

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти БАКАЛАВРА
Бакалавра (Магістра)

Покращення термічної стійкості та окиснюваності мастильно-охолоджувальних рідин

Назва теми


Галузь знань 13 Механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 132 Матеріалознавство
Шифр і назва спеціальності


Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів
Назва

Шифр КвРМТВА. 23664.02.06.00

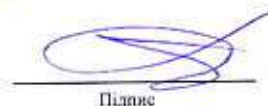
Виконав студент(ка) 3-20 курсу
група МТВАс 23-2
Шифр


Підпис Євген ДЕНІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

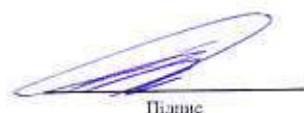
Керівник


Підпис Михайло ГЕТЬМАН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер доцент кафедри ТАМ
Посади


Підпис Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва


Підпис Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 10.06 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

культет інженерії, транспорту та архітектури

федра трибології, автомобілів та матеріалознавства

вітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

пряма підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

вітньо-професійна програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Духа О.В.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Деніну Євгену Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи «Покращення термічної стійкості та окиснюваності мастильно-охолоджувальних рідин».

рівник роботи Гетьман Михайло Володимирович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

тверджено наказом університету від 20 січня 2026 р. № 7 (Д14)

Строк подання студентом роботи на кафедру 16.06.2026 р.

Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; матеріали курсових біт.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загальні теоретичні відомості;

2. Методичний підхід до досліджень мастильних матеріалів;

3. Практично-експериментальна частина роботи

Перелік графічного матеріалу (презентація)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на айдах

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.04 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примі
1	<i>Загальні теоретичні відомості</i>	28.05.2026	
2	<i>Методичний підхід до досліджень мастильних матеріалів</i>	08.06. 2026	
3	<i>Практично-експериментальна частина роботи</i>	12.06. 2026	
4	<i>Висновки</i>	14.06. 2026	
5	<i>Захист дипломної роботи</i>	16.06. 2026	

Студент

Керівник роботи


Підпис


Підпис

Євген ДЕНІН
ІМ'Я, ПРІЗВИЩЕ

Михайло ГЕТЬМА
ІМ'Я, ПРІЗВИЩЕ

Реферат

Бакалаврську випускную роботу виконав студент 3 курсу, група МТВАс-23-2 Денін Євген Олександрович на тему: «Покращення термічної стійкості та окиснюваності мастильно-охолоджувальних рідин».

У дипломній роботі розглянуто питання підвищення термічної стійкості та окиснювальної стабільності мастильно-охолоджувальних рідин, які широко застосовуються в процесах механічної обробки металів. Проведено аналіз основних факторів, що впливають на деградацію експлуатаційних властивостей рідин під дією високих температур та кисню навколишнього середовища. Визначено основні механізми термоокиснювального руйнування компонентів мастильно-охолоджувальних рідин та шляхи їх уповільнення.

У першому розділі проведено огляд основних мастильних матеріалів, які використовуються в вузлах тертя машин. Проведено також огляд мастильних матеріалів та їх основні властивостей.

У другому розділі було проведено огляд мастильно-охолоджувальних рідин. А також було описано основні методи досліджень та способи вимірювання.

У третьому розділі було описано дослідження властивостей мастильних матеріалів при процесах окислення, а також під впливом температури.

Випускна робота складається з 75 сторінок, містить у собі 14 ілюстрацій, 2 таблиць та 17 джерел.

Ключеві слова: МАСТИЛО, ВЛАСТИВОСТІ, МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНА РІДИНА, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ОКИСЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. Загальні теоретичні відомості.....	9
1.1 Класифікація мастил та присадок.....	9
1.2 Застосування мастильних матеріалів.....	12
1.3 Основні властивості мастильних матеріалів.....	17
1.4 Основні проблеми, які виникають під час використання мастильних матеріалів.....	20
1.5 Втрата змащувальних властивостей в наслідок процесу старіння.....	21
2. Методичний підхід до досліджень мастильних матеріалів....	25
2.1 Характеристики мастильно-охолоджувальних рідин.....	25
2.2 Методи досліджень та основні способи вимірювання.....	28
2.3 Опис технічного засобу для термостатування зразків.....	29
2.4 Вміст сіри в мастильно-охолоджувальних матеріалах.....	31
2.5 Методичний підхід до визначення густини та в'язкості досліджуваних зразків.....	34
2.6 Розрахунок індекса в'язкості.....	37
2.7 Визначення показника кислотного числа зразків.....	39
3. Практично-експериментальна частина роботи.....	42
3.1 Дослідження властивостей мастильних матеріалів при процесах окислення , а також під впливом температури.....	42

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	<i>Покращення термічної стійкості та окиснюваності мастильно-охолоджувальних рідин</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Денін	Гетьман	Бабак	Диха		4	75	ХНУ група МТВАс 23-2
Перевір.								
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.								

3.2 Вплив металевої стружки на зміну властивостей мастильно-охолоджувальних рідин.....57

ВИСНОВКИ.....70

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....73

ДОДАТКИ.....75

ВСТУП

Під час свердління глибоких отворів широко застосовуються мастильно-охолоджувальні рідини на основі масел. У процесі експлуатації вони зазнають впливу підвищених температур і контактують з киснем повітря, що призводить до їх поступового окиснення. Внаслідок цього змінюються такі характеристики, як колір, в'язкість, кислотне число та інші фізико-хімічні параметри. Подібні зміни негативно впливають на експлуатаційні властивості рідин і, як наслідок, скорочують термін їх ефективного використання.

Виробники зазвичай визначають граничні стани мастильних матеріалів, після досягнення яких їх необхідно замінювати. Проте такі нормативи не завжди забезпечують оптимальне використання рідин, оскільки не враховують конкретні умови роботи обладнання, режими обробки, технічний стан верстатів, а також особливості системи доливання та очищення. У зв'язку з цим доцільним є впровадження систематичного контролю поточного стану мастильно-охолоджувальних рідин. Це можна реалізувати шляхом використання експрес-методів вимірювання, сучасних засобів діагностики та ефективних систем фільтрації із встановленням індивідуальних граничних значень параметрів.

Основне призначення мастильних матеріалів полягає у зменшенні коефіцієнта тертя між контактуючими поверхнями, відведенні тепла, що утворюється в зоні тертя, а також у видаленні продуктів зносу та механічних домішок. Від ефективності виконання цих функцій залежить надійність і довговічність роботи обладнання.

Якість масел визначається сукупністю їх експлуатаційних властивостей. До ключових належать мийно-диспергувальні, антиокиснювальні, протизносні, антикорозійні та в'язкісно-температурні характеристики. Для покращення цих властивостей до складу масел

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						6
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

вводять спеціальні полярно-активні присадки. Саме вони дозволяють розширити температурний діапазон працездатності мастильних матеріалів, оскільки базові нафтові масла ефективно працюють приблизно до температури 200 °С.

Вплив окиснювальних процесів на властивості масел оцінюється за допомогою стандартних методів, які дозволяють визначити їх термоокиснювальну стабільність. При цьому аналізуються зміни в'язкості, кислотності, оптичних характеристик, корозійної активності, кількості відкладень, летючості та інших показників. Однак питання впливу цих змін на протизносні властивості окиснених масел досі вивчене недостатньо повно. Варто зазначити, що процеси окиснення і температурної деструкції відбуваються одночасно, але з різною інтенсивністю, що ускладнює їх дослідження.

Актуальність даної роботи зумовлена тим, що під час свердління глибоких отворів відбувається комплексний вплив механічних, термічних, окиснювальних і хімічних факторів. У цій системі мастильний матеріал відіграє ключову роль, оскільки безпосередньо впливає на надійність і стабільність технологічного процесу. Через одночасний перебіг кількох деградаційних процесів виникає необхідність окремого вивчення впливу продуктів окиснення та температурної деструкції на протизносні властивості. Розв'язання цього завдання дасть змогу розробити ефективні заходи для уповільнення окиснення та підвищення температури початку руйнування як базової основи масел, так і їх присадок.

Об'єктом дослідження є мастильно-охолоджувальні рідини трьох різних марок, що відрізняються за складом та властивостями.

Предметом дослідження виступають експлуатаційні характеристики цих рідин, а також зміни їх властивостей у процесі окиснення та температурної деструкції.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						7
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

Основні завдання дослідження полягають у вивченні динаміки зміни властивостей мастильно-охолоджувальних рідин з різною базовою основою при дії зазначених процесів, а також у проведенні комплексного аналізу їх стану із застосуванням сучасних діагностичних методів контролю.

Метою роботи є детальне дослідження змін властивостей мастильно-охолоджувальних рідин різного складу в умовах одночасного протікання процесів окиснення та температурної деструкції.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці методики контролю процесів окиснення та термічного руйнування, яка дозволяє оцінювати протизносні властивості моторних масел після їх попереднього окиснення при температурі 95 °С та витримування в умовах, максимально наближених до реальних (зокрема, за наявності металевої стружки).

Практична значущість роботи визначається тим, що на основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень сформовано рекомендації щодо вдосконалення технологій контролю стану масел. Зокрема, запропоновано підходи до оцінювання впливу продуктів окиснення і температурної деструкції на протизносні властивості, а також визначення домінуючого фактору, який найбільше впливає на зниження їх ефективності.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						8
Змн	Днк	№ док.м	Піліпс	Дата		

1. Загальні теоретичні відомості

1.1 Класифікація мастил та присадок

Мастильно-охолоджувальні рідини (поширене скорочення — СОЖ) являють собою спеціальні технологічні середовища, що застосовуються у процесах металообробки як допоміжні матеріали. Їх використання спрямоване на одночасне вирішення кількох важливих виробничих завдань: зменшення інтенсивності зношування ріжучого інструменту, забезпечення стабільності технологічного процесу, а також досягнення необхідної якості оброблюваної поверхні деталей. СОЖ, як правило, є складними багатокомпонентними системами, до складу яких входять базові масла, присадки та різноманітні функціональні добавки.

Основне призначення мастильно-охолоджувальних рідин полягає у зниженні сил тертя між контактуючими поверхнями, ефективному відведенні тепла із зони різання, а також у створенні сприятливих умов для роботи інструменту й обладнання загалом. Завдяки цьому підвищується довговічність механізмів, зменшуються енергетичні витрати та покращується точність обробки.

СОЖ виконують цілий комплекс функцій, які суттєво оптимізують процес обробки металів. По-перше, вони забезпечують очищення зони контакту інструмента із заготовкою, видаляючи стружку, пилю, частинки зносу та інші забруднення. Це дозволяє уникнути повторного потрапляння абразивних частинок у зону різання та запобігає пошкодженню структури матеріалу під дією високих температур. По-друге, важливою є диспергувальна дія, що сприяє подрібненню частинок матеріалу та полегшує процес різання, знижуючи витрати енергії на виконання операцій.

					КвРМТВА. 23664.02.06.00	Днк
						9
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

Не менш значущою є мастильна функція: у зоні контакту інструмента і заготовки утворюється тонка плівка, яка зменшує коефіцієнт тертя. Це призводить до зниження навантаження на обладнання, зменшення ймовірності перегріву та, відповідно, подовження терміну його експлуатації. Окрім цього, СОЖ виконують ефективну охолоджувальну функцію, відводячи тепло, що виникає в процесі різання, і стабілізуючи температурний режим обробки.

Експлуатаційні характеристики масел, що входять до складу СОЖ, визначаються сукупністю їх властивостей. До найважливіших належать мийно-диспергувальні, антиокиснювальні, протизносні, антикорозійні та в'язкісно-температурні показники. Для покращення цих характеристик застосовують спеціальні полярно-активні присадки, які значно розширюють робочий температурний діапазон матеріалів. Зазвичай базові нафтові масла зберігають працездатність до температури близько 200 °С, однак їх реальна температурна стійкість у практичних умовах часто не зазначається у технічній документації або сертифікатах якості.

Оцінювання впливу окиснювальних процесів на властивості масел здійснюється за допомогою стандартизованих та інструментальних методів дослідження. Зокрема, визначається термоокиснювальна стабільність за змінами таких параметрів, як в'язкість, кислотне число, оптичні характеристики, корозійна активність, кількість утворених відкладень, летючість та інші показники. У ході досліджень встановлено, що в процесі експлуатації відбувається поступове накопичення продуктів окиснення та термічної деструкції. Саме ці продукти значною мірою визначають зміну експлуатаційних та протизносних властивостей мастильних матеріалів.

Варто підкреслити, що процеси окиснення та температурного руйнування відбуваються одночасно, проте їх інтенсивність може суттєво відрізнятись залежно від умов роботи, складу рідини та температурного режиму. Така складність взаємодії процесів ускладнює оцінювання їх

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						10
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

окремого впливу, що, у свою чергу, зумовлює необхідність проведення комплексних досліджень у цьому напрямку.

Розширене розуміння механізмів деградації мастильно-охолоджувальних рідин дозволяє не лише підвищити ефективність їх використання, але й розробити нові підходи до контролю їх стану, своєчасної заміни та оптимізації складу. Це є важливим фактором підвищення надійності технологічних процесів у сучасному машинобудуванні та металообробній промисловості.

Важливим аспектом використання мастильно-охолоджувальних рідин у сучасних технологічних процесах є також їх вплив на стан поверхневих шарів оброблюваних матеріалів. Під час механічної обробки металів у зоні різання формуються складні термомеханічні умови, які супроводжуються локальними високими температурами, значними питомими навантаженнями та інтенсивною пластичною деформацією поверхневого шару. У таких умовах СОЖ відіграють роль не лише охолоджувального та мастильного середовища, але й фактора, що безпосередньо впливає на фізико-хімічні процеси, які відбуваються на межі контакту інструмент–заготовка.

Зокрема, активні компоненти СОЖ здатні формувати на поверхні металу тонкі адсорбційні або реакційні плівки, які змінюють характер взаємодії між контактуючими поверхнями. Такі плівки зменшують адгезійне зчеплення, перешкоджають утворенню задирів і сприяють більш рівномірному розподілу напружень у зоні різання. У результаті цього знижується ймовірність виникнення мікротріщин та дефектів поверхневого шару, що безпосередньо впливає на експлуатаційні властивості готових деталей.

Крім того, сучасні мастильно-охолоджувальні рідини можуть виконувати функцію своєрідного стабілізатора процесу різання. Завдяки оптимальному поєднанню в'язкості, поверхневого натягу та змочувальної

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						11
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

здатності вони забезпечують рівномірне проникнення в зону контакту, що сприяє стабілізації процесу утворення стружки. Це особливо важливо при обробці високоміцних та жароміцних сплавів, де процес різання супроводжується значними коливаннями навантажень і температур.

Окремої уваги заслуговує вплив СОЖ на процеси тертя у граничних умовах змащування. У таких режимах, коли суцільна мастильна плівка частково руйнується, вирішальну роль відіграють полярно-активні молекули та присадки, здатні адсорбуватися на металевих поверхнях. Вони утворюють тонкі захисні шари, що зменшують металевий контакт і, відповідно, інтенсивність адгезійного зношування. Це дозволяє суттєво підвищити зносостійкість як інструменту, так і оброблюваної деталі.

Слід також відзначити, що ефективність роботи СОЖ значною мірою залежить від їх стабільності в часі. У процесі експлуатації можливі явища розшарування, окиснення базової основи, втрати активності присадок, а також мікробіологічне забруднення. Усі ці фактори призводять до поступового погіршення експлуатаційних характеристик рідини, що, у свою чергу, негативно впливає на стабільність технологічного процесу. Саме тому контроль стану СОЖ є важливою складовою сучасних систем технічного обслуговування виробничого обладнання.

Таким чином, мастильно-охолоджувальні рідини слід розглядати як багатофункціональні технологічні системи, які одночасно впливають на теплові, механічні та хімічні процеси в зоні обробки. Глибоке розуміння їх поведінки та механізмів взаємодії з оброблюваними матеріалами є необхідною умовою для подальшого підвищення ефективності сучасних технологій металообробки.

1.2 Застосування мастильних матеріалів

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						12
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

На сьогодні відсутній єдиний уніфікований нормативно-технічний документ, який би регламентував вимоги до базових масел. Попри це, у практиці їх виробництва та використання застосовується узагальнена класифікація, що ґрунтується на показниках в'язкості. Залежно від значення кінематичної в'язкості при температурі 100 °С базові масла умовно поділяють на кілька груп: малов'язкі (приблизно 3–4 сСт), середньов'язкі (у межах 4–6 сСт) та високов'язкі (від 8–9 сСт і вище). Для окремих різновидів масел розробляються спеціальні технічні умови, які визначають їх якісні характеристики та сферу застосування. Виробництво базових масел на підприємствах нафтопереробної галузі зазвичай здійснюється відповідно до внутрішніх стандартів або локальних технічних регламентів.

Мастильно-охолоджувальні рідини класифікують за складом і фізико-хімічними властивостями, що безпосередньо впливають на їх ефективність у процесах металообробки. З урахуванням цих ознак виділяють три основні групи СОЖ.

Першу групу становлять безводні рідини, основу яких складають мінеральні масла без додавання води. До їх складу вводять спеціальні функціональні присадки, що покращують експлуатаційні характеристики. Такі рідини характеризуються високою мастильною здатністю, сприяють зменшенню утворення накипу, підвищують стійкість металів до корозії, а також забезпечують захист інструменту і вузлів обладнання від передчасного зношування.

Друга група включає рідини на основі нафтопродуктів, зокрема газойлю, керосину та інших подібних компонентів. Для підвищення їх ефективності до складу додають поверхнево-активні речовини або комбінують кілька типів нафтових масел. Подібні СОЖ найчастіше застосовуються при абразивній обробці матеріалів, оскільки вони

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						13
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

зменшують тертя, знижують інтенсивність зношування інструменту та сприяють стабільній роботі механізмів навіть у складних умовах.

