відсутні	20–25	30–60
7	Густина, г/мл	0,886	0,900	0,890	0,895	0,897	20–25	30–60

Отже, регеновані індустріальні оливи можуть бути використані повторно, або виступати базовою основою при розробці, наприклад, високотемпературних та високонавантажувальних мастил спеціального призначення [17].

3.3. Розробка мастильних композицій

За останні десятки років на ринках розвинутих країн з'явилася велика кількість різних препаратів і зокрема, додаткових присадок до мастил. У рекламних документах такі присадки представляються як панацея від всіх «хвороб» пар тертя. Через завищені очікування, що не виправдалися згодом від їхнього застосування, відношення до таких у споживачів коливається в

широкому діапазоні емоцій – від непомірковано захопленого до повного невизнання. Така ситуація обумовлена, у першу чергу, відсутністю достовірної інформації про сполуку, корисну дію і можливі побічні ефекти при використанні різних присадок до мастил.

Було проаналізовано склад деяких ПМ та їх основні фізико-хімічні властивості [3, 4, 10-13]. Необхідно зазначити, що зміна таких показників, як температура крапання, penetрація, межа міцності, в'язкість в розглянутих мастилах, однозначно вказує на наявність фундаментальної залежності «склад – властивості – використання» та надає можливість не лише прогнозувати необхідні експлуатаційні властивості нових ПМ, а і наперед передбачити необхідність використання конкретних складових компонентів у таких складних колоїдних системах. Вказана вище фундаментальна залежність і стала основою при дослідженні карбон-сульфурвмісних мастильних композицій. Термостійкі ПМ, які працюють в температурному інтервалі – $60\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +160\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 200\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ мають певні складові, які забезпечують цінні показники цих мастил. Загущувачем виступає силікагель (Азмол БНЗ, Силикол, Азмол Графітол, Азмол Аерол) або його модифікована форма (БНЗ-4, Графітол). Крім цього, як загущувач та додаток, який забезпечує високі термічні властивості, вводять графіт (Графітол), неорганічні пігменти (ВНИИ НП-246), а також молібден дисульфід та антиокислювальні добавки. Тобто, високотемпературні ПМ при забезпеченні необхідних експлуатаційних властивостей включають такі складові: графіт; модифікований аеросил; силікагель (SiO_2) як загущувач; молібден дисульфід (MoS_2) [33-34].

Таким чином, при розробці ПМ на основі регенерованих продуктів нами були враховані та частково продубльовано складові, що забезпечують необхідні експлуатаційні властивості термостійких мастил (таблиця 3.5).

Перспективним напрямом розробки присадок до мастил є використання комплексних сполук купруму(II) з ароматичними тіоамідами. В результаті хімічної та фізичної взаємодії отримують сполуки, що можуть утворювати на

поверхні пар тертя захисні плівки, які потребують подальшого дослідження їх властивостей, у тому числі протизадирних і протизношувальних.

Таблиця 3.5

Складові карбон-сульфурвмісних ПМ та їх триботехнічні властивості

Складова карбон-сульфурвмісних ПМ		Триботехнічні властивості
Модифікована поверхня сорбентів (AB + K)	поверхня (AB)	навантажувальні, протизношувальні, високотемпературні в інтервалі температур 120 °С...200 °С
	поверхня (K)	антикорозійні, загущувальні
Регенована індустріальна олива І-40А		базова рідина
Олеїнова кислота		базова рідина
Консталинове мастило 1-13		протизношувальні; температурний інтервал –20 °С ... +110 °С
Борорганічна сполука		загущувальні, антикорозійні, антифрикційні
Додаток ТБА в оливі І-40А, 0,1 % мас.		протизношувальні, антифрикційні

Мастильні композиції, склади яких представлено в табл. 3.6, отримували шляхом ретельної гомогенізації (змішування та перетирання) всіх компонентів.

Регеновану індустріальну оливу І-40А [35, 36] використовували як базову рідину пластичних мастил спеціального призначення. Як базову рідину також використовували олеїнову кислоту технічну (ДСТУ 4830:2007; номер CAS 112-80-1), блідо-жовту маслянисту рідину з густиною 0,895 г/см³, не розчинну у воді, але розчинну в спиртах. Як загущувачі використовували: модифікований компонент, що утворюється на регенованій поверхні (AB + K) при взаємодії кізельгуру (SiO₂) з моноетаноламіном; борорганічну речовину, яка є продуктом взаємодії борної кислоти та моноетаноламіна (MEA) загального складу: БОР : MEA = 1 : 2. Як добавки при розробці мастильних композицій ПМ-2÷ПМ-4, ПМ-11 використовували графіт марки

ГС-1 за ГОСТ 17022 із зольністю не більше 0,5 %. При розробці мастильних композицій ПМ-5÷ПМ-10 використовували «псевдографіт» – відпрацьований сумішевий сорбент після комплексного очищення промислових стічних вод від іонів Cu^{2+} , S^{2-} , HS^- $[(\text{AB} + \text{K}) + \text{CuS} + \text{S}]$ (модифікований сумішевий сорбент). Для забезпечення високих протизношувальних та антифрикційних властивостей використовували розчин тіобензаніліду (БТА) загальної формули $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}(=\text{S})\text{NHC}_6\text{H}_5$ в індустріальній оливі І-40 А [26].

