

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### «Удосконалення технічного обслуговування автомобілів на основі діагностики стану охолоджувальних рідин»

Рівень вищої освіти другий магістерський  
Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Спеціальність 132 Матеріалознавство  
Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр КвРМТВА. 24358.01.38.00

Виконав студент 2 курсу група МТВАм-24-1



Підпис

Олександр ТКАЧУК

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ



Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ



Підпис

Олег БАБАК

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри ТАМ

5.12.2025

Дата



Підпис

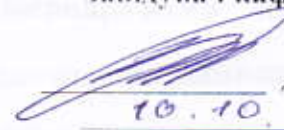
Олександр ДИХА

Хмельницький, 2025

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *інженерії, транспорту та архітектури*  
Кафедра *трибології, автомобілів та матеріалознавства*  
Рівень вищої освіти *другий магістерський*  
Галузь знань *13 Механічна інженерія*  
Спеціальність *132 Матеріалознавство*  
Освітня програма *Відновлення та технічний сервіс автомобілів*

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ТАМ

  
Диха О.В.  
10.10 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ткачуку Олександрю Анатолійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: Удосконалення технічного обслуговування автомобілів на основі діагностики стану охолоджувальних рідин.

керівник роботи: Посонський Сергій Феліксович, доцент каф. ТАМ.

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

Затверджено наказом університету від 25.08.2025 р. № 65 (Д 27)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 16.12.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали курсових проектів, робіт, практики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Аналіз автомобільних охолоджуючих рідин.

2) Метод контролю якості охолоджувальної рідини з врахуванням її електропровідності.

3) Результати впливу параметрів технічного стану антифризу на його електропровідність.

4) Система організації профілактичного ТО та ремонту транспортних засобів за фактичним технічним станом.

4) Висновки, рекомендації.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	Аналіз автомобільних охолоджуючих рідин	30.10.25	вик
2	Метод контролю якості охолоджувальної рідини з врахуванням її електропровідності	18.11.25	вик
3	Результати впливу параметрів технічного стану антифризу на його електропровідність	30.11.25	вик
4	Система організації профілактичного ТО та ремонту транспортних засобів за фактичним технічним станом	8.12.25	вик
5	Висновки, рекомендації	11.12.25	вик
6	Оформлення пояснювальної записки	20.12.25	вик
7	Захист дипломної роботи	22.12.25	

Студент



Олександр ТКАЧУК

Керівник кваліфікаційної роботи



Сергій НОСОНСЬКИЙ

## РЕФЕРАТ

Студент групи МТВАм-24-1 Ткачук Олександр Анатолійович.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Дипломна робота на тему «Удосконалення технічного обслуговування автомобілів на основі діагностики стану охолоджувальних рідин» складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 23 найменування, розміщених на 3 сторінках, та 2 додатків розміщених на 18 сторінках. Роботу викладено на 82 сторінках, з них 76 сторінок основного тексту, на яких розміщено 24 рисунки і 7 таблиць.

Метою роботи є підвищення ефективності експлуатації автомобільних двигунів шляхом оптимізації використання ресурсу охолоджуючих рідин на основі їх діагностування за енергетичними параметрами.

У дипломній роботі розглянуто проблему підвищення ефективності експлуатації автомобільних двигунів шляхом удосконалення методів діагностики стану охолоджувальних рідин. Встановлено, що індивідуальне визначення фактичного стану антифризу є необхідною умовою для прогнозування його залишкового ресурсу та оптимізації строків заміни. Такий підхід сприяє зниженню експлуатаційних витрат і забезпечує надійну роботу двигуна.

Експериментально підтверджено, що метод оцінювання питомої об'ємної електропровідності охолоджувальних рідин характеризується високою чутливістю, об'єктивністю та мінімальною похибкою вимірювань, яка не перевищує 5%.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення систем технічного обслуговування автомобілів за фактичним станом.