Третю, найбільш поширену групу становлять емульсійні мастильно-охолоджувальні рідини (емульсоли), які є сумішшю масел, води та емульгаторів. Вони широко використовуються в сучасному машинобудуванні завдяки поєднанню ефективного охолодження і достатніх мастильних властивостей. За умови відповідності стандартам якості такі рідини є зручними в експлуатації, відносно безпечними для персоналу та мають менший негативний вплив на довкілля.

Суттєвий вплив на властивості мастильно-охолоджувальних рідин мають присадки, які вводяться до їх складу з метою покращення окремих експлуатаційних характеристик. Саме завдяки правильно підбраному пакету присадок досягається необхідний рівень ефективності СОЖ у різних умовах роботи.

Серед основних типів присадок варто виділити антикорозійні, які забезпечують захист металевих поверхонь від руйнування під дією вологи, температури та агресивних середовищ під час обробки. Протизносні присадки сприяють зменшенню інтенсивності зношування інструментів, деталей та вузлів обладнання, що особливо важливо при роботі в умовах високих навантажень і швидкостей. Це дозволяє значно подовжити термін служби технічних засобів.

Протизадирні добавки виконують функцію запобігання пошкодженням робочих поверхонь, які можуть виникати внаслідок локальних перевантажень або порушення мастильного режиму. Вони формують захисні плівки, що перешкоджають безпосередньому контакту металу з металом.

Окрему групу становлять антитуманні присадки, які зменшують утворення масляного аерозолі під час роботи. Це має важливе значення як для нормального функціонування обладнання, так і для забезпечення

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						14
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

безпечних умов праці, оскільки масляний туман може негативно впливати на органи дихання людини.

Не менш важливими є антипінні добавки, які запобігають утворенню піни в мастильно-охолоджувальних рідинах. Надлишкове піноутворення може суттєво погіршувати їх експлуатаційні властивості, знижувати ефективність охолодження та мастила, а також ускладнювати роботу систем подачі СОЖ. Використання таких присадок дозволяє зберігати стабільність характеристик рідини протягом тривалого часу.

Таким чином, склад, тип базового масла та набір присадок є визначальними чинниками, що формують експлуатаційні властивості мастильно-охолоджувальних рідин. Їх правильний підбір і контроль стану забезпечують підвищення ефективності технологічних процесів, зменшення витрат і збільшення ресурсу роботи обладнання.

У більшості виробничих процесів мастильно-охолоджувальні рідини застосовуються як важливий елемент забезпечення стабільної та безперервної роботи обладнання. Їх використання спрямоване на зниження інтенсивності зношування робочих інструментів і вузлів машин, а також на мінімізацію втрат матеріалу та зменшення кількості виробничих відходів. Особливо значущою є роль СОЖ у процесах механічної обробки матеріалів, передусім металів, де вони сприяють підвищенню точності, якості поверхні та продуктивності праці.

Водночас сфера застосування мастильно-охолоджувальних рідин не обмежується лише металообробкою. Завдяки своїм універсальним властивостям вони використовуються в багатьох галузях техніки та промисловості. Зокрема, такі рідини застосовуються для забезпечення ефективної роботи двигунів внутрішнього згорання, де вони виконують функції змащування та часткового охолодження. У промислових теплообмінниках СОЖ сприяють стабільному відведенню тепла та підтриманню оптимального температурного режиму. У радіоелектронній

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						15
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

апаратурі вони можуть використовуватися для тепловідведення та захисту компонентів від перегріву.

Крім того, мастильно-охолоджувальні рідини знаходять застосування в системах опалення, де вони виступають як теплоносії, а також у різноманітних технічних установках, що працюють в умовах низьких або від'ємних температур. У таких випадках особливо важливою є їх здатність зберігати експлуатаційні властивості за екстремальних умов.

З огляду на широкий спектр застосування, до мастильно-охолоджувальних рідин висувається комплекс вимог, що визначають їх ефективність і надійність у роботі. Насамперед вони повинні мати високі мийні та диспергувально-стабілізувальні властивості, що забезпечують очищення робочих поверхонь і запобігають накопиченню забруднень. Важливою характеристикою є також термічна та термоокиснювальна стабільність, яка дозволяє рідинам зберігати свої властивості навіть при тривалому впливі високих температур.

Не менш значущими є протизносні властивості, які забезпечують зменшення механічного зношування деталей і підвищують довговічність обладнання. СОЖ повинні бути хімічно нейтральними щодо матеріалів, з яких виготовлені деталі машин, тобто не викликати корозії або руйнування поверхонь.

Додатково важливою вимогою є стійкість до старіння, що передбачає здатність рідини зберігати свої характеристики протягом тривалого періоду експлуатації. В'язкісно-температурні властивості також відіграють ключову роль: зміна в'язкості залежно від температури повинна бути мінімальною, щоб забезпечити стабільну роботу систем у різних режимах.

Сумісність із матеріалами ущільнень є ще одним важливим фактором, оскільки агресивний вплив рідини може призвести до пошкодження герметизуючих елементів і порушення роботи системи. Крім

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						16
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

того, СОЖ повинні бути стійкими під час зберігання та транспортування, не розшаровуватися та не втрачати своїх властивостей.

Серед експлуатаційних вимог також слід відзначити низьку схильність до піноутворення, оскільки піна погіршує процес теплообміну та може ускладнювати подачу рідини. Важливими є також низька летючість і мінімальні втрати на випаровування (угар), що забезпечує економічність використання та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище.

Таким чином, мастильно-охолоджувальні рідини є складними багатофункціональними системами, від властивостей яких значною мірою залежить ефективність роботи сучасного обладнання, надійність технологічних процесів і якість кінцевої продукції.

1.3 Основні властивості мастильних матеріалів

Властивості мастильно-охолоджувальних рідин на масляній основі формують складну систему характеристик, які визначають їх ефективність у процесах металообробки та інших галузях промисловості. Для зручності аналізу та оцінювання їх прийнято класифікувати за кількома основними групами. Такий підхід дозволяє більш комплексно досліджувати поведінку СОЖ у різних умовах експлуатації та забезпечує можливість оптимального підбору рідини для конкретних технологічних задач.

Загалом властивості масляних мастильно-охолоджувальних рідин доцільно поділяти на п'ять основних категорій: фізико-хімічні характеристики, функціональні властивості, показники хімічної активності, експлуатаційні параметри, а також екологічні аспекти використання.

Фізико-хімічні властивості є базовими характеристиками, що визначають поведінку рідини як матеріалу. До них належать такі

					КвРМТВА. 23664.02.06.00	Днк
						17
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

показники, як в'язкість, густина, температура спалаху, температура застигання, теплопровідність, теплоємність та інші параметри. В'язкість є однією з ключових характеристик, оскільки вона безпосередньо впливає на здатність рідини утворювати захисну мастильну плівку між контактуючими поверхнями. Занадто низька в'язкість може призвести до недостатнього змащування, тоді як надмірно висока — ускладнює циркуляцію рідини та погіршує тепловідвід.

Не менш важливою є температура спалаху, яка характеризує пожежну безпеку рідини, а також температура застигання, що визначає можливість її використання в умовах низьких температур. Такі параметри, як теплопровідність і теплоємність, визначають ефективність відведення тепла із зони різання, що є критично важливим при інтенсивних режимах обробки.

Функціональні властивості мастильно-охолоджувальних рідин відображають їх здатність виконувати основні технологічні функції. Серед них ключовими є мастильні, охолоджувальні, мийні та диспергувальні властивості. Мастильна здатність забезпечує зменшення тертя між поверхнями, що контактують, і, відповідно, знижує зношування інструменту та деталей. Охолоджувальна функція полягає у відведенні тепла, яке утворюється під час механічної обробки, що запобігає перегріву та деформації матеріалу.

Мийні властивості сприяють очищенню робочої зони від стружки, пилу та інших забруднень, тоді як диспергувальні — забезпечують рівномірний розподіл твердих частинок у рідині, запобігаючи їх осіданню та утворенню відкладень. У сукупності ці функції забезпечують стабільність технологічного процесу та високу якість обробки.

Хімічна активність мастильно-охолоджувальних рідин характеризує їх взаємодію з оброблюваними матеріалами, інструментами та елементами обладнання. Вона включає схильність до окиснення, корозійну активність,

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						18
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

а також здатність вступати в хімічні реакції під дією високих температур і навантажень. Важливо, щоб СОЖ не спричиняли корозійного руйнування металевих поверхонь, а навпаки — забезпечували їх захист. Саме тому до складу рідин вводять спеціальні антикорозійні та антиокиснювальні присадки.

Особливу увагу приділяють процесам окиснення, які призводять до утворення кислот, смолистих речовин і відкладень. Ці продукти можуть значно погіршувати експлуатаційні властивості рідини, збільшувати її в'язкість і знижувати ефективність роботи. Тому контроль хімічної стабільності є одним із важливих завдань у процесі експлуатації СОЖ.

Експлуатаційні властивості визначають поведінку мастильно-охолоджувальної рідини безпосередньо в умовах реального використання. До них належать стабільність властивостей у часі, стійкість до піноутворення, сумісність із матеріалами ущільнень, здатність зберігати свої характеристики при багаторазовому використанні та впливі зовнішніх факторів. Важливою є також здатність рідини ефективно працювати в широкому діапазоні температур і навантажень.

Стійкість до піноутворення має велике значення, оскільки піна може порушувати процес подачі рідини та знижувати ефективність охолодження. Також важливою є стабільність при зберіганні, яка забезпечує збереження властивостей рідини без розшарування чи випадання осаду.

Окрему групу становлять екологічні властивості, які набувають дедалі більшого значення в сучасних умовах. Вони включають токсичність, біорозкладність, вплив на довкілля та безпеку для здоров'я людини. Сучасні вимоги до мастильно-охолоджувальних рідин передбачають мінімізацію їх негативного впливу як на виробничий персонал, так і на навколишнє середовище.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						19
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

Зокрема, важливо, щоб СОЖ не утворювали шкідливих випарів або аерозолів, не містили небезпечних компонентів і могли утилізуватися без значної шкоди для екосистем. У цьому контексті активно розвиваються нові типи рідин на основі біорозкладних компонентів та екологічно безпечних добавок.

Таким чином, комплексний підхід до оцінювання властивостей мастильно-охолоджувальних рідин дозволяє не лише підвищити ефективність їх використання, але й забезпечити надійність технологічних процесів, продовжити термін служби обладнання та зменшити негативний вплив на довкілля. Розуміння взаємозв'язку між різними групами властивостей є важливою передумовою для розробки нових, більш ефективних і безпечних мастильних матеріалів.

1.4 Основні проблеми, які виникають під час використання мастильних матеріалів

Неправильне використання мастильно-охолоджувальної рідини (СОЖ), а також відсутність систематичного контролю її основних фізико-хімічних параметрів можуть призводити до суттєвих проблем у виробничому процесі. Зокрема, це викликає погіршення якості оброблюваних поверхонь деталей: з'являються задири, підвищується шорсткість, знижується точність обробки. Окрім цього, погіршуються антикорозійні властивості рідини, що негативно впливає на стан обладнання, а також прискорюється зношування інструменту, зменшується його ресурс та експлуатаційна надійність.

Порушення стабільності складу СОЖ також відображається на її органолептичних і санітарно-гігієнічних характеристиках. Це може проявлятися у вигляді різкого неприємного запаху (часто з домішками сірководню), зміни кольору або помутніння рідини. Такі зміни свідчать

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						20
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

про процеси розкладання або забруднення. Крім того, можливий негативний вплив на здоров'я оператора — виникнення подразнень шкіри, алергічних реакцій, а також ураження слизових оболонок під час контакту з рідиною або її парами.

У процесі експлуатації також можуть виникати фізичні дефекти СОЖ, такі як розшарування емульсії, інтенсивне піноутворення та мікробіологічне ураження. Розшарування призводить до втрати однорідності рідини, що знижує її ефективність. Піноутворення ускладнює подачу СОЖ у зону різання, а також може спричиняти перебої в роботі насосного обладнання. Біологічне забруднення, викликане розвитком бактерій і грибків, є особливо небезпечним, оскільки такі мікроорганізми здатні швидко розмножуватися в сприятливому середовищі та практично не піддаються видаленню без повної заміни рідини.

Основними причинами виникнення зазначених проблем можуть бути:

- використання неякісних або недостатньо ефективних емульгаторів і стабілізаторів, що призводить до втрати стабільності емульсії та її розділення на фази;
- недостатній вміст біоцидних компонентів у складі СОЖ, що створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів;
- порушення умов зберігання та експлуатації рідини, а також відсутність регулярного технічного обслуговування системи.

Якщо своєчасно не усунути ці негативні явища, це може спричинити серйозні наслідки:

- значне зростання витрат на обслуговування та заміну СОЖ;
- розвиток корозійних процесів у верстатах, їх вузлах і механізмах;
- засмічення та вихід з ладу фільтрів, насосів і систем подачі рідини;

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						21
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

- зниження загальної ефективності виробництва та збільшення простоїв обладнання.

Отже, регулярний контроль стану мастильно-охолоджувальних рідин, своєчасна їх заміна та правильний підбір складу є необхідними умовами забезпечення стабільної та безпечної роботи технологічного обладнання.

1.5 Втрата змащувальних властивостей в наслідок процесу старіння

Під час тривалої експлуатації машин і механізмів мастильні оливи неминуче зазнають процесів старіння, що призводить до поступової втрати їхніх початкових експлуатаційних властивостей. У результаті змінюються основні показники якості, зокрема в'язкість, густина, температура спалаху, кислотне число, а також оптичні характеристики. Це свідчить про зміну як хімічного складу, так і фізичного стану оливи. У робочих умовах мастильний матеріал піддається одночасному впливу температурних, механічних, хімічних і термоокиснювальних факторів, причому ці процеси відбуваються в присутності різних середовищ і матеріалів, що контактують з оливою, таких як вода, метали, кисневмісні сполуки, полімери та повітря. Усі ці чинники можуть суттєво прискорювати процеси деградації.

Старіння оливок має складний багатофакторний характер. Статичні процеси визначаються передусім тепловою енергією, яка діє постійно і сприяє активації хімічних реакцій. Водночас у системі виникають і динамічні впливи, пов'язані з механічною енергією: це стиснення і розширення рідини, вібрації, турбулентні потоки, дроселювання та перемішування в зоні контакту поверхонь тертя. Такі явища призводять до локального підвищення температури і додаткового навантаження на мастильний матеріал.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						22
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

Під дією підвищених температур і кисню повітря відбуваються процеси окиснення та термічної деструкції не лише базової оливи, але й присадок, що входять до її складу. У результаті формується комплекс фізико-хімічних перетворень, які доцільно поділити на кілька основних груп:

1. **Фізичні зміни.** До них належать накопичення продуктів зношування і корозії, випаровування легких фракцій оливи, насичення її водою, газами та компонентами еластомерів. Це призводить до погіршення мастильних властивостей і стабільності системи.

2. **Зміни у складі присадок.** Відбувається зменшення їх концентрації внаслідок термічної деструкції, а також утворення захисних або сорбційних плівок на поверхнях тертя, що змінює їхню ефективність у процесі експлуатації.

3. **Хімічні перетворення.** До цієї групи належать реакції окиснення вуглеводнів базової оливи, а також гідроліз як присадок, так і самої оливи під дією води чи водних розчинів. Такі процеси супроводжуються утворенням нових сполук, які можуть негативно впливати на роботу системи.

У присутності кисню та за високих температур мастильні матеріали схильні до окиснення, розкладу і полімеризації. Важливу роль відіграє також контактне окиснення, яке відбувається безпосередньо на поверхнях тертя, де спостерігаються підвищені температури та активні хімічні умови. Дослідження механізмів цих процесів показали, що окиснення олив може відбуватися з утворенням як нейтральних, так і кислотних продуктів. Нейтральні сполуки здебільшого призводять до забруднення оливи, тоді як кислотні компоненти сприяють розвитку корозії металевих поверхонь і підсилюють корозійно-механічне зношування деталей.

Аналіз сучасних підходів до оцінювання експлуатаційних властивостей мастильно-охолоджувальних рідин свідчить про те, що їх

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						23
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

зміни обумовлені насамперед температурною деструкцією, а також сукупною дією механічних, термоокиснювальних і хімічних процесів. Ці явища найбільш інтенсивно протікають у зонах підвищених температур — на нагрітих деталях і поверхнях тертя. При цьому взаємозв'язок між механічними навантаженнями та температурою є визначальним: зростання механічних впливів викликає підвищення температури, що, у свою чергу, прискорює перебіг хімічних реакцій, окиснення та термічного руйнування компонентів оливи.

З огляду на це, в дослідженнях особлива увага приділяється вивченню процесів окиснення та температурної деструкції мастильних матеріалів, а також аналізу впливу продуктів їх розкладу на протизносні властивості. Розуміння цих процесів дозволяє підвищити ефективність використання оливо, продовжити термін їх служби та забезпечити надійну роботу обладнання в умовах інтенсивної експлуатації.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						24
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

2. Методичний підхід до досліджень мастильних матеріалів

2.1 Характеристики мастильно охолоджувальних рідин

Об'єктом дослідження виступали зразки мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ), які належать до різних класів сучасних технологічних продуктів і широко застосовуються у процесах механічної обробки металів. Для забезпечення коректності порівняльного аналізу було обрано три різні за складом, функціональними властивостями та призначенням типи СОЖ, що дозволяє оцінити їхню поведінку в умовах термічного та механічного навантаження, а також вплив на зношування інструменту і якість оброблених поверхонь.