Таблиця 3.6

Склади мастильних композицій

Складові компоненти, %	ПМ-1	ПМ-2	ПМ-3	ПМ-4	ПМ-5	ПМ-6	ПМ-7	ПМ-8	ПМ-9	ПМ-10	ПМ-11
Консталинове мастило 1-13	100,0	30,0	20,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	–
Індустріальна олива І-40 (середовище)	–	10,0	10,0	7,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	14,0
І-40 А + БТА 0,1 % (додаток)	–	–	–	8,0	10,0	10,0	10,0	5,0	–	5,0	–
Купрум(ІІ) полісульфід (додаток)	–	15,0	10,0	15,0	–	–	–	–	–	–	21,0
Борорганічний додаток (загущувач-модифікатор)	–	20,0	20,0	15,0	20,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	29,0
Олеїнова кислота (загущувач)	–	–	10,0	–	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	–
Графіт (диспергуючий додаток)	–	25,0	30,0	25,0	–	–	–	–	–	–	36,0
«Псевдографіт» (диспергуючий додаток)	–	–	–	–	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	35,0	–
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

До складу наведених мастильних композицій входить борорганічний додаток, що складається із борорганічної речовини загальної формули $\text{C}_2\text{H}_8\text{BNO}_3$ і моноетаноламіну (МЕА) в співвідношенні $\text{C}_2\text{H}_8\text{BNO}_3$: МЕА= 1:1 [37]. МЕА, як біфункціональна молекула з сильними основними

властивостями, активно взаємодіє із силанольними групами силіцієвої поверхні. За механізмом нуклеофільного заміщення (за Інгольдом) проходить взаємодія МЕА з твердою поверхнею SiO_2 [38]:

Модифікування поверхні кізельгуру (рис. 3.6) обумовлене наявністю на його поверхні активних центрів – силанольних груп – OH . Поверхня гідратованих сорбентів такого типу в роботі [7] представлена наступним чином:



Рис. 3.6. Поверхня гідратованих аеросилів з ізольованими силанольними групами

В ряді робіт [39, 40] встановлено, що реакція естерифікації аміноспиртів проходить в більш м'яких умовах, ніж аліфатичних спиртів. Цей факт вказує на те, що аміноспирти виступають в наведених реакціях не лише як реакційна складова, а і як каталізатор даного перетворення. Тобто, такі реакції (без врахування впливу твердої матриці) можна частково рахувати автокаталітичними. Каталітичні властивості етиламіну ($\text{pK}_{\text{BH}^+}=10,67$) досліджено в системі кремнезем-бутанол [41]. Встановлено, що реакція естерифікації силанольних груп поверхні кремнезему активно протікає без каталізатора при температурі 250°C , а при наявності парів етиламіну при кімнатній температурі. Враховуючи дослідження реакції естерифікації силанольних груп матричної поверхні SiO_2 з аліфатичними спиртами та аміноспиртами, можна передбачити, що виготовленні мастильних композицій ПМ- 5÷ПМ-10 (табл. 3.6) буде проходити модифікація поверхні кізельгуру.

Окремо тверду поверхню модифікованого кізельгуру не досліджували. Узагальнення наведених раніше даних по модифікації твердої поверхні сорбентів ($\text{AB}+\text{K}$) з утворенням комплексної складової карбон-

сульфурвмісних пластичних мастил можна представити наступною схемою (рис. 3.7):

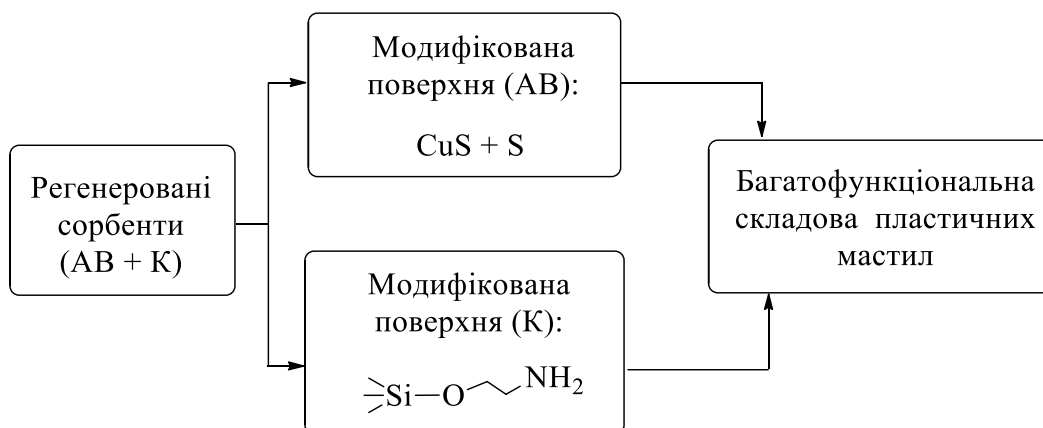


Рис. 3.7. Схема утворення комплексної складової нових карбон-сульфурвмісних пластичних мастил

3.4. Дослідження триботехнічних властивостей карбон-сульфурвмісних мастильних композицій

Для визначення ефективності одержаних мастильних композицій, до складу яких входили модифіковані складові регенованого сорбенту $[(AB + CuS + S) + (K + MEA)]$ та інші функціональні складові, було проведено трибологічні дослідження в парі тертя Ст-40Х – АЛ 9, які проводили на машині тертя типу СМЦ-2 (Розділ 2, рис. 2.1), яка складалась із сталевого ролика, алюмінієвої колодки та системи навантаження пари тертя. В експериментальних дослідженнях за базове пластичне мастило прийнято консталинове мастило (ПМ-1). На базі цього мастила розроблені композиційні мастила з присадками наступних складів: ПМ-2÷4 (консталинове мастило + графіт + полісульфід міді (II)), ПМ-5÷10 і ПМ-12 (композиції на основі консталинового мастила + штучний «псевдографіт»). Присадки до мастил (ПМ-2÷4, ПМ-5÷10 і ПМ-12) були розроблені у ВДПУ ім. М. Коцюбинського.

Коефіцієнт тертя ($f_{тр}$) при дії навантаження (P) на досліджену пару сталь-алюміній визначали в ізотермічних умовах. Тертя кочення з проковзуванням моделює основні робочі процеси в зубчастих передачах, підшипниках кочення

тощо. Дослідження проводились в режимах обмеженого та періодичного змащування з метою розширення результатів досліджень на більш широку область експлуатації вузлів тертя. Отримані при цьому дані залежності коефіцієнта тертя від навантаження за різних швидкостей v_1 і v_2 наведені в табл. 3.7 і 3.8 та на рис. 3.8 і 3.9.

Таблиця 3.7

Вплив навантаження на антифрикційні властивості мастильних композицій серії ПМ в парі тертя Ст-40Х – АЛ 9 (Примітка: швидкість $v_1 = 125$ об/хв)

Навантаження Р, Н	Коефіцієнт тертя, $f_{тр}$			
	ПМ-1	ПМ-3	ПМ-7	ПМ-9
3	0,055	0,040	0,053	0,044
4	0,048	0,033	0,045	0,037
5	0,041	0,026	0,036	0,029
6	0,035	0,021	0,029	0,023
7	0,030	0,018	0,024	0,020
8	0,024	0,017	0,021	0,018
9	0,020	0,016	0,019	0,017

Отримані результати для мастильних композицій ПМ-3, ПМ-7, ПМ-9 порівнювали з результатами отриманими для промислового мастила Консталін-1 (ПМ-1).

Наведені на рис. 3.8 дані вказують на те, що в дослідженому інтервалі робочих навантажень 4,0–8,5 Н мастильні композиції, до складу яких входить графіт марки ГС-1 як антифрикційна складова (ПМ-3), або модифікований «псевдографіт» (ПМ-7, ПМ-9), переважають за антифрикційними властивостями промислове мастило Консталін-1 (ПМ-1) в 1,25–1,45 рази.

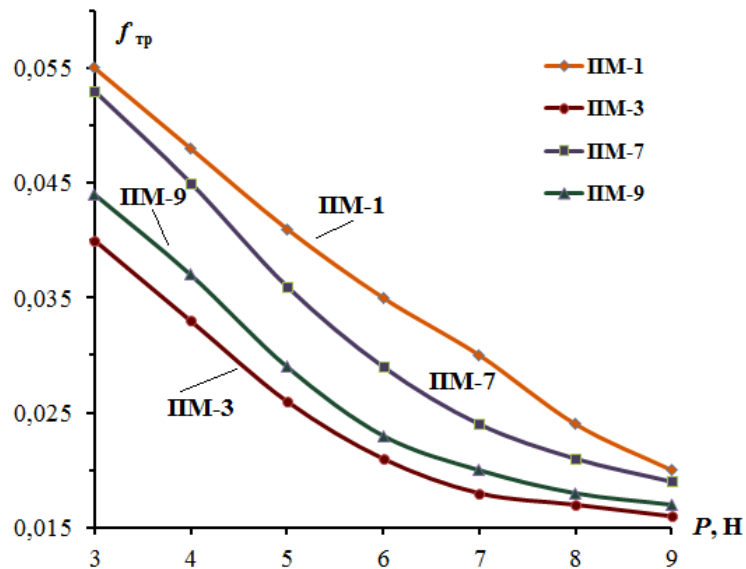


Рис. 3.8. Залежність коефіцієнта тертя від навантаження в парі тертя Ст-40Х – АЛ 9. Примітка: швидкість $u_1 = 125$ об/хв

Порівняння антифрикційних властивостей мастильних композицій ПМ-3 та ПМ-9 в означеному раніше інтервалі робочих навантажень вказує на те, що композиція ПМ-3 має в 1,09–1,13 рази кращі властивості. Це пояснюється з двократним перевищенням в складі композиції ПМ-3 дуже активного борорганічного додатку у порівнянні з композицією ПМ-9. Однак, незначна різниця отриманих показників коефіцієнта тертя $\Delta f_{тр} = 0,04$ вказує на ефективність «псевдографіту» в карбон-сульфурвмісних мастилах, а також на можливість його використання як заміниці промислового графіту марки ГС-1 в подібних мастильних композиціях. Крім того, що при збільшенні навантаження для всіх досліджених мастильних композицій спостерігали зменшення коефіцієнта тертя, що також характерно для подібних трибологічних систем.