До складу досліджуваних зразків входили такі мастильно-охолоджувальні рідини:

1. **Garia 601 M-22** виробництва Houghton International (Німеччина);
2. **Mobilcut 103** виробництва ExxonMobil (міжнародний бренд, офіційно представлений на українському ринку);
3. **Castrol Pocut 152** виробництва Castrol (широко доступний на ринку України продукт міжнародного рівня).

Обрані зразки характеризуються різною хімічною природою, типом базової основи та пакетом функціональних присадок, що дозволяє охопити широкий спектр експлуатаційних властивостей сучасних СОЖ.

Серія **Garia 601 M-22** відноситься до сучасних високотехнологічних продуктів, розроблених для роботи в умовах підвищених навантажень при обробці металів. Дані рідини належать до активних мастильно-охолоджувальних систем на масляній основі та відзначаються підвищеною хімічною активністю в зоні різання. Завдяки цьому вони забезпечують

					КвРМТВА. 23664.02.06.00	Днк
						25
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

ефективне зменшення коефіцієнта тертя, а також інтенсивне відведення тепла з робочої зони. Це особливо важливо при виконанні складних операцій, таких як глибоке свердління, шліфування, а також обробка важкодоступних елементів деталей складної геометрії.

Важливою особливістю даної серії є стабільність роботи при низьких швидкостях різання, коли значну роль відіграють протизадирні та протизносні властивості. Завдяки оптимізованому складу такі рідини формують стійку захисну плівку на поверхні контакту інструмент–заготовка, що дозволяє зменшити інтенсивність зношування інструменту та підвищити точність обробки. Продукція цього типу активно використовується в операціях свердління, фрезерування, різання та шліфування, забезпечуючи стабільність технологічного процесу навіть за умов тривалого навантаження.

Масильно-охолоджувальна рідина **Castrol Plocut 152** являє собою багатокomпонентну композицію, основу якої складають високоякісні мінеральні оливи різної в'язкості. До складу також входить комплекс функціональних присадок, зокрема протизадирні, антифрикційні та антикорозійні компоненти. Така комбінація забезпечує формування стабільної масильної плівки, яка ефективно знижує тертя між інструментом і заготовкою, що, у свою чергу, зменшує тепловиділення та підвищує ресурс різального інструменту.

Завдяки високим антикорозійним властивостям дана СОЖ забезпечує надійний захист як оброблюваних деталей, так і елементів обладнання від впливу вологи, кисню та агресивних домішок. Це особливо актуально в умовах тривалої експлуатації та при обробці металів, схильних до корозії. Рідина рекомендована для використання при обробці широкого спектра матеріалів — від вуглецевих сталей до високолегованих, нержавіючих і жароміцних сплавів. Вона ефективно застосовується у процесах точіння,

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						26
Змн	Днк	№ докum	Пілпис	Дата		

фрезерування, свердління, різьбонарізання, а також на автоматизованих і високоточних верстатах з числовим програмним керуванням.

У свою чергу, **Mobilcut 103** є середньов'язкою мастильно-охолоджувальною рідиною активного типу, яка характеризується збалансованим складом і підвищеною стабільністю в умовах інтенсивної експлуатації. До її складу входять жирові компоненти, а також комплекс сучасних протизносних, протизадирних та антикорозійних присадок, що забезпечують ефективну роботу в складних умовах різання.

Важливою особливістю даного продукту є відсутність хлорвмісних і азотовмісних сполук, що позитивно впливає на екологічні характеристики та покращує умови праці оператора. Такий склад зменшує токсичність випарів і робить рідину більш безпечною з точки зору санітарно-гігієнічних вимог. Використання Mobilcut 103 сприяє підвищенню стійкості різального інструменту, зменшенню шорсткості оброблюваних поверхонь та покращенню загальної якості обробки.

Крім того, дана СОЖ ефективно виконує функцію видалення стружки із зони різання, що є важливим фактором для забезпечення стабільності процесу обробки та запобігання заклинюванню інструменту. Вона широко застосовується при обробці легованих і нержавіючих сталей та сплавів, зокрема при свердлінні, включаючи глибоке свердління отворів значного діаметра, де особливо важливими є стабільність процесу та ефективне охолодження.

Таким чином, обрані для дослідження мастильно-охолоджувальні рідини представляють різні класи сучасних технологічних матеріалів і дозволяють здійснити комплексну оцінку їх експлуатаційних властивостей. Аналіз цих СОЖ дає можливість дослідити їх вплив на інтенсивність зношування інструменту, теплові процеси в зоні різання, якість обробленої поверхні та загальну ефективність технологічного процесу механічної обробки металів.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						27
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

2.2 Методи досліджень та основні способи вимірювань

У хіміко-аналітичних дослідженнях застосовувався комплекс сучасних засобів вимірювання, що забезпечують високу точність, відтворюваність результатів і відповідність міжнародним стандартам лабораторного контролю. Використане обладнання охоплює прилади для визначення фізико-хімічних характеристик мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ), зокрема їх складу, стабільності та змін під впливом температурних факторів:

1. рідинний лабораторний термостат з механічним перемішуванням моделі **LAUDA Alpha A 24** виробництва LAUDA (Німеччина), призначений для тривалих випробувань з підтриманням стабільного температурного режиму;

2. аналітичні лабораторні ваги I класу точності моделі **Ohaus Pioneer PA-214C** компанії Ohaus (США), які забезпечують високу точність зважування зразків;

3. рентгенофлуоресцентний спектрометр моделі **Rigaku NEX CG** виробництва Rigaku (Японія), що використовується для визначення елементного складу, зокрема вмісту сірки та інших домішок;

4. віскозиметр Штабінгера моделі **SVM 3000** компанії Anton Paar (Австрія), який дозволяє одночасно визначати кінематичну в'язкість і густину рідин.

Методика проведення хіміко-аналітичних досліджень передбачала поетапний відбір і підготовку зразків СОЖ. Зокрема, відбирали пробу об'ємом 200 мл, яку переносили у термостійкий лабораторний стакан. Далі зразок розміщували у термостатичній ванні, заповненій силіконовою рідиною типу **ПМС-100** (аналог міжнародних теплоносіїв на основі

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						28
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

силіконових олив), що забезпечує рівномірний розподіл температури та стабільність умов експерименту.

Термостатування здійснювалося при температурі 95 °С за умов атмосферного тиску протягом 200 годин. Для моделювання реальних умов експлуатації проводилося безперервне перемішування рідини за допомогою механічної мішалки з частотою обертання 300 об/хв. Дослідження виконувалися у двох режимах:

- у присутності металеві стружки (у співвідношенні 70% СОЖ та 30% стружки), що дозволяє врахувати вплив продуктів зношування;
- без додавання стружки — для оцінки власної термоокиснювальної стабільності рідини.

Для визначення показника випаровуваності проводили зважування зразків до початку термічної обробки та після її завершення, що дозволяло оцінити втрати маси внаслідок випаровування легких фракцій. Після завершення термостатування відбирали окремі проби для подальшого аналізу ключових фізико-хімічних параметрів, зокрема густини, в'язкості, кислотного числа, кількості утвореного осаду, а також вмісту сірки.

Застосування зазначених методик і обладнання дозволяє комплексно оцінити зміни властивостей мастильно-охолоджувальних рідин у процесі їх старіння та визначити вплив експлуатаційних факторів на їх ефективність.

2.3 Опис технічного засобу для термостатування зразків

Термостатування зразків мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) у процесі експериментальних досліджень здійснювалося з використанням сучасного лабораторного обладнання — рідинного термостата з функцією примусового перемішування **LAUDA Alpha A 24**, виробництва LAUDA (Німеччина). Використання даного приладу дозволило забезпечити

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						29
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

високоточне підтримання температурного режиму протягом тривалого часу, що є критично важливим для дослідження процесів старіння та термоокиснювальної стабільності мастильних матеріалів.

Зазначений термостат належить до класу універсальних лабораторних приладів, призначених для проведення фізико-хімічних випробувань рідин, зокрема нафтопродуктів, мастильних олів і СОЖ. Його конструкція включає термостатичну ванну, систему нагріву, електронний блок керування температурою та вбудований циркуляційний механізм, який забезпечує рівномірний розподіл температури в усьому об'ємі теплоносія. Для досягнення максимальної однорідності температурного поля застосовується механічне або гідродинамічне перемішування, що дозволяє мінімізувати температурні градієнти та підвищити точність експерименту.

Основне призначення термостата полягає у підтриманні стабільної температури під час проведення вимірювань в'язкості, густини та інших фізико-хімічних характеристик рідин. Такі дослідження можуть виконуватися із застосуванням капілярних скляних віскозиметрів відповідно до міжнародних стандартів, зокрема ASTM D445, ISO 3104 та DIN 51366, що регламентують методи визначення кінематичної в'язкості нафтопродуктів і подібних речовин.

Температурний діапазон роботи термостата **LAUDA Alpha A 24** охоплює інтервал приблизно від +20 до +100 °С, що повністю відповідає умовам проведення більшості лабораторних випробувань СОЖ. Важливою характеристикою є висока точність підтримання заданої температури — відхилення не перевищує $\pm 0,01$ °С, що дозволяє отримувати достовірні та відтворювані результати навіть при тривалих експериментах. Така стабільність особливо важлива при дослідженні термоокиснювальних процесів, де навіть незначні коливання температури можуть впливати на швидкість хімічних реакцій.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						30
Змн	Днк	№ док.ум	Пілпис	Дата		

Принцип роботи приладу базується на автоматичному регулюванні температури теплоносія (як правило, води або силіконової рідини) за допомогою високочутливих датчиків і мікропроцесорної системи керування. Оператор задає необхідне значення температури, після чого система підтримує його на заданому рівні протягом усього часу експерименту. Додатково забезпечується безперервна циркуляція рідини, що сприяє рівномірному нагріванню досліджуваних зразків.

Застосування такого термостата у дослідженнях СОЖ дозволяє моделювати реальні умови експлуатації, при яких мастильні матеріали піддаються тривалому тепловому впливу. Це дає змогу оцінити зміну їх фізико-хімічних властивостей у часі, зокрема в'язкості, випаровуваності, схильності до утворення осадів та продуктів окиснення.

Крім того, використання сучасного міжнародного обладнання гарантує відповідність отриманих результатів загальноприйнятим стандартам і забезпечує можливість їх порівняння з даними інших досліджень. Таким чином, застосування високоточного термостата є необхідною умовою для проведення якісного аналізу процесів старіння мастильно-охолоджувальних рідин і оцінки їх експлуатаційних характеристик у різних умовах роботи.

2.4 Вміст сірки в мастильно охолоджувальних матеріалах

Для визначення вмісту сірки у зразках мастильно-охолоджувальних рідин застосовувався сучасний рентгенофлуоресцентний енергодисперсійний аналізатор **Rigaku NEX CG**, виробництва Rigaku (Японія). Використання даного приладу дозволило отримати високоточні результати кількісного аналізу елементного складу відповідно до вимог

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						31
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

міжнародних стандартів, зокрема ASTM D4294 та аналогічних методик визначення вмісту сірки в нафті та нафтопродуктах.

Метод визначення базується на принципі енергодисперсійної рентгенофлуоресцентної спектрометрії (EDXRF). Суть методу полягає у збудженні атомів елементів, що входять до складу досліджуваного зразка, за допомогою первинного рентгенівського випромінювання. У результаті взаємодії зразка з випромінюванням відбувається іонізація внутрішніх електронних оболонок атомів, після чого виникає характерне (вторинне) рентгенівське випромінювання — флуоресценція. Кожен хімічний елемент випромінює фотони з певною енергією, що дозволяє ідентифікувати його та визначити концентрацію.

Конструктивно аналізатор **Rigaku NEX CG** включає рентгенівську трубку, систему спектральних фільтрів, детектор (як правило, напівпровідниковий або пропорційний), а також електронний блок обробки сигналу. Особливістю даної моделі є використання вторинних мішеней і фільтрів, що дозволяють підвищити селективність вимірювань та зменшити фонові шуми. Це забезпечує високу чутливість при визначенні навіть незначних концентрацій сірки у складних багатокомпонентних середовищах, таких як мастильні матеріали.

Нижня межа виявлення сірки для даного типу приладів становить близько 5 ppm (мг/кг), що дозволяє ефективно аналізувати навіть низькосірчисті зразки. Нижня межа кількісного визначення знаходиться на рівні приблизно 0,002 %, що забезпечує достатню точність для більшості лабораторних і промислових досліджень. Відносна похибка вимірювання не перевищує 0,5 %, що свідчить про високу достовірність отриманих результатів.

Процес аналізу є відносно швидким і не потребує складної підготовки зразків. Як правило, досліджувану рідину поміщають у спеціальні кювети, закриті тонкою плівкою, прозорою для рентгенівського

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						32
Змн	Днк	№ док.ум	Підпис	Дата		

випромінювання. Далі зразок встановлюється в робочу камеру приладу, де проводиться його опромінення та реєстрація спектра. Для підвищення точності результати отримують шляхом аналізу двох паралельних проб одного зразка. Загальний час вимірювання одного зразка становить близько 2 хвилин, при цьому тривалість експозиції окремої проби може варіюватися в межах від 10 до 100 секунд залежно від необхідної точності та концентрації визначуваного елемента.

Застосування рентгенофлуоресцентного аналізу має низку суттєвих переваг. По-перше, це неруйнівний метод, що дозволяє зберегти зразок для подальших досліджень. По-друге, він характеризується високою швидкістю проведення аналізу та мінімальними витратами часу на підготовку проб. По-третє, метод забезпечує високу селективність і точність визначення елементів у широкому діапазоні концентрацій.

У контексті дослідження мастильно-охолоджувальних рідин визначення вмісту сірки є важливим показником, оскільки сірковмісні сполуки можуть суттєво впливати на протизадирні властивості, змащувальну здатність і корозійну активність рідини. Контроль цього параметра дозволяє оцінити як початковий склад СОЖ, так і зміни, що відбуваються в процесі експлуатації або термічного старіння.

Таким чином, використання сучасного міжнародного рентгенофлуоресцентного аналізатора забезпечує високу якість аналітичних досліджень і дозволяє отримати надійні дані щодо елементного складу мастильних матеріалів, що є необхідною умовою для комплексної оцінки їх експлуатаційних властивостей.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						33
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

2.5 Методичний підхід до визначення густини та в'язкості досліджувальних зразків

Визначення таких важливих фізико-хімічних характеристик, як густина та в'язкість досліджуваних мастильно-охолоджувальних рідин, здійснювалося із застосуванням сучасного автоматизованого віскозиметра Штабінгера моделі **SVM 3000**, виробництва Anton Paar (Австрія). Використання даного приладу дозволяє проводити комплексні вимірювання з високою точністю та мінімальним впливом людського фактора, що є особливо важливим для отримання достовірних і відтворюваних результатів у лабораторних дослідженнях.

Конструктивно віскозиметр є багатофункціональним вимірювальним пристроєм, у якому всі основні елементи інтегровані в єдиний компактний корпус. До складу приладу входять: вимірювальна комірка для визначення в'язкості рідини, окрема комірка для визначення густини, вбудований електронний термостат для підтримання стабільної температури, система обробки та аналізу сигналів, а також рідкокристалічний дисплей і панель керування. Така конструкція забезпечує зручність експлуатації, автоматизацію процесу вимірювання та можливість одночасного визначення кількох параметрів зразка.

Принцип визначення в'язкості у віскозиметрі Штабінгера базується на вимірюванні швидкості обертання внутрішнього ротора, який розміщений у зовнішньому циліндрі, заповненому досліджуваною рідиною. Зовнішній циліндр обертається з постійною швидкістю, створюючи зсувні напруження у шарі рідини між стінками циліндра та внутрішнім ротором. Під дією цих сил внутрішній ротор починає обертатися, причому швидкість його обертання залежить від в'язкості рідини: чим більша в'язкість, тим сильніший опір руху і тим повільніше змінюється динаміка ротора. Отримані дані обробляються електронною

					КвРМТВА. 23664.02.06.00	Днк
						34
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

системою, яка автоматично розраховує значення кінематичної або динамічної в'язкості.

Визначення густини здійснюється за допомогою окремого вимірювального модуля, принцип роботи якого базується на методі коливань U-подібної трубки. Чутливий елемент, виготовлений із боросилікатного скла, має форму тонкої трубки, яка здійснює гармонічні механічні коливання. Після заповнення трубки досліджуваною рідиною змінюється її маса, що безпосередньо впливає на резонансну частоту коливань. Вимірюючи цю частоту з високою точністю, система визначає густину зразка. Такий метод є одним із найбільш точних і широко застосовується у сучасній аналітичній практиці.

Важливою складовою приладу є вбудований електронний термостат, який забезпечує підтримання заданої температури під час вимірювань. Оскільки в'язкість і густина рідин значною мірою залежать від температури, стабільність температурного режиму є критичною умовою точності результатів. Система автоматичного контролю дозволяє підтримувати температуру з високою точністю, що виключає вплив зовнішніх факторів.

Керування приладом здійснюється за допомогою інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу: оператор задає необхідні параметри вимірювання, після чого всі подальші операції виконуються автоматично. Результати відображаються на рідкокристалічному дисплеї, а також можуть зберігатися в пам'яті пристрою або передаватися до комп'ютера для подальшої обробки та аналізу.

Застосування віскозиметра **SVM 3000** у дослідженнях мастильно-охолоджувальних рідин дозволяє не лише визначити їх поточні властивості, але й відстежити зміни цих параметрів у процесі експлуатації або термічного впливу. Це, у свою чергу, дає можливість оцінити ступінь

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						35
Змн	Днк	№ доквм	Підпис	Дата		

старіння рідини, ефективність присадок і загальну придатність СОЖ до подальшого використання.