Досліджені мастильні композиції серії ПМ використовуються, як правило, у низькошвидкісних парах тертя. Тому були проведені дослідження пари тертя Ст-40Х – АЛ 9 при швидкості обертання сталюого ролика 200 об/хв. Отримані результати при збільшенні швидкості обертання сталюого ролика в 1,6 рази наведені в табл. 3.8 та на рис. 3.9. Встановлено, що при

збільшенні швидкості обертання сталюого ролика загальна залежність коефіцієнта тертя від навантаження не змінюється, тобто при збільшенні навантаження на пару тертя сталь-алюміній коефіцієнт тертя для всіх мастильних композицій зменшується. Однак, лише для композиції ПМ-3 крива займає аналогічне графічне положення по відношенню до графічних ліній ПМ-1, ПМ-7 та ПМ-9 (рис. 3.9). При цьому лінії графічної залежності $f_{TP} \rightarrow P$ для композицій ПМ-1 та ПМ-7, у порівнянні із графіком (рис. 3.8), як би міняються місцями. Більше того, починаючи із навантаження 5,84 Н на пару тертя сталь-алюміній графіки залежності $f_{TP} \rightarrow P$ (рис. 3.9) для композицій ПМ-1 та ПМ-9 майже повністю співпадають.

Таблиця 3.8

Вплив навантаження на антифрикційні властивості мастильних композицій серії ПМ в парі тертя Ст-40Х – АЛ 9

Навантаження Р, Н	Коефіцієнт тертя, f_{TP}			
	ПМ-1	ПМ-3	ПМ-7	ПМ-9
3	0,046	0,041	0,047	0,043
4	0,039	0,035	0,039	0,037
5	0,031	0,028	0,033	0,030
6	0,025	0,023	0,027	0,025
7	0,022	0,021	0,024	0,022
8	0,020	0,019	0,021	0,020
9	0,018	0,017	0,019	0,018

Встановлені відмінності при дослідженні залежності $f_{TP} \rightarrow P$ для досліджених композицій при збільшенні швидкості обертання сталюого ролика в 1,6 рази. Отже, можна зробити висновок, що мастильні композиції, до складу яких входить модифікований «псевдографіт» по своїм антифрикційним властивостям в інтервалі навантажень 6,0-9,0 Н співпадають з такими, які характеризують промислове мастило Консталін-1 і дещо поступаються композиції ПМ-3.

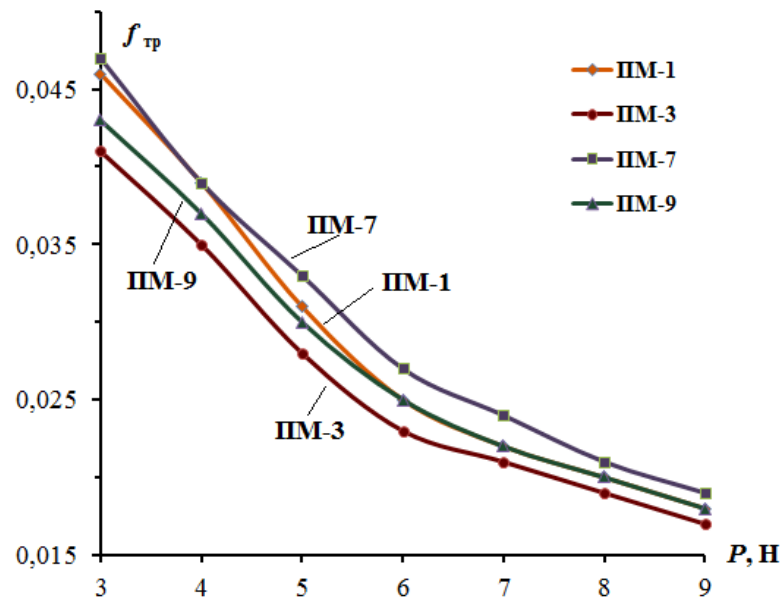


Рис. 3.9. Залежність коефіцієнта тертя від навантаження в парі тертя Ст-40Х – АЛ 9. Примітка: швидкість $u_2 = 200$ об/хв

Для пояснення одержаних результатів досліджень потрібно провести додаткові дослідження.

Таким чином, результати проведених досліджень антифрикційних властивостей розроблених мастильних композицій ПМ-3, ПМ-7, ПМ-9 у порівнянні з промисловим мастилом Консталин-1 (ПМ-1) вказують на ефективність їх використання у парі тертя Ст-40Х – АЛ 9. В залежності від швидкості обертання сталюого ролика, встановлені ряди зміни коефіцієнта тертя (антифрикційної активності) для досліджених МК: при швидкості 125 об/хв – ПМ-1 > ПМ-7 > ПМ-9 > ПМ-3; при швидкості 200 об/хв – ПМ-7 > ПМ-1 $\approx$ ПМ-9 > ПМ-3.

Також дослідження проводились в цеху вторинної переробки поліетилену (ПЕНТ + ПЕВТ) на вальцях СМ-ПЕ 1500 600/660 Л. М1. Високонавантаженою парою тертя служили валкові підшипники. При дослідженні порівнювали навантажувальні (P_{max}) та температурні ($T, ^\circ C$) характеристики вузла тертя при експлуатації стандартних, рекомендованих для таких пар тертя мастильних матеріалів: солідол Ж, солідол С, солідол СК_а 2/1-2, мастило 1-13, а також виготовлених нових мастильних композицій серії ПМ.

Експлуатаційні дослідження показали, що промислові мастила цієї серії, наприклад солідол Ж ГОСТ 1033-79, працюють лише при температурах, що не перевершують $50\div 60^{\circ}\text{C}$, тоді як реальна температура в парах тертя означеного технологічного процесу суттєво вище. В таких умовах пластичне мастило переходить в рідкий стан та витікає із контактної зони тертя, що може призвести до заїдання, наклепу валкових підшипників та виходу із робочого стану.

Розроблені карбон-сульфурвмісні мастила вводили шляхом точкового спринцювання валкових підшипників. При цьому швидкість обертання заднього окружного валу вальців складала $0,557\pm 0,033$ м/с; розраховане навантаження на вал складало 160 т/см, а температура $150\text{--}160^{\circ}\text{C}$. В процесі експлуатації пластичних мастил серії ПМ встановлено стійкий режим роботи валкових підшипників без нагрівання валу і корпусу вальців а також торцевих запірних кришок.

Через 12 місяців експлуатації розроблених карбон-сульфурвмісних мастил був проведений профілактичний огляд валкових підшипників а також стан самого пластичного мастила ПМ. Поверхня підшипників чиста, прозора, без накатів та тріщин. Саме пластичне мастило ПМ за період експлуатації не зазнало термічного або хімічного руйнування.

Одержані експериментальні результати свідчать про високі термічні та навантажувальні властивості розроблених нових карбон-сульфурвмісних пластичних мастил серії ПМ та можливість їх ефективного використання у вузлах тертя обладнання полімерного машинобудування.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано склад деяких пластичних мастил та їх основні фізико-хімічні властивості з метою розроблення мастильних композицій.
2. Проведено експериментальні дослідження комплексного адсорбційного очищення стічних вод, що містять сульфід-, гідросульфід- та купрум(II)-іони на прикладі модельних розчинів.
3. Одержано модифіковані сорбенти - відходи після комплексного адсорбційного очищення стічних вод від Cu^{2+} , S^{2-} , HS^- -іонів.
4. Рентгенофазовим аналізом встановлено, що на поверхні активованого вугілля (AB) сорбуються купрум(II) сульфід та елементна сірка, які в процесі тертя можуть взаємодіяти з утворенням купрум(II) дисульфиду.
5. Одержані експериментальні результати свідчать про високу ефективність та перспективність сорбційного методу очищення індустріальних олив з використанням регенованого сорбенту (AB + K). Адсорбційне очищення ВІО із використанням регенованого сорбенту покращує фізико-хімічні характеристики оливи І-40А, а саме зменшуються кислотне число, масова частка води, оптична густина; задовільними є і показники кінематичної в'язкості та температури спалаху продукту.
6. Регеновані індустріальні оливи можуть бути використані повторно, або виступати базовою основою при розробці високотемпературних та високонавантажувальних мастил спеціального призначення.
7. Встановлена можливість використання модифікованих сорбентів після комплексного очищення виробничих стічних вод від Cu^{2+} , S^{2-} , HS^- -іонів та регенованої індустріальної оливи у складі пластичних мастил.
8. В пластичних мастилах було враховано та частково продубльовано складові, що забезпечують необхідні експлуатаційні властивості термостійких мастил.
9. Встановлена можливість практичного застосування одержаних мастильних композицій, які складаються із модифікованих сорбентів

[(AB + CuS + S) + (K + MEA)] та інших функціональних складових в парі тертя «сталь Ст-40Х – алюміній АЛ 9», які проводились на машині тертя типу СМЦ-2.

10. Показано, що пластичні мастила, які містять як додаток модифіковані сорбенти («псевдографіт») та регеновану індустріальну оливу в 1,25–1,45 рази перевищують антифрикційні властивості промислового мастила Консталін-1.
11. Одержані експериментальні результати свідчать про високі термічні та навантажувальні властивості карбон-сульфурвмісних пластичних мастил серії ПМ та можливість їх ефективного використання у вузлах тертя обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні. Постанова Кабінету міністрів України від 30 квітня 2024 р. № 476 Київ. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2024-%D0%BF#Text>
2. Власенко І.В., Постова В.В. Аналіз сучасних інноваційних методів утилізації відходів. *Економіка і організація управління*. 2020. № 3 (39). С. 30–40.
3. Топільницький П.І., Бойченко С.В., Пушак А.П., Трофімов І.Л. (та ін.). Пластичні мастила: властивості та якість: підручник; за заг. ред. С.В. Бойченка. Київ: Центр учбової літератури, 2021. 274 с.
4. Кравець А.М., Кравець В.Г. Пластичні мастила: Конспект лекцій. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 36 с.
5. Warner J., Cannon A., Dye K. Green Chemistry. *Environmental Impact Assessment Review*. 2004. P. 775–799. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.006>
6. Тихомірова Ф.А. Зелена хімія: нова хімічна філософія. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2015. 2. С. 93–100. doi:10.18524/2304-0947.2015.2(54).50636.
7. Худоярова О.С. Комплексне сорбційне очищення промислових стічних вод від сульфід- та купрум(II)-іонів: дис.... к.т.н.: 05.17.21. Вінниця, ВДПУ. 2021. 170 с.
8. Ранський А.П., Гордієнко О. А., Худоярова О.С., Крикливий Р.Д. Композиційні матеріали та консистентні мастила з підвищеними трибологічними властивостями. Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій: матеріали VI-ої Міжнародної конференції, 13-15 вересня 2018 р., Вінниця, Україна. Частина 1. ВНТУ, Вінниця, 2018. С. 61–62.
9. Іщук Ю, Гінзбург М., Кобилянський Є., Коваленко С., Ярмолук Б. Масильні матеріали: класифікація та термінологія. *Каталіз и нефтехимия*. 2005. № 13. С. 9-19.