Технічні характеристики приладу, зокрема діапазони вимірювання, точність і відтворюваність результатів, наведені у відповідній таблиці (табл. 2.1), що дозволяє більш детально оцінити його метрологічні можливості та придатність для виконання подібних досліджень.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Дпк
						36
Змн	Дпк	№ докум	Пілпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Характеристики Штабінгера моделі SVM 3000

Вимірювальний Діапазон	Динамічна в'язкість, мПа*с	0,2....110
	Кінематична в'язкість, мм ² /с	0,2....110
	Густина, кг/м ³	600....2200
Допустима похибка	В'язкість η , %	$\pm 0,4$
Допустима абсолютна похибка	Густина, кг/м ³	$\pm 0,6$
	Температура, °C	$\pm 0,03$
Діапазон робочих температур, °C	0....120 (Від -20....120 при підключення додаткової системи охолодження)	
Об'єм зразків (тільки для виміру динамічної в'язкості), мл, не менее	2,0	

2.6 Розрахунок індекса в'язкості

Розрахунок індексу в'язкості мастильних матеріалів виконувався відповідно до вимог чинних нормативних документів, зокрема стандарту, що регламентує методику визначення цього показника за значеннями кінематичної в'язкості при різних температурах. Індекс в'язкості є

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						37
Змн	Днк	№ докum	Пілпис	Дата		

важливою експлуатаційною характеристикою олів і мастильно-охолоджувальних рідин, оскільки він відображає ступінь зміни в'язкості залежно від температури. Чим вищим є цей показник, тим стабільнішими залишаються властивості рідини при зміні температурного режиму, що має вирішальне значення для надійної роботи обладнання.

Для визначення індексу в'язкості використовують значення кінематичної в'язкості досліджуваного зразка при температурах 40 °С та 100 °С, а також довідкові параметри, які відповідають умовним еталонним рідинам з індексами в'язкості 0 і 100. Розрахунок проводиться за встановленими аналітичними залежностями.

Індекс в'язкості (VI) визначається за формулою:

$$VI = ((L - U) / D) \times 100 \quad (2.1)$$

де:

U — кінематична в'язкість досліджуваного нафтопродукту при температурі 40 °С, мм²/с;

L — кінематична в'язкість при 40 °С умовного нафтопродукту з індексом в'язкості 0, який має таку саму кінематичну в'язкість при 100 °С, як і досліджуваний зразок, мм²/с;

D — допоміжна величина, що визначається як різниця між параметрами L і H.

Величина D розраховується за формулою:

$$D = L - H \quad (2.2)$$

де:

H — кінематична в'язкість при 100 °С умовного нафтопродукту з індексом в'язкості 100, який має таку саму кінематичну в'язкість при 100 °С, як і досліджуваний зразок, мм²/с.

Таким чином, для обчислення індексу в'язкості необхідно спочатку визначити значення кінематичної в'язкості досліджуваного зразка при двох температурах, після чого за довідковими таблицями або емпіричними

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						38
Змн	Днк	№ док.ум	Пілпис	Дата		

залежностями знаходять величини L і H . Отримані дані підставляють у формули (2.1) та (2.2), що дозволяє обчислити індекс в'язкості.

Слід зазначити, що фізичний зміст цього показника полягає у порівнянні поведінки досліджуваної рідини з еталонними зразками. Якщо індекс в'язкості є низьким, це означає, що в'язкість рідини значно змінюється зі зростанням температури, що може призводити до погіршення мастильних властивостей при нагріванні. Високі значення індексу в'язкості свідчать про кращу термостабільність і здатність рідини забезпечувати ефективне змащування в широкому діапазоні температур.

У практичних умовах експлуатації це має велике значення, оскільки мастильні матеріали працюють у змінних температурних режимах. Саме тому визначення індексу в'язкості є обов'язковим етапом оцінювання якості та придатності мастильно-охолоджувальних рідин до використання в різних технологічних процесах.

2.7 Визначення показника кислотного числа зразків

Визначення кислотного числа досліджуваних мастильних матеріалів проводилося відповідно до вимог стандартизованої методики, що регламентує порядок оцінювання кислотності нафтопродуктів і мастильно-охолоджувальних рідин. Даний показник є одним із ключових при аналізі експлуатаційного стану олив і СОЖ, оскільки він характеризує вміст у їх складі кислотних компонентів, які утворюються як у процесі виробництва, так і під час експлуатації внаслідок окиснення та термічної деструкції.

Суть методу полягає у кількісному визначенні кислотних сполук, що містяться у зразку, шляхом їх нейтралізації лужним розчином. Для цього використовується спиртовий розчин гідроксиду калію (КОН) відомої концентрації. У процесі аналізу досліджуваний зразок розчиняють у відповідному органічному розчиннику, після чого проводять титрування у

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						39
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

присутності індикатора, який змінює своє забарвлення в точці еквівалентності. Саме цей момент фіксує завершення реакції нейтралізації між кислотами, що містяться у зразку, та лугом.

Кислотне число виражається в міліграмах гідроксиду калію, необхідних для нейтралізації кислот, що містяться в одному грамі досліджуваної речовини (мг КОН/г). Цей показник дозволяє оцінити ступінь старіння мастильного матеріалу, оскільки зі збільшенням тривалості експлуатації, як правило, зростає концентрація продуктів окиснення, що мають кислотну природу.

Розрахунок кислотного числа виконується за наступною формулою:

$$K = (T \times V) / m \quad (2.3)$$

де:

K — кислотне число, мг КОН/г;

T — титр спиртового розчину гідроксиду калію концентрацією 0,05 моль/дм³, мг/см³;

V — об'єм розчину гідроксиду калію, витрачений на титрування, см³;

m — маса досліджуваної проби, г.

У процесі виконання аналізу особливу увагу приділяють точності вимірювання об'єму титранту та маси зразка, оскільки навіть незначні похибки можуть впливати на кінцевий результат. Для цього використовуються високоточні аналітичні ваги та калібровані мірні прилади. Крім того, важливим є правильний вибір індикатора, який забезпечує чітку фіксацію точки еквівалентності та мінімізує суб'єктивність визначення моменту завершення титрування.

Слід зазначити, що кислотне число є важливим експлуатаційним параметром. Його зростання свідчить про накопичення продуктів окиснення, що можуть викликати корозію металевих поверхонь, погіршення мастильних властивостей та загальне зниження ефективності

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						40
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

роботи рідини. У випадку мастильно-охолоджувальних рідин це також може негативно впливати на якість обробки деталей і стан обладнання.

Таким чином, визначення кислотного числа дозволяє не лише оцінити поточний стан мастильного матеріалу, але й зробити висновки щодо доцільності його подальшого використання, необхідності заміни або регенерації. Регулярний контроль цього показника є важливою складовою системи технічного обслуговування та забезпечення надійної роботи технологічного обладнання.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						41
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

3 Практично-експериментальна частина роботи

3.1 Дослідження властивостей мастильних матеріалів при процесах окислення, а також під впливом температури

Отримані в ході експериментальних досліджень залежності фізико-хімічних властивостей мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) від тривалості термостатування наведені у вигляді графічних та аналітичних залежностей на рисунках 3.1–3.7. До аналізованих параметрів належать кислотне число, кінематична в'язкість, індекс в'язкості, густина, кількість утвореного осаду, вміст сірки, а також показник випаровуваності, які в сукупності дозволяють комплексно оцінити процеси старіння та деградації досліджуваних рідин у контрольованих умовах.

Представлені залежності відображають зміну експлуатаційних характеристик СОЖ у часі під впливом підвищеної температури та тривалого термічного навантаження, що моделює наближені до реальних умови роботи в технологічному обладнанні. Аналіз цих графіків дає можливість простежити кінетику фізико-хімічних перетворень, які відбуваються в мастильному середовищі, а також встановити закономірності їх зміни залежно від тривалості експозиції.

Зокрема, зміна кислотного числа характеризує інтенсивність процесів окиснення та накопичення кислотних продуктів розкладу, що утворюються внаслідок термоокиснювальної деструкції базової основи та присадок. Динаміка кінематичної в'язкості та індексу в'язкості відображає структурні зміни в рідині, пов'язані з полімеризаційними процесами, розривом молекулярних зв'язків та утворенням нових сполук. Показники густини та випаровуваності дозволяють оцінити ступінь втрати легких фракцій та зміну масового складу рідини під дією температури.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						42
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

Окремо слід відзначити утворення осаду, яке є наслідком накопичення нерозчинних продуктів окиснення, продуктів зношування та можливих домішок. Його кількість є важливим індикатором стабільності СОЖ і прямо впливає на працездатність систем подачі та фільтрації мастильного середовища. Зміна вмісту сірки, у свою чергу, дозволяє оцінити трансформацію сірковмісних компонентів, які можуть брати участь у формуванні протизадирних і протизносних властивостей.

Таким чином, сукупність отриманих залежностей на рисунках 3.1–3.7 дає змогу комплексно охарактеризувати поведінку мастильно-охолоджувальних рідин у процесі термічного старіння, виявити основні закономірності зміни їх властивостей та визначити найбільш чутливі до деградаційних процесів параметри. Це створює наукову основу для подальшого аналізу стабільності СОЖ та оцінки їх придатності до тривалої експлуатації в умовах реального виробництва.

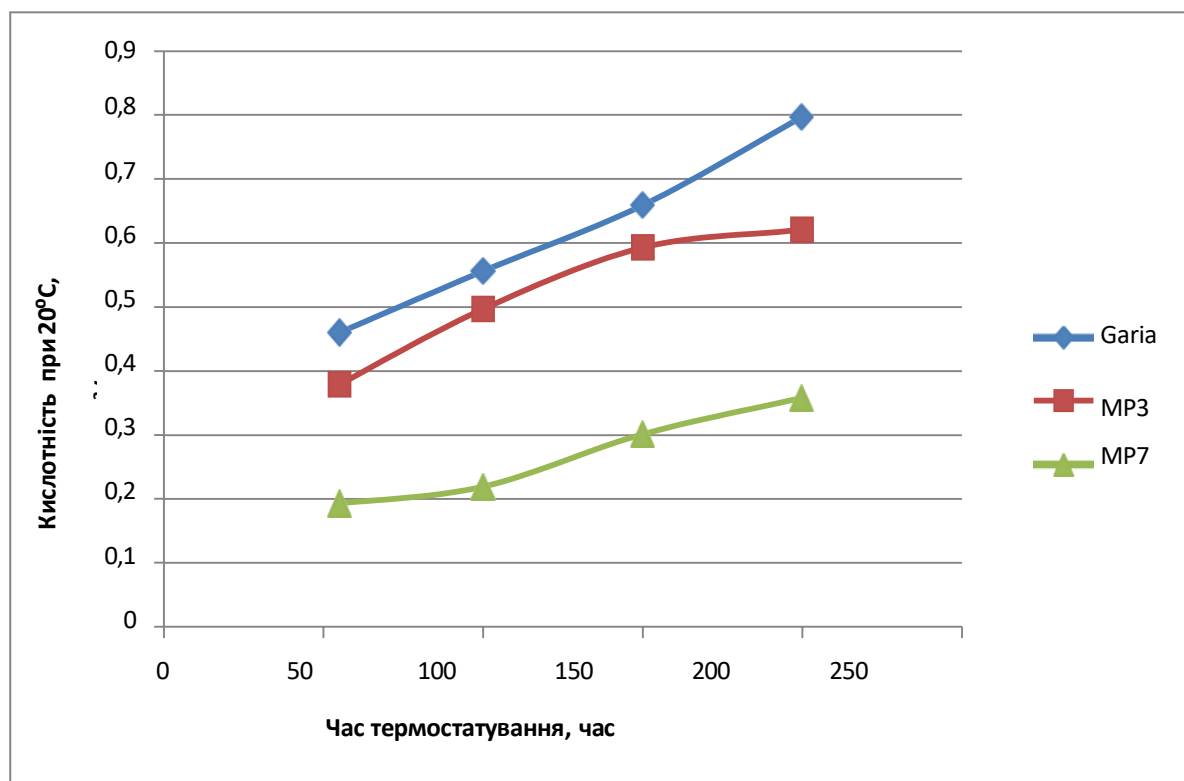


Рисунок 3.1 – Залежність часу від кислотності

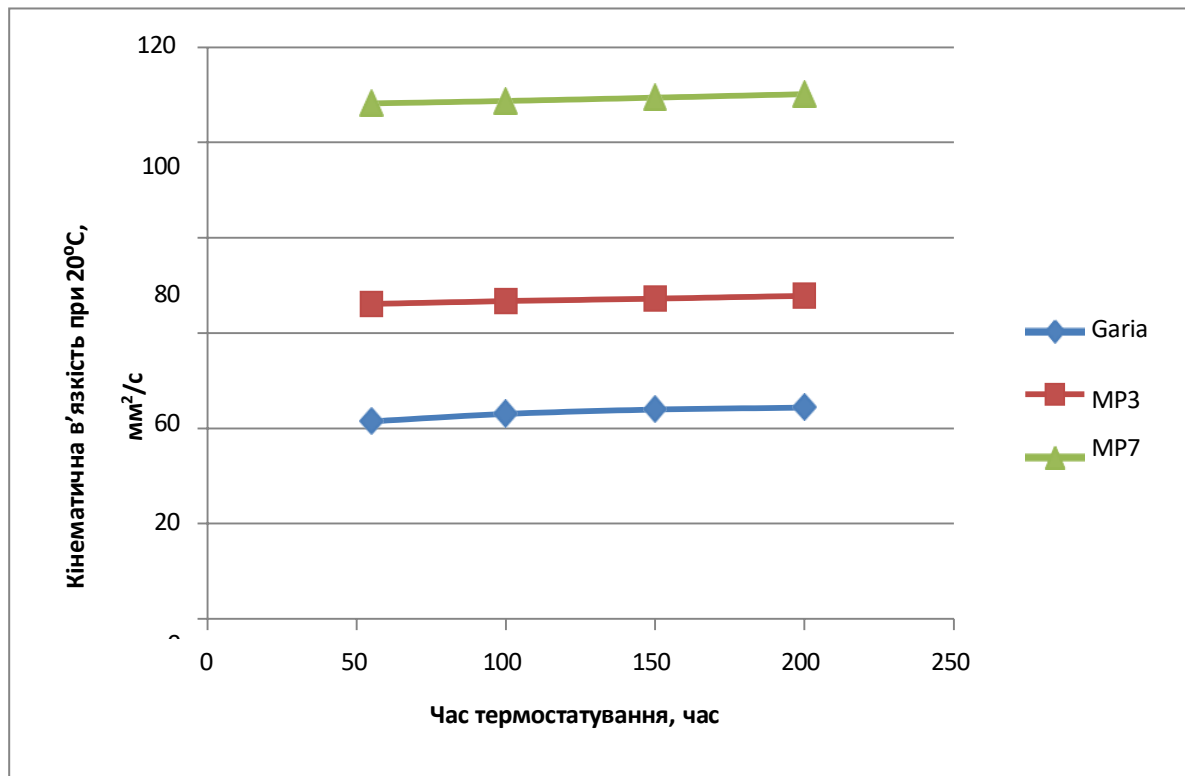


Рисунок 3.2 – Залежність кінематичної в'язкості від часу

На представлених графічних залежностях відображено динаміку зміни основних експлуатаційних характеристик трьох досліджуваних мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ), зокрема кінематичної в'язкості та кислотного числа, у процесі тривалого термостатування протягом 200 годин. Аналіз отриманих результатів дозволяє оцінити ступінь термоокиснювальної стабільності кожного із зразків та виявити відмінності в їх поведінці за однакових умов теплового навантаження.

Згідно з експериментальними даними, зміни кінематичної в'язкості для всіх трьох зразків СОЖ протягом усього періоду термостатування залишаються незначними. Це свідчить про відносно стабільну структуру рідин у частині їх в'язкісно-температурних властивостей та відсутність суттєвих процесів полімеризації або руйнування в'язкісних компонентів у заданому температурному режимі. Іншими словами, базова основа

досліджуваних СОЖ демонструє достатню стійкість до термічного впливу в умовах проведеного експерименту.

Водночас більш виражені зміни спостерігаються для кислотного числа, яке поступово зростає протягом усього періоду термостатування. Така тенденція є характерною ознакою перебігу процесів окиснення та накопичення кисневмісних продуктів розкладу. Найбільш інтенсивне зростання кислотності зафіксовано для зразка Garia, де приріст становить близько 0,34 мг КОН/г. Для зразка Mobilcut 103 збільшення кислотного числа є дещо меншим і становить приблизно 0,24 мг КОН/г, тоді як для Castrol Poscut 152 цей показник є найнижчим і дорівнює близько 0,17 мг КОН/г.

Такі відмінності в динаміці зміни кислотного числа можуть бути пов'язані з особливостями хімічного складу базових олив і пакета присадок, а також із різною стійкістю до термоокиснювальних процесів. Під дією підвищеної температури та в присутності кисню повітря в мастильному середовищі відбуваються складні хімічні перетворення, що включають окиснення вуглеводневих компонентів, розрив молекулярних зв'язків та подальше утворення низькомолекулярних продуктів.

У результаті цих процесів формуються різні кисневмісні сполуки, зокрема пероксиди та гідропероксиди, а також органічні кислоти, спирти, альдегіди та смолисті речовини. Саме ці продукти є основними чинниками зміни експлуатаційних властивостей СОЖ. Вони можуть впливати на оптичні характеристики рідини (зміна кольору та прозорості), її фізичний стан (поява помутніння або осаду), а також на в'язкісні та кислотні показники.