10. Бойченко С., Пушак А., Топільницький П., Любінін Й., Лейда К. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість. К.: «Центр учбової літератури», 2019. 323 с.
11. Баранський К., Курилюк Н., Ніколайчук О. та ін. Вітчизняні пластичні мастила і їх зарубіжні аналоги. Методичні рекомендації по хімотології № 58. Київ, 2009. 34 с.
12. Чабанний В.Я. Паливно-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Кіровоград: Центральне Українське видавництво, 2008. 353 с.
13. Сіренко Г. О., Кириченко В. І., Сулима І. В. Фізико-хімія паливно-мастильних матеріалів: монографічний підручник (спеціальний курс лекцій) за ред. Г. О. Сіренка. Івано-Франківськ, 2017. 213 с.
14. Ранський А.П., Бойченко С.В., Гордієнко О.А. та ін. Композиційні мастильні матеріали на основі тіоамідів та їх комплексних сполук. Синтез. Дослідження. Використання : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2012. 328 с.
15. Ранський А.П., Худоярова О.С., Гордієнко О. А., Крикливий Р.Д. Спосіб регенерації суміші активованого вугілля та кізельгуру від органічних забруднювачів. *Патент України* № 134391 МПК (2017.01), (2006.01)/ 10.05.2019.
16. Khudoiarova O., Blazhko O., Blazhko A. Using of Waste Sorbent from Food Industry for the Removal of Copper Ions from Water. *Chemistry Journal of Moldova. General, Industrial and Ecological Chemistry*. 2025. 20 (1). P. 95–99. DOI: <https://doi.org/10.19261/cjm.2025.1250>
17. Худоярова О.С., Гордієнко О. А., Блажко А. В., Панченко Т. І., Ранський А. П. Десульфуризація промислових водно-лужних розчинів та отримання нових пластичних мастил. *Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг*: матеріали 3-ї міжнародної науково-практичної конференції. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. С. 318–319.
18. Khudoyarova Olga, Gordienko Olga, Blazhko Alina, Sydoruk Tetiana, Ranskiy Anatoliy. Desulfurization of industrial water-alkaline solutions and receiving new

- plastic oils. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. 6. P. 61–66.
[DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/123254](https://doi.org/10.12911/22998993/123254)
- 19.Худоярова О.С., Гордієнко О.А., Сидорук Т.І., Тітов Т.С., Ранський А.П. Модифікація поверхні сумішних сорбентів сульфід-іонами для очищення гальванічних промивних вод процесу міднення. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2020. № 2(19). С. 36–46.
 - 20.Khudoiarova O., Blazhko O., Blazhko A. Evaluation of the Efficiency of the Reuse of Sorbents and their Modified Forms for the Removal of Copper Ions from Water. *Orbital: Electron. J. Chem.* 2025, 17(1), pp.100-106. DOI: <http://dx.doi.org/10.17807/orbital.v17i1.22002>
 - 21.Khudoyarova O., Gordienko O., Titov T., Ranskiy A., Dykha A. Adsorptive regeneration of waste industrial oils. *Problems of tribology*. 2020. V. 25, 2/96. P. 19–24.
 - 22.Коріненко Б. В., Худоярова О.С., Прокопчук С.П. Регенерація відпрацьованих індустріальних олив. Матеріали XLIX Науково-технічної конференції Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 1984–1986.
 - 23.Худоярова О.С., Гордієнко О.А., Тітов Т.С., Ранський А.П., Коріненко Б.В., Петров О.В. Спосіб регенерації відпрацьованих мінеральних олив. *Патент України* № 146975. Заявлено 02.11.2020. Опубліковано 31.03.2021. Бюл. № 13.
 24. Ранский А.П., Худоярова О.С., Гордиенко О.А., Титов Т.С., Крикливый Р.Д. Регенерация смеси сорбентов после очистки оборотных вод производства безалкогольных напитков. *Хімія і технологія води*. 2019. 41, 5. С. 537–544.
 - 25.Ранський А. П., Худоярова О. С., Гордієнко О. А., Тітов Т. С., Церклевич Д. Р., Коріненко Б. В. Спосіб очищення промислової стічної води від сульфід- і

- гідросульфід-іонів Патент Україна № 139177 06138. Заявлено 03.06.2019. Опубліковано 26.12.2019. Бюл. № 24.
26. Khudoiarova O., Blazhko O., Blazhko A. Receiving of new carbon-sulfur-containing plastic lubricants based on regenerated products and used sorbents. *Key Engineering Materials*. 2023. 944. P. 51–58. DOI: <https://doi.org/10.4028/p-8hu326>
 27. Червінський Т.І., Гринишин О.Б., Корчак Б.О. Регенерація відпрацьованих олив термоокисним методом. *Нафтогазова галузь України*. 2016. 2. С. 32–34.
 28. Мітков Б.В., Болтянський В.М., Мітков В.Б., Михайлов О.В. Регенерація відпрацьованих олив з метою їх повторного використання. *Праці ТДАТУ*. 2011, 11, 6. С. 159–165.
 29. Полункін Е.В., Зубенко С.Н., Корис Г.В. Адсорбційне очищення турбінних олив за допомогою природних сорбентів – бентонітових глин. *Вісник НАУ*. 2009. 1. С. 253–257.
 30. Корчак Б.О., Т.І. Червінський Т.І., Гринишин О.Б. Термоокислювальна регенерація відпрацьованих індустріальних олив. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2016. 841. С.102–107.
 31. ДСТУ ГОСТ 4333:2018 (ГОСТ 4333–2014, IDT; ISO 2592:2000, MOD). Нафтопродукти. Методи визначення температур спалаху та займання у відкритому тиглі. Держспоживстандарт України, 2018.
 32. ДСТУ ГОСТ 33-2003 НАФТОПРОДУКТИ. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості. Держспоживстандарт України, 2003.
 33. Протизносна присадка MANNOL Molibden Additive 9991 <https://mannol-shop.com.ua/product/mannol-molibden-additive-9091-protiznosnaprisadka-mos2>
 34. Протизносна присадка для двигуна. <https://liquimoly.ua/uaprotiznosna-prisadka-dlya-dviguna-oil-additiv>
 35. Коріненко Б. В., Худоярова О. С., Прокопчук С. П. Регенерація відпрацьованих індустріальних олив: матеріали XLIX Науково-технічної

- конференції Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля (2020), Вінниця. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 1984–1986.
- 36.Худоярова О.С., Ранський А.П., Петров О.В., Гуменчук О.А. Дослідження адсорбційного очищення відпрацьованих індустриальних мастил. Актуальні питання підготовки майбутнього вчителя хімії: теорія і практика: збірник наукових праць VI Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, ВДПУ, Вінниця, Україна. Випуск 6. ТОВ «Твори», Вінниця, 2020. С. 56–57.
- 37.Чуйко О. О., Тьортих В.А. Дослідження взаємодії моноетаноламіну з поверхнею кремнезему методом ІЧ-спектроскопії. *Український Хімічний журнал*.1971. 37. С. 35–39.
- 38.Побирченко О. В., Ранский А.П., Плошенко И.Г. Ингибиторы питтинговой коррозии для газового конденсата. *Вопросы химии и хим. технологии*. 1998. 1. С. 11–12.
- 39.Тертых В. А. Химические реакции с участием поверхности кремнезема / В. А. Тертых, Л. А. Белякова. К.: Наукова думка, 1991. 264 с.
- 40.Tsutsumi K., Emori H. Takahashi H. Studies of surface modification of solids. III. Reaction of silica with trifluoroethanol. *Bull. Chem. Soc. Japan*. 1975. Vol. 48, No 10. P. 2613–2617.
- 41.Azrak R. C., Angell C.L. Study of alcohol-silica surface reactions via infrared spectroscopy. *J. Phys. Chem*. 1973. Vol. 77, No 26. P. 3048–3052.

Додаток 1

Склад, експлуатаційні характеристики та галузі застосування пластичних
мастил

Мастило	Галузь застосування	Основні експлуатаційні характеристики	Склад
1. Мастила загального призначення			
Солідол С Прес-Солідол С Замінники: Солідол Ж Літол-24	Відносно грубі вузли тертя механізмів і машин, транспортних засобів, військової та сільсько-господарської техніки; ручний та інший інструмент, шарнірні, гвинтові, ланцюгові передачі, тихохідні шестерні редуктори тощо	Хороша водостійкість, колоїдна стабільність, захисні властивості, вузький діапазон робочих температур і низька механічна стабільність. Працюють за температури $-30... +65\text{ }^{\circ}\text{C}$, в потужних механізмах (підшипники, шарніри, блоки тощо) від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$	Суміш олив кислотнолужного (70 %) і селективного (30 %) очищення, загущена кальцієвими милами кубових залишків синтетичних жирних кислот (C_{20} і вище) і низькомолекулярних синтетичних жирних кислот $\text{C}_5\text{--C}_6$
Солідол Ж, Прес-Солідол Ж Замінники: Літол-24, Уніол-1	Грубі вузли тертя в машинах і механізмах транспортних засобів, військової техніки, ручний та інший інструмент, гвинтові та ланцюгові передачі, тихохідні шестерні редуктори тощо	За основними характеристиками близький до синтетичних солідолів. Має кращі в'язкісно-температурні властивості, менше загущується при зберіганні, а також тиксотропно не підсилюється при перерві після руйнування. Працює за температури $-30...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$, в потужних механізмах (підшипники, шарніри тощо) від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$	Суміш нафтових олив середньої в'язкості, загущена гідратованим кальцієвим милом жирних кислот, які входять до складу природних (рослинних та тваринних) жирів