Крім того, накопичення продуктів окиснення поступово призводить до погіршення стабільності мастильно-охолоджувальних рідин, що в подальшому може негативно позначатися на їх здатності забезпечувати ефективне змащування та охолодження в процесах механічної обробки.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						45
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

Таким чином, зростання кислотного числа є важливим діагностичним показником, який дозволяє оцінювати ступінь старіння СОЖ та прогнозувати залишковий ресурс їх експлуатації.

Отримані результати свідчать про те, що, незважаючи на відносну стабільність в'язкісних характеристик, процеси хімічного старіння в досліджуваних зразках активно відбуваються вже на рівні первинних стадій термічного впливу. Це підкреслює необхідність комплексного підходу до оцінювання стану мастильно-охолоджувальних рідин, який повинен враховувати як фізичні, так і хімічні зміни їх властивостей у процесі експлуатації.

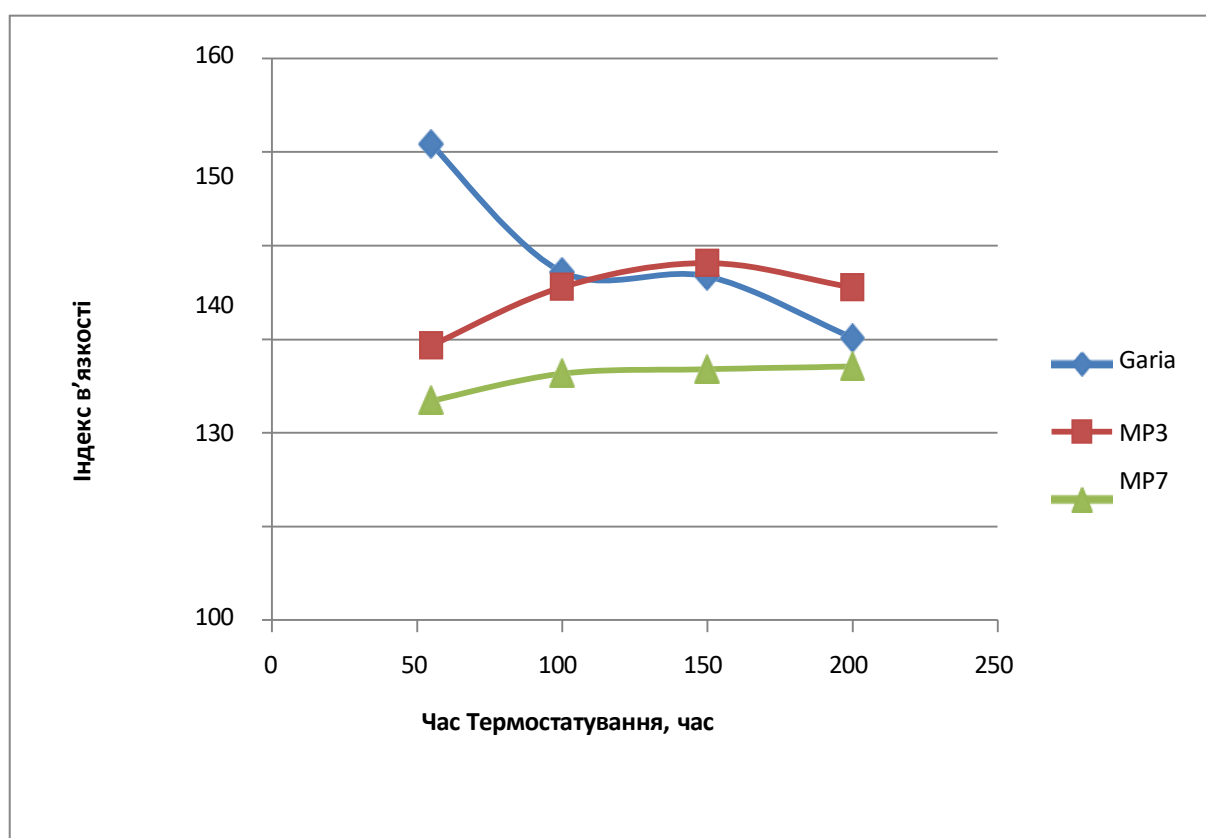


Рисунок 3.3 – Залежність індекса в'язкості від часу термостатування

На графічній залежності представлено зміну індексу в'язкості трьох досліджуваних мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) протягом 200

годин термостатування при температурі 95 °С. Отримані результати дозволяють оцінити стабільність структурно-в'язкісних властивостей рідин у процесі тривалого теплового навантаження та виявити особливості їх поведінки залежно від хімічного складу та типу базової основи.

Аналіз експериментальних даних показує, що характер зміни індексу в'язкості для кожного із зразків суттєво відрізняється, що свідчить про різну стійкість їхньої молекулярної структури до термоокиснювальних впливів. Для зразка **Mobilcut 103** спостерігається поступове зростання індексу в'язкості, яке становить приблизно 8,8 одиниць протягом перших 150 годин експозиції. Надалі, у проміжку від 150 до 200 годин, фіксується незначне зниження цього показника (приблизно на 2,6 одиниць), що може свідчити про початок процесів часткової деградації або перебудови структурних компонентів системи.

Для зразка **Castrol Pocut 152** характерним є більш стабільний перебіг процесів: протягом усього періоду термостатування індекс в'язкості демонструє незначне загальне зростання, яке становить близько 3,7 одиниць. Така поведінка вказує на відносно рівноважний стан системи та достатню стійкість до впливу підвищеної температури, без різких структурних змін у складі рідини.

Найбільш суттєві зміни спостерігаються для зразка **Garia 601 M-22**, для якого характерна нестабільна динаміка індексу в'язкості. У період до 100 годин термостатування відбувається різке зниження показника, що може бути пов'язано з інтенсивними процесами термоокиснювальної деструкції та руйнуванням структурних компонентів базової основи. У подальшому зниження триває, але має більш плавний характер, і загальне падіння індексу в'язкості за 200 годин становить приблизно 20,6 одиниць.

Такі відмінності в поведінці досліджуваних СОЖ свідчать про різний характер їх структурної стабільності в умовах тривалого теплового впливу. Зокрема, для зразків Mobilcut 103 і Castrol Pocut 152 можна зробити

					КвРМТВА. 23664.02.06.00	Днк
						47
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

висновок, що в процесі експлуатації їх в'язкісно-температурні властивості поступово стають більш чутливими до змін температури порівняно з початковим станом. Це означає, що з підвищенням ступеня старіння навіть незначні коливання температурного режиму можуть більш суттєво впливати на їх реологічну поведінку.

Натомість для зразка Garia 601 M-22 спостерігається протилежна тенденція: зі збільшенням тривалості термічного впливу його структурні властивості стають менш стабільними, а в'язкісно-температурна залежність набуває більш вираженого характеру деградації. Це може свідчити про поступове руйнування стабілізуючих компонентів і зниження ефективності пакета присадок у процесі старіння.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про різну термоокиснювальну стійкість досліджуваних СОЖ та підкреслюють важливість врахування змін індексу в'язкості при оцінюванні їх довготривалої експлуатаційної придатності в умовах підвищених температур.

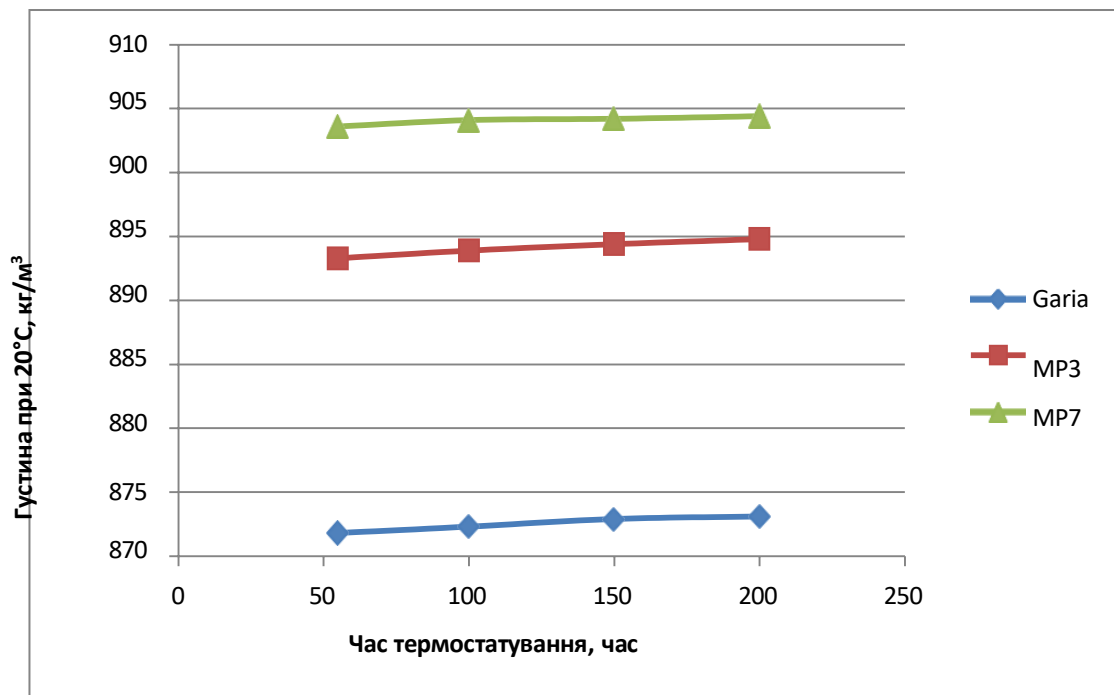


Рисунок 3.4- Залежність густини від часу термостатування

Густина є однією з базових фізичних характеристик мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ), яка опосередковано відображає їхній склад, ступінь насичення базовою оливою та концентрацію функціональних присадок. Саме тому аналіз зміни густини в процесі експлуатаційного або модельного термічного старіння дозволяє зробити висновки щодо стабільності системи в цілому, а також оцінити можливі втрати легких фракцій або зміну співвідношення компонентів.

Згідно з отриманими графічними залежностями, значення густини всіх трьох досліджуваних зразків СОЖ протягом 200 годин термостатування при температурі 95 °С залишаються практично сталими. Спостерігаються лише незначні коливання показників, які не виходять за межі експериментальної похибки вимірювань. Така стабільність свідчить про відсутність суттєвих структурних змін у масі рідини та збереження її основного компонентного складу.

Незначні зміни густини, які все ж фіксуються в окремих точках експерименту, можуть бути пов'язані з процесами часткового випаровування легких фракцій при підвищеній температурі. У результаті цього відбувається дуже повільне зростання відносної концентрації нелетких компонентів, зокрема базової оливи та присадок. Саме цей ефект і зумовлює мінімальне підвищення густини, яке спостерігається на графіках.

Водночас варто зазначити, що така зміна є незначною і не свідчить про суттєву деградацію матеріалу. Навпаки, стабільність густини впродовж тривалого термічного впливу є позитивною характеристикою, яка вказує на достатню термоокиснювальну стійкість досліджуваних СОЖ та їх здатність зберігати структурну однорідність у складних експлуатаційних умовах.

З точки зору фізико-хімічної інтерпретації, густина тісно пов'язана з концентрацією присадок у складі мастильно-охолоджувальної рідини.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						49
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

Оскільки присадки, як правило, мають вищу молекулярну масу та іншу щільність порівняно з базовою оливою, їх збільшення або зменшення в системі може впливати на загальний показник густини. Однак у даному випадку суттєвих змін не зафіксовано, що дозволяє зробити висновок про стабільність концентраційного складу СОЖ протягом усього періоду термостатування.

Таким чином, результати дослідження свідчать про те, що при температурі 95 °С всі три зразки мастильно-охолоджувальних рідин демонструють високий рівень стабільності за показником густини. Це, у свою чергу, вказує на незначні втрати маси внаслідок випаровування та відсутність істотних процесів фазових або структурних перетворень у досліджуваних системах.

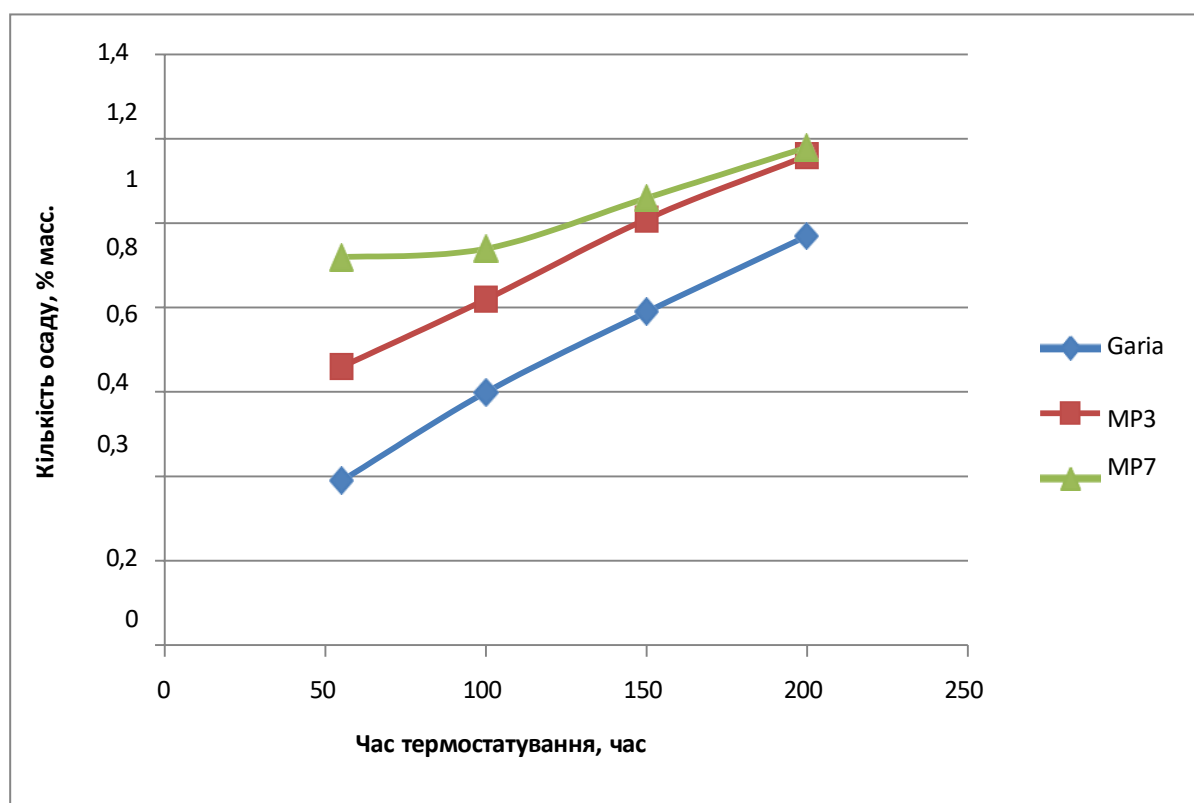


Рисунок 3.5 – Залежність кількості осаду від часу термостатування

У процесі експлуатації мастильно-охолоджувальні рідини (СОЖ) зазнають поступових фізико-хімічних перетворень, основним з яких є окиснення їхніх компонентів під дією кисню повітря, підвищених температур та каталізуючого впливу металевих поверхонь. У результаті таких процесів утворюється широкий спектр продуктів окиснення різної природи та розчинності. Частина цих продуктів залишається розчиненою в об'ємі СОЖ, змінюючи її колоїдну структуру та експлуатаційні властивості, тоді як інша частина переходить у нерозчинний стан і поступово накопичується у вигляді осаду.

На основі експериментальних даних побудовано графічну залежність, яка відображає зміну кількості утвореного осаду в досліджуваних СОЖ залежно від тривалості термостатування. Аналіз отриманих результатів дозволяє оцінити інтенсивність процесів старіння рідин та характер накопичення нерозчинних продуктів окиснення в часі.

Для зразків **Garia 601 M-22** та **Mobilcut 103** спостерігається загальна тенденція до поступового зростання кількості осаду протягом усього періоду дослідження. Це свідчить про безперервне протікання процесів термоокиснювальної деструкції, внаслідок чого утворюються продукти, що не здатні повністю розчинятися в мастильному середовищі. Зі збільшенням тривалості термостатування їх концентрація зростає, що призводить до інтенсифікації процесу седиментації. За 200 годин експозиції сумарна кількість утвореного осаду становить приблизно 0,58 % мас. для зразка Garia та 0,50 % мас. для зразка Mobilcut 103.

Отримані значення вказують на більш виражену схильність цих систем до утворення нерозчинних продуктів окиснення, що може бути пов'язано з особливостями їхнього хімічного складу та ефективністю стабілізуючих присадок. Утворення осаду в таких випадках є наслідком не лише окиснення базової основи, але й можливих перетворень присадок, які втрачають свою розчинність або переходять у полімеризовані форми.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						51
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

Для зразка **Castrol Pocut 152** характер динаміки зміни осаду є іншим. У початковий період, приблизно до 100 годин термостатування, кількість утвореного осаду практично не змінюється, що свідчить про стабільність системи та переважне утворення продуктів окиснення, які залишаються розчиненими в об'ємі рідини. Це може бути пов'язано з достатньо високою ефективністю диспергувальних та стабілізуючих компонентів, які перешкоджають агрегації частинок.

Після 100 годин експозиції починається поступове зростання кількості осаду, що вказує на досягнення певного порогового стану стабільності системи, після якого частина продуктів окиснення починає втрачати розчинність і переходити в тверду фазу. За весь період дослідження загальна масова частка осаду для цього зразка становить близько 0,26 % мас., що є суттєво меншим показником у порівнянні з іншими досліджуваними СОЖ.

Таким чином, аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що інтенсивність утворення осаду є важливим діагностичним показником стабільності мастильно-охолоджувальних рідин. Вона безпосередньо пов'язана з процесами окиснення, деградації присадок та зміною колоїдного стану системи. Менша кількість осаду свідчить про вищу термоокиснювальну стабільність СОЖ і кращу здатність зберігати свої експлуатаційні властивості протягом тривалого часу.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						52
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

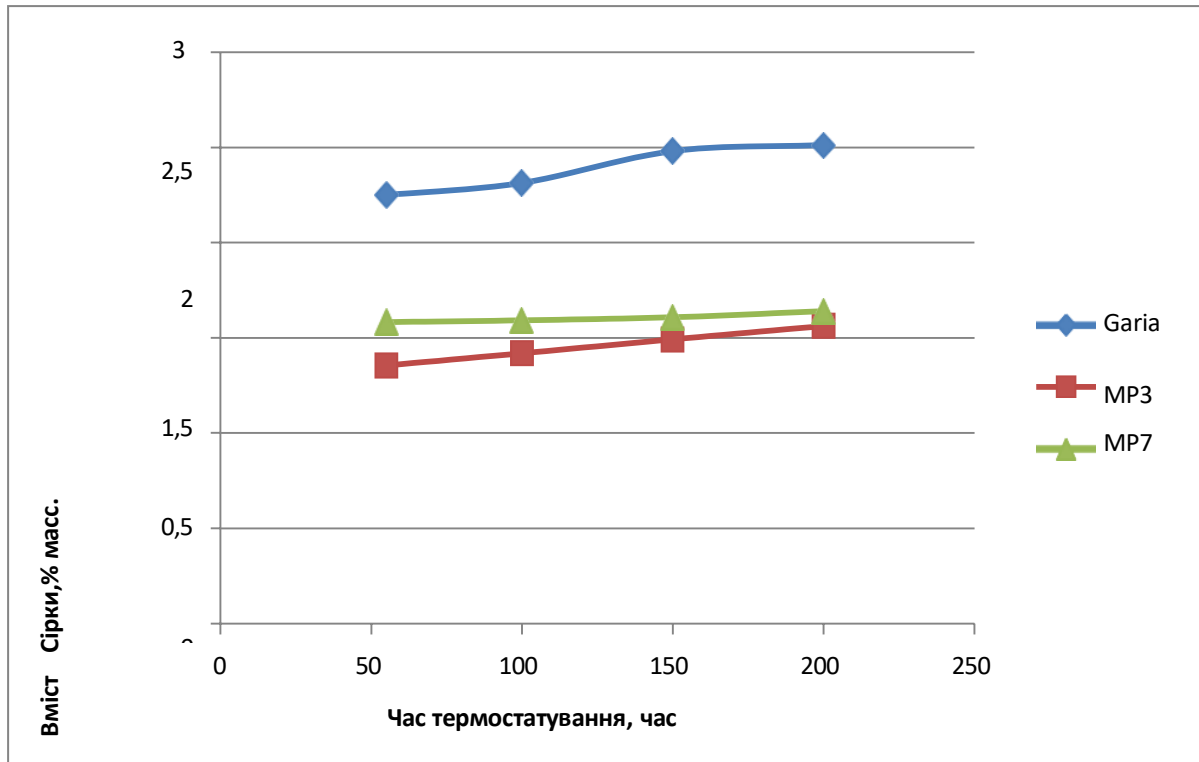


Рисунок 3.6- Залежність вмісту сірки від часу термостатування

На представленій графічній залежності відображено зміну масової частки сірки в досліджуваних зразках мастильно-охолоджувальних рідин залежно від тривалості термостатування. Аналіз отриманих даних дозволяє оцінити не лише динаміку концентрації сірковмісних компонентів, але й опосередковано охарактеризувати процеси втрати маси рідини під впливом підвищеної температури.

Спостережувані зміни вмісту сірки в усіх зразках пов'язані, насамперед, із фізичним процесом випаровування легких фракцій СОЖ у ході тривалого термічного впливу. При цьому абсолютна кількість сірковмісних сполук у системі залишається практично незмінною, однак загальна маса зразка поступово зменшується. У результаті цього

відбувається відносне збільшення масової частки сірки, оскільки вона розраховується як відношення маси елемента до загальної маси системи.

Таким чином, фіксоване зростання показника вмісту сірки не обов'язково свідчить про утворення додаткових сірковмісних сполук або зміну хімічного складу присадок, а в даному випадку є наслідком концентраційного ефекту, зумовленого випаровуванням частини легких компонентів базової основи. Цей процес є типовим для термічного старіння мастильних матеріалів і особливо виражений при тривалому нагріванні.

Варто зазначити, що зміни вмісту сірки для всіх досліджуваних зразків є незначними і перебувають у межах похибки, характерної для подібних експериментальних умов. Загальна втрата маси не перевищує приблизно 1 % мас., що свідчить про відносно високу термостабільність систем та незначну інтенсивність випаровувальних процесів у заданому температурному режимі.

З фізико-хімічної точки зору такі результати вказують на те, що сірковмісні компоненти, які входять до складу СОЖ, характеризуються достатньою стабільністю і не зазнають суттєвих перетворень у процесі термостатування. Водночас незначне зростання їх відносної концентрації може впливати на вторинні властивості рідини, зокрема на протизадирні та протизносні характеристики, оскільки сірковмісні сполуки часто беруть участь у формуванні захисних граничних плівок на поверхнях тертя.

Отже, отримані результати свідчать про те, що зміна вмісту сірки в досліджуваних СОЖ зумовлена переважно фізичними процесами випаровування, а не хімічною трансформацією компонентів, що підтверджує загальну стабільність елементного складу рідин у межах проведеного експерименту.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						54
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

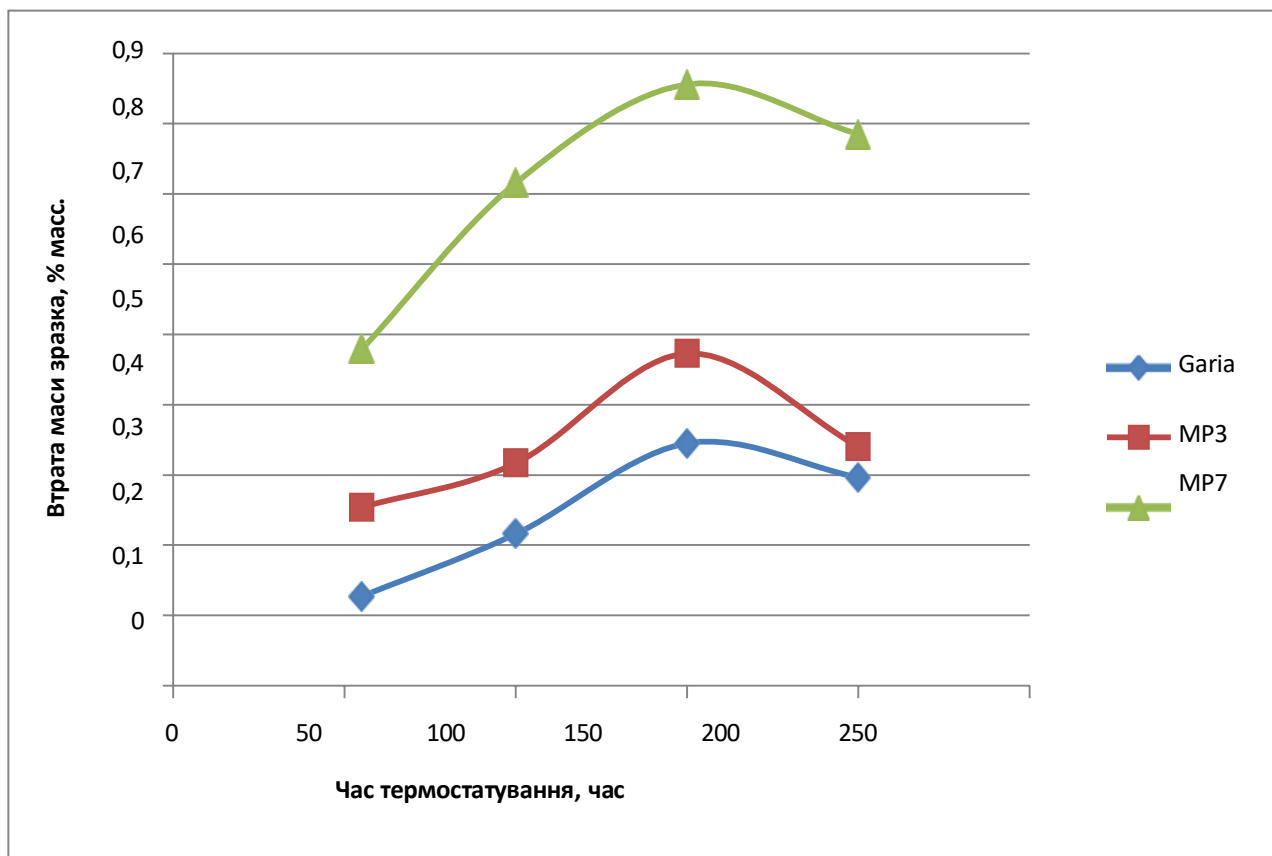


Рисунок 3.7 – Залежність втрати маси від часу термостатування

Аналіз графічних залежностей показує, що показник випаровуваності досліджуваних мастильно-охолоджувальних рідин (Garia 601 M-22, Mobilcut 103 та Castrol Poscut 152) змінюється в часі нерівномірно та має виражений етапний характер. Протягом перших 150 годин термостатування спостерігається загальна тенденція до зростання втрат маси внаслідок випаровування, після чого інтенсивність цього процесу поступово знижується.

Зокрема, за період перших 150 годин експозиції збільшення випаровуваності становить приблизно 0,22 % мас. для зразка Garia 601 M-22, 0,22 % мас. для Mobilcut 103 та 0,38 % мас. для Castrol Poscut 152. Така динаміка свідчить про активне видалення з системи найбільш летких

компонентів, які входять до складу базової основи мастильних матеріалів. У цей період відбувається інтенсивне випаровування низькомолекулярних вуглеводнів, що є найбільш чутливими до дії підвищеної температури.

Подальший етап, що охоплює приблизно останні 50 годин термостатування, характеризується суттєвим уповільненням процесу втрати маси. У цей період приріст випаровуваності становить лише близько 0,05 % мас. для Garia 601 M-22, 0,13 % мас. для Mobilcut 103 та 0,07 % мас. для Castrol Poscut 152. Зменшення інтенсивності випаровування пояснюється тим, що на початкових стадіях термічного впливу з рідини вже були видалені найбільш леткі фракції, тоді як залишковий склад представлений переважно більш важкими та термостійкими компонентами.

Відповідно до літературних даних, у процесі тривалої експлуатації мастильно-охолоджувальні рідини піддаються впливу підвищених температур, що призводить до поступового випаровування легких вуглеводневих сполук. Саме ці компоненти першими залишають систему при нагріванні, що зумовлює початкове інтенсивне зниження маси зразків. У міру продовження процесу термостатування кількість таких летких речовин у системі зменшується, і швидкість втрати маси поступово стабілізується.

Таким чином, можна зробити висновок, що процес випаровування СОЖ має виражений двостадійний характер. На першій стадії відбувається активне видалення легких вуглеводнів, що призводить до помітного зростання втрат маси. На другій стадії система переходить у відносно стабільний стан, коли основна частина летких компонентів уже видалена, і подальші втрати маси відбуваються значно повільніше та практично наближаються до стабілізації.

Отримані результати підтверджують, що термічна стабільність мастильно-охолоджувальних рідин значною мірою визначається їх

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						56
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

фракційним складом, а також здатністю зберігати важкі компоненти при тривалому нагріванні. Це є важливим фактором при оцінюванні експлуатаційної надійності СОЖ у реальних виробничих умовах.

3.2 Вплив металевої стружки на зміну властивостей мастильно-охолоджувальних рідин

Одним із важливих факторів, що суттєво впливає на стабільність та довговічність мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) під час експлуатації в умовах металообробки, є наявність у робочому середовищі продуктів зношування, зокрема металевої стружки. У реальних виробничих умовах СОЖ постійно контактують із поверхнями інструменту та заготовки, внаслідок чого в систему потрапляють частинки металу різного розміру, форми та хімічної активності. Ці частинки можуть виступати не лише механічними домішками, але й активними каталізаторами хімічних процесів, зокрема окиснення та термічної деструкції компонентів мастильного середовища.

Металева стружка, особливо виготовлена із конструкційних або легованих сталей, має розвинену питому поверхню та високу реакційну здатність у присутності кисню та підвищених температур. За таких умов вона здатна прискорювати процеси окиснення базової основи СОЖ та присадок, сприяючи утворенню додаткових продуктів деградації. Крім того, поверхня металевих частинок може виступати як активний центр адсорбції, на якому відбуваються гетерогенні хімічні реакції, що додатково ускладнює процеси стабілізації системи.

У ході проведених досліджень було проаналізовано зміну основних фізико-хімічних показників СОЖ у присутності металевої стружки в умовах тривалого термостатування. Отримані результати дозволяють оцінити комплексний вплив механічних домішок на інтенсивність процесів

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						57
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

старіння мастильно-охолоджувальних рідин, а також на характер їх структурних і хімічних перетворень у часі.

До досліджуваних параметрів належать кислотне число, кінематична в'язкість, індекс в'язкості, густина, кількість утвореного осаду, вміст сірки та показник випаровуваності. Сукупний аналіз цих характеристик дає можливість комплексно оцінити як фізичні, так і хімічні зміни, що відбуваються в системі під впливом температури та наявності металевих частинок.

Отримані експериментальні залежності зміни зазначених фізико-хімічних властивостей СОЖ від тривалості термостатування з присутністю металевої стружки наведені на рисунках 3.8–3.14. Представлені графіки дозволяють простежити динаміку деградаційних процесів, виявити найбільш чутливі до впливу каталізуючих факторів показники та оцінити ступінь прискорення старіння мастильного середовища в умовах реальної експлуатації.