Мастило	Галузь застосування	Основні експлуатаційні характеристики	Склад
Солідол Ж (ТУ У 25404313.001-98) АЗМОЛ солідол ЖСХ (ТУ У 23.2-00152365-144-2003)	Грубі вузли тертя кочення і ковзання машин та механізмів транспортних засобів, сільсько-господарської техніки, ручного інструменту, гвинтових та ланцюгових передач, тихохідних шестерних передач тощо	Працюють за температури $-30 (50) \dots +65^{\circ}\text{C}$	Згущувач - гідратоване кальцієве мило
АЗМОЛ Графітна Ж (ТУ 38.301-48-34-95)	Вузли тертя ковзання грубих важко навантажених тихохідних механізмів (ресори, домкрати, торсанні підвіски гусеничних машин, різьбові з'єднання, шестерні передачі, ходові гвинти	Працюють за температури $-20 \dots +60^{\circ}\text{C}$, допускається до застосування при температурі нижче -20°C в ресорах і подібних пристроях	Згущувач - гідратоване кальцієве мило
Агрінол Солідол (ЕР 2,3) (ТУ У 23.2-30802090-009:2005)	Різнорізані вузли тертя, підшипники кочення і ковзання, шарніри, гвинтові і ланцюгові передачі, редуктори сільськогосподарських і транспортних машин, промислового і будівельного обладнання з підвищеними вимогами до зносостійкості і працюють при високих навантаженнях	Хороші трибологічні характеристики	Містить спеціальні антифрикційні добавки

Мастило	Галузь застосування	Основні експлуатаційні характеристики	Склад
Графітна УСсА Замінники: Солідол С, Солідол Ж Літол-24 з до- бавкою 10 % гра- фіту	Вузли тертя ковзання важко навантажених тихо- хідних механізмів та машин (ресори, підвіски, відкриті зубчасті передачі тощо)	Працюють за температури –20...+70 °С; допускається до застосування при температурі нижче –20 °С в ресорах і подібних пристроях	Високов'язка нафтова олива, загущена каль- цієвим милом з добавкою 10 % графіту
2. Багатоцільові мастила			
Літол-24 (ГОСТ 21150-87) Замінники: Літол-24РК, Алюмол Зимол	Підшипники кочення і ковзання всіх типів, шарніри, зубчасті та інші передачі, поверхні тертя колісних і гусеничних транспортних засобів, електричних машин тощо	Висока колоїдна, хімічна і механічна стабільність, водостійкість навіть в киплячій воді. Працює за температури – 40...+120 °С.	Нафтова олива в'язкістю 60–75 мм ² /с при 50 °С, загущена літієвим милом 12-гідроксистеаринової кислоти; містить антиокислювальний та в'язкісний додатки
Фіол-1 (ТУ 38 УРСР 2011247-80) Замінник: Фіол-2	Вузли тертя, змащувальні через прес-масльонки або від централізованої систе- ми подачі мастила; гнучкі вали або троси управління в оболонках; малопотужні редуктори, легко навантажені малогабаритні підшипники кочення тощо	Водостійке. Працює за температури – 40... +120 °С	Суміш нафтових олив, загущена літієвим милом 12-гідроксистеаринової кислоти; містить антиокислювальний та в'язкісний додатки
АЗМОЛ Фіол-2 (ТУ У 23.2- 00152365-174- 2003)	Підшипники кочення ковзання, зубчастих передач індустріальних машин і механізмів, передач станків, конвеєрів і іншого подібного обладнань працюючих при малих і середніх навантаженнях	Працює за температури – 40... +120 °С	Згущувач літієве мило

Мастило (ГОСТ, ТУ)	Галузь застосування	Основні експлуатаційні характеристики	Склад
3. Мастила загального призначення для підвищених температур			
1-13 АЗМОЛ 1-13 (ТУ 38.5901257-90) Замінник: Літол-24	Різні підшипники кочення, рідше – ковзання; підшипники електро-двигунів, ступиць коліс застарілих автомобілів тощо	Водостійкість низька, при контакті з водою емульгується і розчиняється в ній. Працюють за температури $-20... +110\text{ }^{\circ}\text{C}$	Суміш нафтових олив низької та середньої в'язкості, загущена натрієвим милом жирних кислот касторової оливи; містить небагато кальцієвого мила тих же жирних кислот
Агрінол 1-13 ТУ У 23.2-30802090-014-2002)	Вузли тертя кочення і ковзання механізмів і машин	Працює за температури $-20... +110\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Згущувач натрієве і кальцієве мила
Консталін (ГОСТ 1957-73) Замінники: Літол-24, 1-13	Вузли тертя вентиляторів, підшипників кочення на залізничному транспорті та інше	Водостійкість низька, при контакті з водою емульгується і розчиняється в ній. Працює за температури $-20... +110\text{ }^{\circ}\text{C}$	Циліндрова олива, загущена натрієвими милами жирних кислот касторової оливи
4. Термостійкі мастила			
БНЗ-4 (ТУ 38 УРСР 201197-80) Замінники: БНЗ-5 Силікол	Вузли тертя, які стикаються з парами води і агресивних речовин, вертикальні і нахильні вузли тертя індустріальних машин, підшипники конвеєрів сушильних камер на машинобудівних заводах	Стійке в присутності парів води і агресивних середовищ, висока термічна і механічна стабільність, хороші консерваційні властивості. Працює за температури $-40... +160\text{ }^{\circ}\text{C}$	Нафтова олива, загущена модифікованим силікагелем; містить антиокиснювальний та інші добавки
Графітол (ТУ 38 УРСР 201172-77) Замінник: Аерол	Високотемпературні вузли тертя, переважно ковзання; гарячі вентилятори, петлі і замки дверей сушильних камер і інших індустріальних механізмів	Висока термічна стабільність, низька випаровуваність, хороші протизадирні властивості, задовільна водостійкість. Працює за температури $-25... +160\text{ }^{\circ}\text{C}$	Нафтова залишкова олива, загущена модифікованим аеросилом; містить графіт