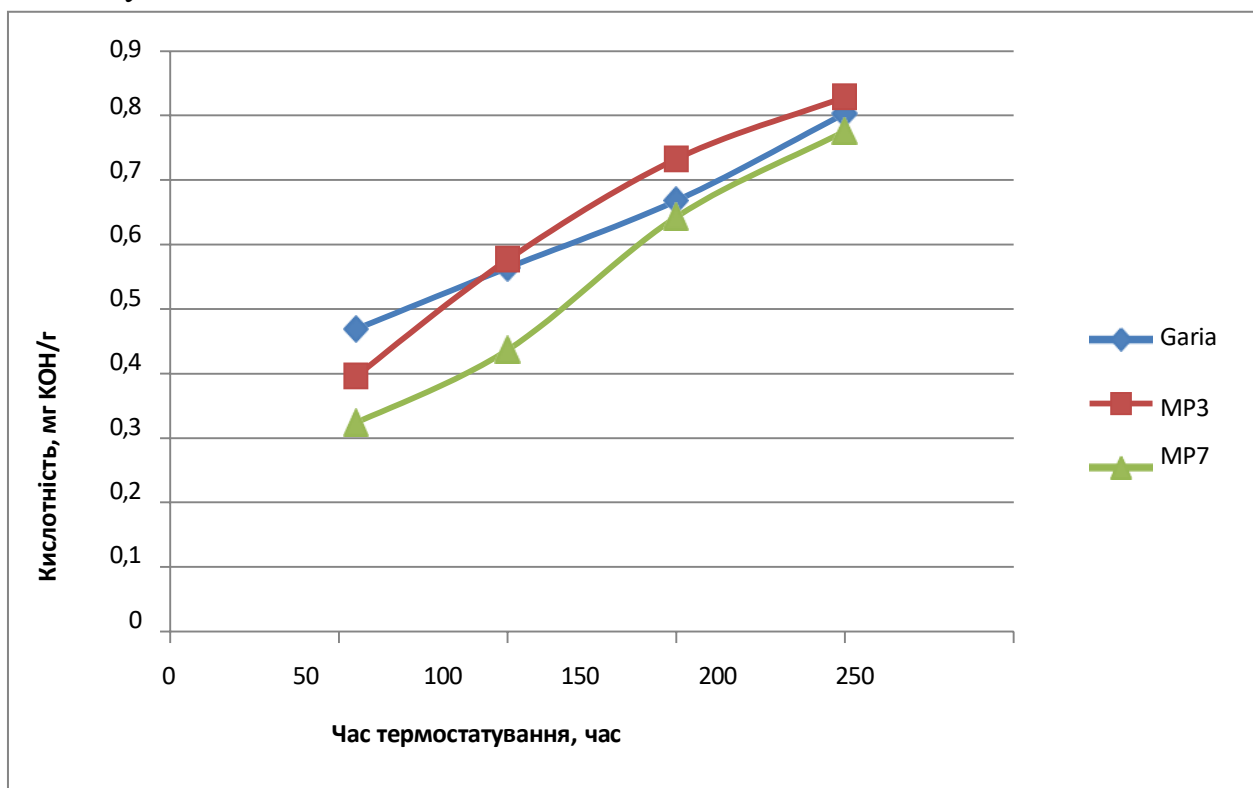


Рисунок 3.8 – Залежність кислотності від часу термостатування

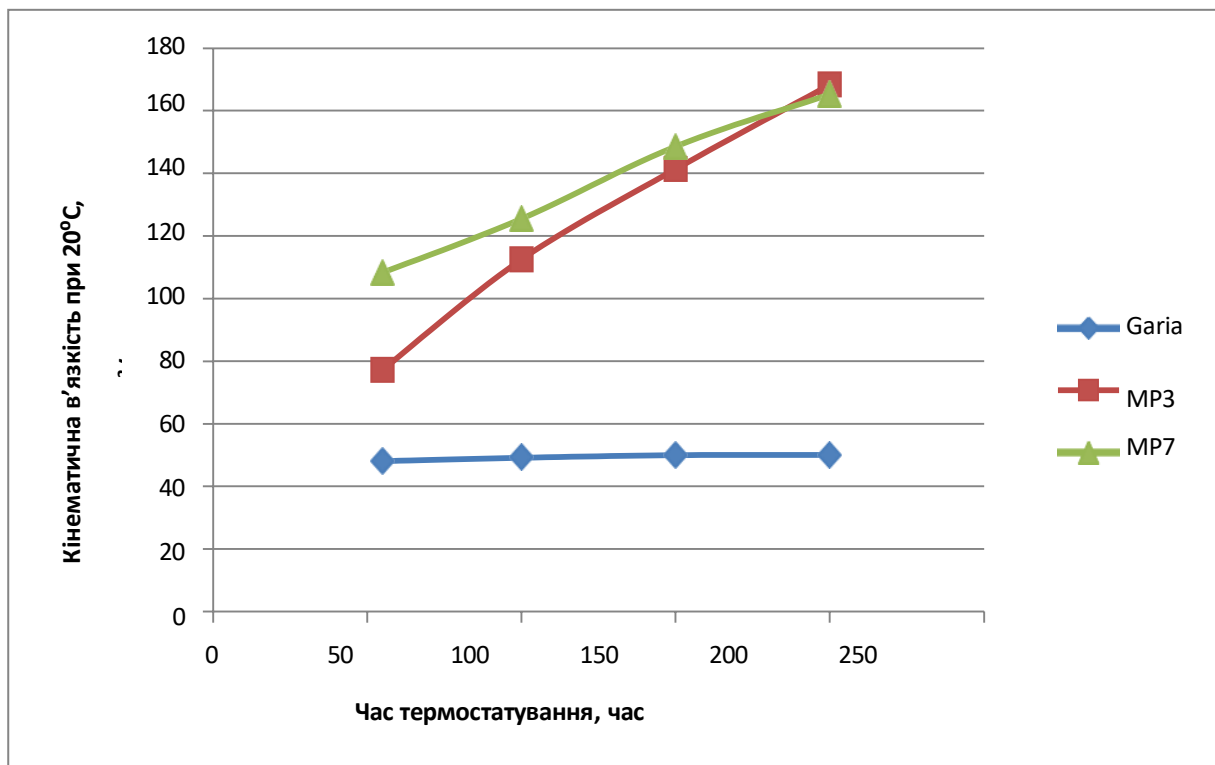


Рисунок 3.9- Залежність кінематичної в'язкості від часу

На представлених графічних залежностях відображено зміну кінематичної в'язкості та кислотного числа трьох досліджуваних мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) залежно від тривалості термостатування в умовах наявності металевої стружки. Порівняльний аналіз отриманих кривих дозволяє оцінити вплив продуктів зношування металу на інтенсифікацію процесів старіння рідин та зміну їх фізико-хімічних характеристик у часі.

Загалом встановлено, що введення металевої стружки в систему призводить до зміни характеру поведінки досліджуваних залежностей для більшості зразків, за винятком системи на основі Garia 601 M-22, де

загальна форма кривих залишається відносно стабільною. Це свідчить про вищу структурну стійкість даного зразка до додаткових каталізуючих факторів.

Для зразка **Mobilcut 103** спостерігається найбільш виражене зростання кінематичної в'язкості в умовах присутності металевої стружки. Загальне збільшення цього показника становить приблизно $91,1 \text{ мм}^2/\text{с}$, що суттєво перевищує відповідні значення для інших систем. Для зразка **Castrol Pocut 152** також фіксується підвищення в'язкості, однак менш інтенсивне — на рівні близько $57,0 \text{ мм}^2/\text{с}$. Такі відмінності можуть бути зумовлені різною чутливістю базових олив і пакета присадок до каталізуючого впливу металевих поверхонь та продуктів зношування.

Щодо кислотного числа, то для зразків Mobilcut 103 та Castrol Pocut 152 його зміна в присутності металевої стружки є більш інтенсивною порівняно з умовами без домішок. Це свідчить про прискорення процесів утворення кисневмісних продуктів окиснення. Водночас характер зміни кривих залишається подібним до базового випадку, що вказує на збереження загальної кінетики процесів, але зі збільшеною швидкістю їх протікання.

Подібна поведінка пояснюється тим, що наявність металевої стружки в об'ємі СОЖ значно підвищує інтенсивність окиснювальних процесів. Металеві частинки виконують роль каталізаторів, а також додаткових активних поверхонь, на яких відбувається адсорбція кисню та ініціювання реакцій окиснення. У результаті цього в системі утворюється більша кількість кисневмісних сполук, таких як пероксиди, гідрпероксиди, органічні кислоти та смолисті продукти.

Ці сполуки, у свою чергу, впливають на весь комплекс фізико-хімічних властивостей СОЖ, зокрема на в'язкість, кислотність, стабільність структури та схильність до утворення осаду. Таким чином, присутність металевої стружки суттєво прискорює процеси

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						60
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

термоокиснювальної деструкції, змінюючи кінетику старіння мастильно-охолоджувальних рідин і скорочуючи їх ефективний експлуатаційний ресурс.

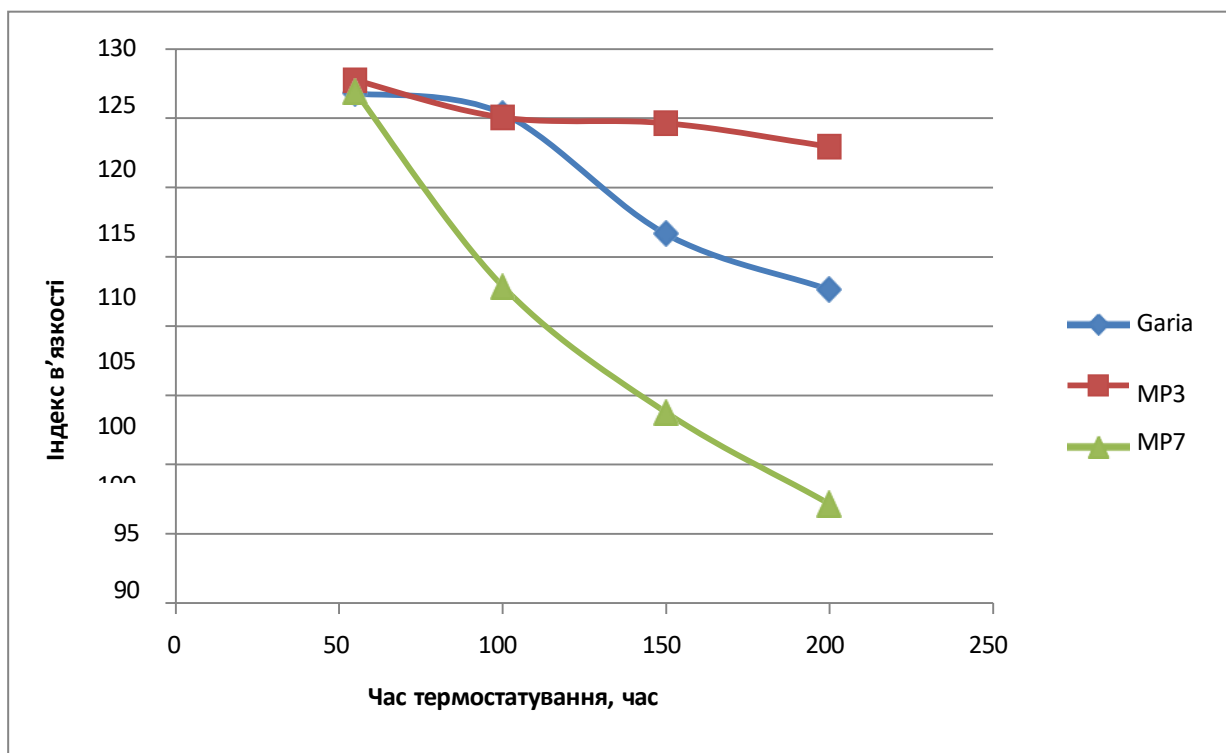


Рисунок 3.10- Залежність індексу в'язкості від часу

На графічній залежності представлено зміну індексу в'язкості трьох досліджуваних мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) залежно від тривалості термостатування в умовах присутності металевої стружки. Отримані результати дозволяють оцінити вплив продуктів зношування металу на стабільність структурно-в'язкісних характеристик рідин та їх поведінку в умовах тривалого термічного навантаження.

Аналіз експериментальних даних показує, що у разі термостатування з додаванням металевої стружки спостерігається загальна тенденція до зниження індексу в'язкості для всіх досліджуваних зразків. Це свідчить про суттєві зміни у структурі мастильного середовища, пов'язані з

інтенсифікацією процесів термоокиснювальної деструкції та каталізуючим впливом металевих частинок.

Наявність металевої стружки призводить до зміни характеру залежностей індексу в'язкості для зразків Mobilcut 103 та Castrol Poscut 152, що проявляється у більш вираженому зниженні цього показника в часі порівняно з умовами без домішок. Це може бути пов'язано з прискореним руйнуванням структурних компонентів базової основи та присадок під дією підвищеної реакційної активності системи.

Зниження індексу в'язкості вказує на поступове погіршення в'язкісно-температурних властивостей СОЖ, тобто на зменшення їх здатності зберігати стабільну в'язкість при зміні температури. Іншими словами, зі збільшенням тривалості експлуатації залежність в'язкості від температури стає менш керованою та менш передбачуваною, що може негативно впливати на стабільність технологічного процесу обробки металів.

Таким чином, можна зробити висновок, що присутність металевої стружки в мастильно-охолоджувальному середовищі сприяє прискоренню деградаційних процесів і призводить до зниження індексу в'язкості досліджуваних рідин. Це, у свою чергу, означає послаблення в'язкісно-температурної стабільності СОЖ у процесі їх тривалої експлуатації та зменшення ефективності їх роботи в умовах змінних температурних режимів.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						62
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

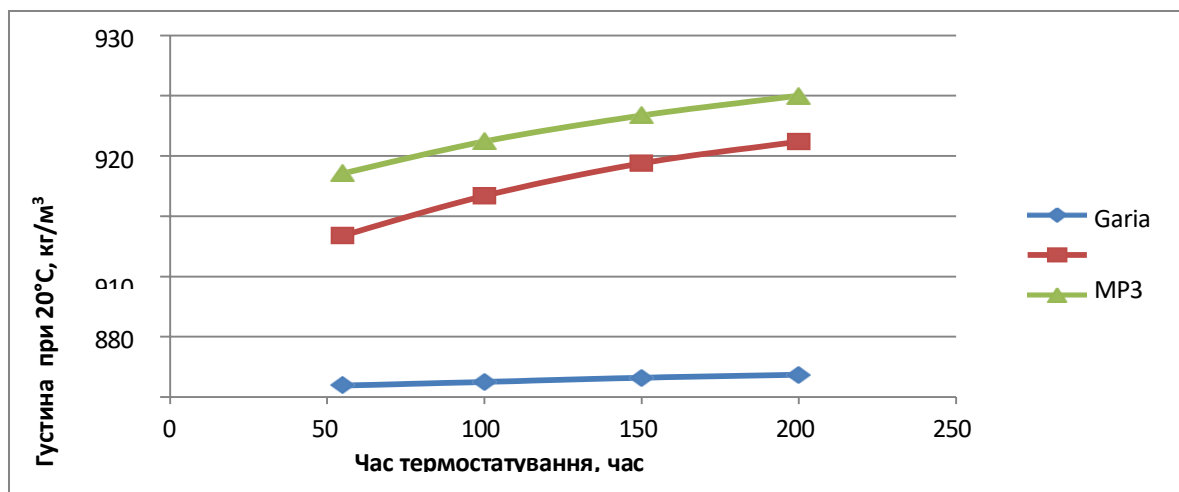


Рисунок 3.11- Залежність густини від часу

На представленій графічній залежності відображено зміну густини досліджуваних мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) залежно від тривалості термостатування в умовах наявності металевої стружки. Аналіз отриманих результатів дозволяє оцінити вплив додаткового механічного та хімічно активного фактору на фізичний стан рідин, а також на перерозподіл їх компонентного складу в процесі термічного старіння.

Встановлено, що присутність металевої стружки у системі сприяє підсиленню процесів випаровування для зразків Mobilcut 103 та Castrol Poscut 152. Це пов'язано з тим, що металеві частинки можуть виступати як додаткові центри теплопередачі та локального перегріву, а також частково змінювати умови масообміну в рідині. У результаті цього з системи більш інтенсивно видаляються легкі фракції базової основи, що призводить до зменшення загальної маси зразка.

Оскільки густина є відношенням маси речовини до її об'єму, зменшення маси при відносно сталому об'ємі спричиняє підвищення цього показника. Водночас, у міру випаровування легких компонентів відбувається відносне збільшення концентрації менш летких складових, зокрема базових олів і функціональних присадок. Саме це також

додатково сприяє підвищенню густини досліджуваних зразків Mobilcut 103 та Castrol Plocut 152.

Важливо зазначити, що для зразка Garia 601 M-22 вплив металевої стружки на зміну густини в умовах проведеного експерименту практично не виявлено. Це може свідчити про вищу стабільність його компонентного складу та меншу схильність до інтенсивного випаровування легких фракцій у присутності додаткових каталізуючих факторів. Ймовірно, структура даної СОЖ забезпечує більш рівномірний розподіл теплових потоків і кращу термостійкість базової основи.

Таким чином, отримані результати свідчать про те, що металеві домішки можуть опосередковано впливати на зміну густини мастильно-охолоджувальних рідин через інтенсифікацію процесів випаровування та зміну концентраційного складу системи. Водночас ступінь цього впливу суттєво залежить від хімічної природи СОЖ та стабільності її базової основи.

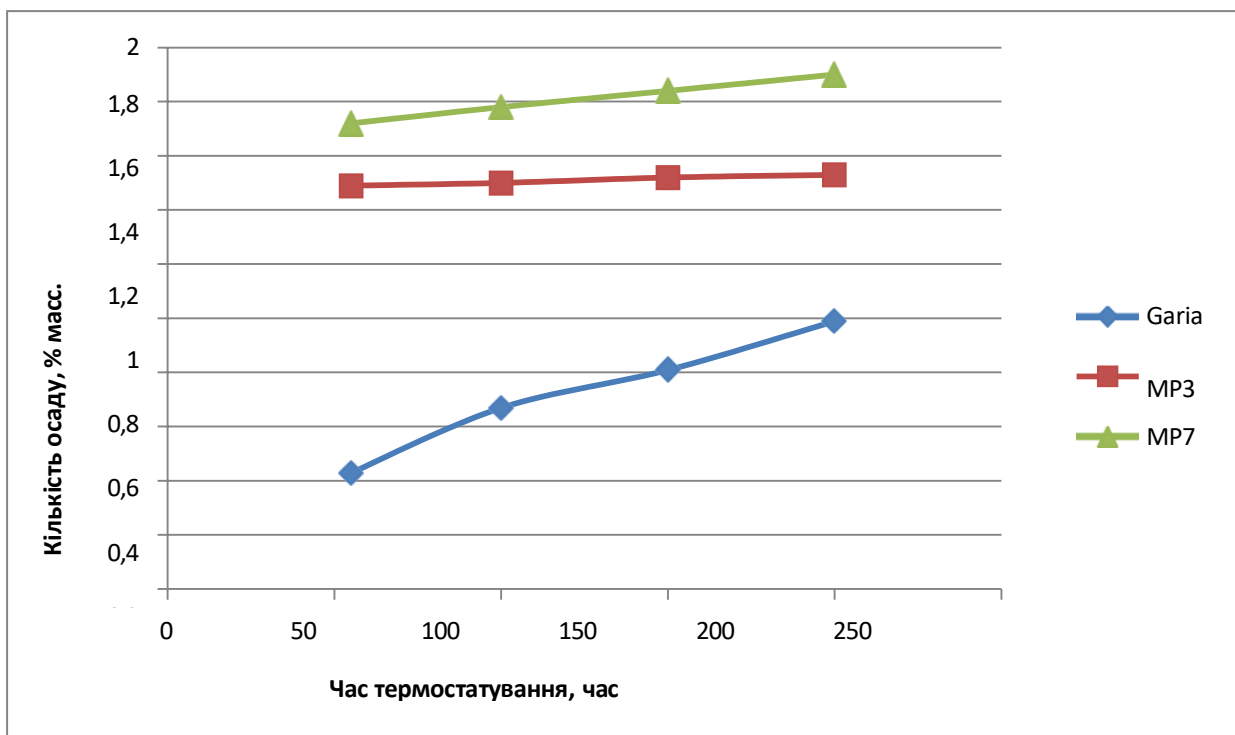


Рисунок 3.12- Залежність кількості осаду від часу

Змн	Днк	№ докum	Пілпис	Дата

На графічній залежності відображено зміну кількості осаду, що утворюється в мастильно-охолоджувальних рідинах (СОЖ), протягом 200 годин термостатування в умовах наявності металевої стружки. Отримані результати дозволяють оцінити інтенсивність утворення нерозчинних продуктів окиснення та ступінь впливу металевих частинок як каталізуючого чинника на процеси старіння досліджуваних рідин.

Аналіз експериментальних даних показує, що характер накопичення осаду суттєво залежить як від хімічного складу СОЖ, так і від умов термічного впливу. Для зразка **Garia 601 M-22** присутність металевої стружки практично не змінює загальну динаміку утворення осаду. Це свідчить про відносно високу стабільність системи та її здатність протидіяти прискоренню процесів утворення нерозчинних продуктів навіть за наявності додаткових каталізуючих факторів.

Інша картина спостерігається для зразків **Mobilcut 103** та **Castrol Pocut 152**. У цих системах на початковому етапі термостатування, приблизно протягом перших 55 годин, наявність металевої стружки призводить до різкого збільшення кількості утвореного осаду. Зокрема, його обсяг стає приблизно у два рази більшим порівняно з аналогічними умовами без домішок. Це може бути пов'язано з тим, що металеві частинки активно прискорюють процеси окиснення та сприяють швидшому утворенню нерозчинних сполук, які агрегують у вигляді осаду.

У подальшому, після початкової стадії інтенсивного росту, швидкість накопичення осаду поступово зменшується. Це пояснюється тим, що найбільш реакційноздатні компоненти системи вже частково прореагували або перейшли в нерозчинну фазу, а подальші процеси протікають повільніше та більш стабільно. Таким чином, крива росту осаду набуває більш пологого характеру.

Загалом отримані результати свідчать про те, що металеві домішки найбільш суттєво впливають саме на початкові стадії деградаційних

					КвРМТВА. 23664.02.06.00	Днк
						65
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

процесів у СОЖ, прискорюючи утворення продуктів окиснення та їх подальшу агрегацію. Водночас у довготривалій перспективі система частково стабілізується, і інтенсивність утворення осаду знижується. Це підкреслює важливість врахування наявності продуктів зношування металу при оцінюванні експлуатаційної стабільності мастильно-охолоджувальних рідин у реальних виробничих умовах.

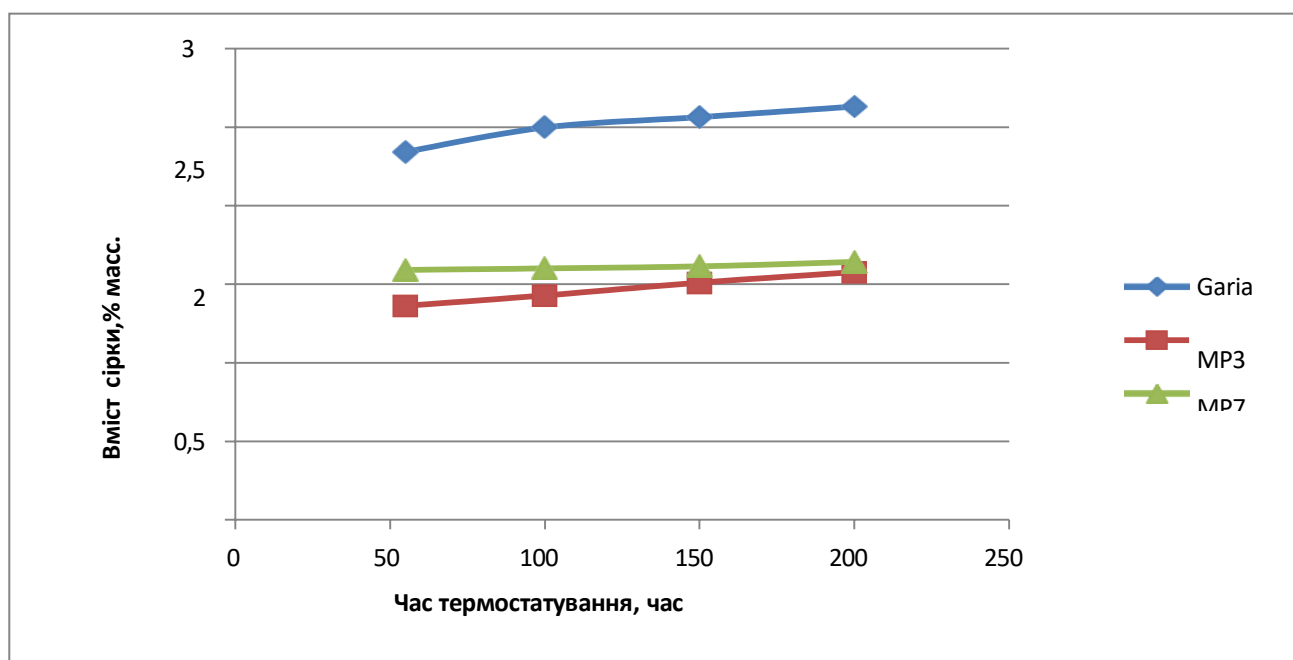


Рисунок 3.13 – Залежність вмісту сірки від часу

На графічних залежностях представлено зміну масової частки сірки в досліджуваних зразках мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) протягом 200 годин термостатування. Отримані результати дозволяють оцінити не лише динаміку концентрації сірковмісних компонентів, але й опосередковано проаналізувати процеси втрати маси системи внаслідок випаровування легких фракцій.

Загальна тенденція, яка спостерігається на графіках, полягає у поступовому збільшенні відносного вмісту сірки в усіх досліджуваних

зразках. Важливо підкреслити, що таке зростання не обов'язково пов'язане з утворенням нових сірковмісних сполук у процесі експлуатації. Основною причиною даного явища є концентраційний ефект, який виникає внаслідок зменшення загальної маси зразка при практично незмінній абсолютній кількості сірковмісних компонентів.

Під час термостатування відбувається поступове випаровування частини легких компонентів базової основи СОЖ, що призводить до зменшення маси системи. Оскільки маса сірки в межах експерименту залишається відносно сталою, її частка у загальній масі рідини автоматично зростає. Таким чином, фіксоване підвищення вмісту сірки є наслідком фізичного процесу втрати маси, а не зміни хімічного складу сірковмісних присадок.

При проведенні термостатування в умовах присутності металеві стружки процес випаровування відбувається більш інтенсивно. Це може бути пов'язано з тим, що металеві частинки змінюють умови теплопередачі в системі, сприяють локальному перегріву рідини, а також збільшують площу взаємодії, що полегшує вихід летких фракцій у газову фазу. У результаті цього загальна втрата маси зразків відбувається швидше, що, відповідно, призводить до більш вираженого зростання відносного вмісту сірки порівняно з умовами без стружки.

Водночас слід зазначити, що, незважаючи на різну інтенсивність змін, загальний характер кривих для всіх досліджуваних систем залишається подібним. Це свідчить про збереження загальної закономірності процесів старіння та відсутність принципових змін механізму поведінки сірковмісних компонентів у різних умовах експлуатації.

Отже, отримані результати підтверджують, що зміна вмісту сірки в СОЖ визначається переважно фізичними процесами випаровування, а

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						67
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

вплив металевої стружки проявляється опосередковано — через прискорення втрати маси та інтенсифікацію термічних процесів у системі.

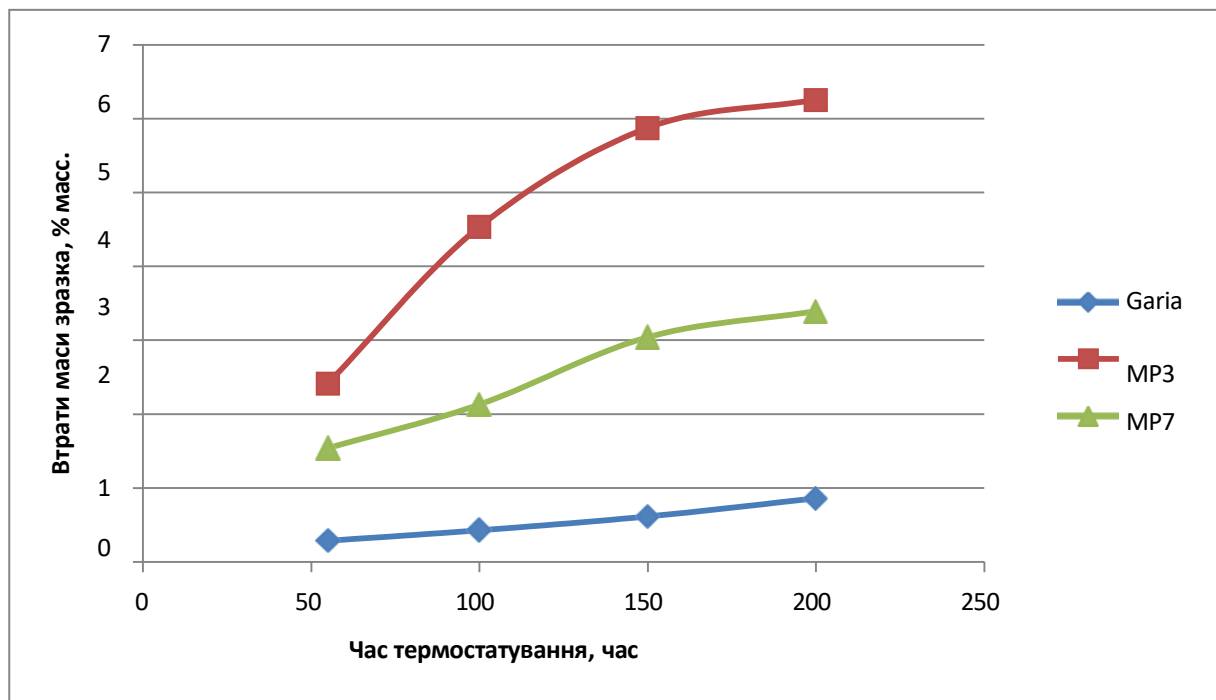


Рисунок 3.14- залежність страти маси від часу

Аналіз графічних залежностей показує, що процес термічного старіння мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) суттєво інтенсифікується за умов присутності металевої стружки. У таких умовах спостерігається більш активний перебіг окиснювальних реакцій, що супроводжується утворенням різноманітних продуктів деструкції, включаючи частково леткі сполуки. Їх поява сприяє додатковому зниженню маси зразків у процесі тривалого термостатування.

Підвищена інтенсивність окиснення в системах із металевими домішками може бути пов'язана з каталізуючою дією металевих поверхонь, які сприяють активації молекул кисню та прискорюють реакції розкладу органічних компонентів базової основи та присадок. У результаті цього зростає швидкість утворення як розчинних, так і частково летких продуктів окиснення, що виводяться із системи або переходять у газову фазу, зумовлюючи загальне зменшення маси зразків.

Крім того, наявність металевої стружки може змінювати умови тепломасообміну в об'ємі рідини, сприяючи локальним перегрівам та нерівномірному розподілу температури. Це додатково активізує процеси термоокиснювальної деструкції та прискорює втрату летких компонентів СОЖ.

Отримані експериментальні дані свідчать про суттєве збільшення втрати маси для всіх досліджуваних зразків у порівнянні з умовами без металевих домішок. Зокрема, за 200 годин термостатування втрати маси становлять приблизно 0,86 % мас. для зразка Garia 601 M-22, 6,25 % мас. для Mobilcut 103 та 3,40 % мас. для Castrol Pocut 152.

Найменше значення втрати маси для Garia 601 M-22 може свідчити про вищу термічну та окиснювальну стабільність даної системи, а також про меншу схильність до утворення летких продуктів деструкції. Натомість більш значні втрати для Mobilcut 103 та Castrol Pocut 152 вказують на інтенсивніші процеси випаровування та розкладу компонентів у присутності металевої стружки.

У цілому отримані результати підтверджують, що металеві домішки є важливим фактором, який прискорює деградаційні процеси в СОЖ, сприяє інтенсифікації окиснення та підвищує загальні втрати маси в умовах тривалого термічного впливу.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						69
Змн	Днк	№ докum	Пілпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Інформацію щодо впливу продуктів термічної деструкції та окиснення мастильно-охолоджувальних рідин (СОЖ) на їх експлуатаційні властивості, а відповідно і на інтенсивність зношування різального інструменту, можна отримати шляхом комплексного аналізу таких ключових показників, як термоокиснювальна стабільність, кінематична в'язкість, густина, температура стабільності та ряд інших фізико-хімічних характеристик. Сукупна оцінка цих параметрів дозволяє об'єктивно охарактеризувати ступінь старіння мастильного середовища в умовах підвищених температур і доступу кисню.

Проведене термостатування зразків при температурі 95 °С в умовах безпосереднього контакту з киснем повітря показало наступні зміни основних властивостей досліджуваних СОЖ міжнародних марок Houghton International, ExxonMobil (серія Mobilcut) та Castrol:

- Кінематична в'язкість усіх трьох зразків (Garia 601 M-22, Mobilcut 103 та Castrol Poscut 152) у базових умовах термостатування залишалася практично сталою, що свідчить про відносну стабільність в'язкісної структури без додаткових каталізуючих факторів.
- Кислотне число всіх досліджуваних СОЖ зросло внаслідок перебігу окиснювальних процесів: для Garia 601 M-22 — на 73,6 %, для Mobilcut 103 — на 63,9 %, для Castrol Poscut 152 — на 85,6 %. При цьому абсолютні значення залишалися відносно низькими (до 0,4 мг КОН/г), що свідчить про початкову стадію окиснення.
- Густина всіх трьох зразків істотно не змінювалася, що вказує на збереження загального масового та об'ємного балансу системи в процесі термостатування.

					КвРМТВА. 23664.02.06.00	Днк
						70
Змн	Днк	№ докум	Пілпис	Дата		

- Кількість осаду, що утворюється внаслідок формування нерозчинних продуктів окиснення, зросла і становила: для Garia 601 M-22 — 0,58 % мас., для Mobilcut 103 — 0,50 % мас., для Castrol Pocut 152 — 0,26 % мас.

- Усі зразки зазнали втрат маси внаслідок випаровування легких фракцій: Garia 601 M-22 — 0,22 % мас., Mobilcut 103 — 0,22 % мас., Castrol Pocut 152 — 0,38 % мас.

Додатково було встановлено, що наявність металевої стружки у системі суттєво інтенсифікує процеси окиснення та термічної деструкції, виконуючи роль каталізатора та додаткової активної поверхні. У цих умовах зміни фізико-хімічних властивостей мастильних середовищ мали більш виражений характер:

- Кінематична в'язкість зразка Garia 601 M-22 залишалася стабільною, тоді як для Mobilcut 103 та Castrol Pocut 152 спостерігалось її суттєве зростання на 118,0 % та 53,6 % відповідно, що свідчить про структурні зміни системи.

- Кислотне число Garia 601 M-22 збільшилося на 65,5 %, тоді як для Mobilcut 103 та Castrol Pocut 152 воно зросло більш ніж у два рази, досягаючи, однак, відносно невисоких значень (до 0,9 мг КОН/г).

- Густина Garia 601 M-22 залишалася практично незмінною, тоді як для Mobilcut 103 та Castrol Pocut 152 зафіксовано її зростання на 1,74 % та 1,42 % відповідно.

- Кількість осаду у всіх зразках збільшилася внаслідок інтенсивнішого утворення нерозчинних продуктів окиснення: Garia 601 M-22 — 0,99 % мас., Mobilcut 103 — 1,53 % мас., Castrol Pocut 152 — 1,90 % мас.

- Випаровуваність зразків також значно зросла: Garia 601 M-22 — 0,86 % мас., Mobilcut 103 — 6,25 % мас., Castrol Pocut 152 — 3,40 %

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						71
Змн	Днк	№ док.ум	Підпис	Дата		

мас., що свідчить про посилення втрат легких фракцій у присутності металевої стружки.

Таким чином, у модельованих умовах, максимально наближених до реальних експлуатаційних процесів металообробки, було встановлено різний рівень термоокиснювальної стабільності досліджуваних СОЖ. Отримані результати свідчать, що продукція Houghton International демонструє вищу стійкість до температурного старіння та окиснення порівняно з аналогами Mobilcut та Castrol, що опосередковано вказує на її більший експлуатаційний ресурс та стабільність у складних умовах роботи.

У перспективі результати проведеного дослідження можуть бути використані для обґрунтування оптимальних режимів експлуатації мастильно-охолоджувальних рідин, а також для підбору СОЖ з урахуванням їх термоокиснювальної стабільності та умов реального виробничого навантаження.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						72
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. ДСТУ 8302:2015 Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
2. ISO 3104 Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity. – Geneva: ISO, 2020.
3. ASTM D445 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. – West Conshohocken: ASTM International, 2021.
4. ASTM D2270 Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity. – ASTM International, 2020.
5. ASTM D664 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. – ASTM International, 2021.
6. ASTM D4294 Standard Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. – ASTM International, 2019.
7. Lubricants and Lubrication Mang T., Dresel W. Lubricants and Lubrication. – 3rd ed. – Wiley-VCH, 2017.
8. Metalworking Fluids Byers J. P. Metalworking Fluids. – 2nd ed. – CRC Press, 2016.
9. Engineering Tribology Stachowiak G., Batchelor A. Engineering Tribology. – 4th ed. – Butterworth-Heinemann, 2013.
10. Fundamentals of Fluid Film Lubrication Hamrock B., Schmid S., Jacobson B. Fundamentals of Fluid Film Lubrication. – CRC Press, 2004.
11. STLE Metalworking Fluids Management and Best Practices. – STLE, 2018.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						73
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

12. European Lubricants Industry Association Lubricants Industry Guidelines and Technical Reports. – ELGI, 2020.
13. Houghton International Technical Data Sheets: Garia Series Metalworking Fluids. – 2022.
14. ExxonMobil Mobilcut Series Product Guide. – 2021.
15. Castrol Industrial Metalworking Fluids: Ilocut Range Technical Documentation. – 2022.
16. Tribology Bhushan B. Introduction to Tribology. – 2nd ed. – Wiley, 2013.
17. Handbook of Lubrication Rudnick L. R. (Ed.). Lubricant Additives: Chemistry and Applications. – CRC Press, 2017.

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						74
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					<i>КвРМТВА. 23664.02.06.00</i>	Днк
						75
Змн	Днк	№ докум	Підпис	Дата		