Ключові слова: *РІДИНИ ОХОЛОДЖУВАЛЬНІ, АНТИФРИЗИ, ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС, ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ, ДІАГНОСТИКА, ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ.*



4. СИСТЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ТО ТА РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ФАКТИЧНИМ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ	61
4.1 Удосконалення системи технічного обслуговування автомобільного транспорту	61
4.2 Показники працездатності антифризів у системах охолодження транспортних засобів	69
4.3 Присадки до охолоджуючих рідин	73
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
ДОДАТКИ	82

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Останнім часом розвиток двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) супроводжується збільшенням їхньої сумарної потужності, на яку сильно впливають середній ефективний тиск і швидкість, а також широким використанням електронних блоків керування (ЕБУ). Згадане збільшення потужності двигуна супроводжується підвищеними тепловими та механічними навантаженнями на компоненти систем двигуна. Висока надійність ДВЗ потребує належного балансу параметрів подачі палива, тиску, змащення та охолодження в двигуні. Вибір та забезпечення необхідних параметрів під час роботи двигуна здійснюються системами керування двигуном, пов'язаними з бортовим комп'ютером. Виведення на ринок нового двигуна, його модернізація або навіть ремонт супроводжуються дослідженнями, спрямованими на вдосконалення автоматичних систем, пристроїв та програмного забезпечення для регулювання теплового стану ДВЗ та коефіцієнтів охолодження двигуна з метою забезпечення їх надійності при зростаючих термомеханічних навантаженнях [1].

Система охолодження двигуна повинна забезпечувати найкращий тепловий стан своїх деталей та вузлів. Робоча температура двигуна повинна бути близькою до оптимальної, щоб зберегти міцність матеріалу компонентів двигуна, дуже добру змащувальну здатність та несучу здатність моторної оливи, а також мінімальні втрати палива [1].

Система охолодження двигуна відводить 30–35% загального тепла [2]. Сьогодні в транспортних засобах використовуються рідинні та повітряні системи охолодження. Більшість автомобілів та вантажівок використовують рідинні системи [3].

Було помічено тенденцію до підвищення температурного рівня охолодження двигунів внутрішнього згорання [4] та дедалі ширше використання високотемпературних охолоджувальних рідин у дизельних

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигунах. Температура охолоджувальної рідини двигунів внутрішнього згоряння, що виробляються Caterpillar, MAN B&W Diesel Ltd, General Motors, Deutz AG коливалася від 115 до 126°C [5].

Одним із провідних напрямів розвитку автомобільної техніки на сучасному етапі є підвищення її надійності при одночасному зменшенні витрат пального, мастильних матеріалів, охолоджуючих рідин та зниженні негативного впливу на довкілля. Ключовим показником надійності транспортного засобу виступає його довговічність, що визначається ресурсом та строком служби агрегатів і систем. Важливим чинником, який безпосередньо впливає на ці показники, є якість охолоджуючої рідини, що використовується в системі охолодження двигуна.

Застосування положень теорії надійності дозволяє встановити залежність між властивостями охолоджуючих рідин та ресурсом силового агрегату. Практичне збільшення довговічності можливе за рахунок використання високоякісних антифризів та дотримання оптимальних строків їх заміни.

Режими роботи транспортних засобів у реальних умовах експлуатації характеризуються нестабільністю, що зумовлює різну інтенсивність старіння охолоджуючих рідин. Це призводить до того, що встановлені регламентом строки заміни не завжди відповідають фактичному стану рідини. Дослідження свідчать, що у багатьох випадках антифризи зберігають експлуатаційні властивості навіть після закінчення нормативного ресурсу (40–50 % від розрахункового строку), забезпечуючи при цьому надійне охолодження двигуна.

Таким чином, актуальною є задача переходу до оцінки технічного стану охолоджуючих рідин за їх фактичними характеристиками з подальшим прогнозуванням оптимальних термінів заміни. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти ознаки деградації, запобігати відмовам агрегатів і

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реалізувати ефективне управління ресурсом силових установок з урахуванням індивідуальних умов експлуатації.

Метою роботи є підвищення ефективності експлуатації автомобільних двигунів шляхом оптимізації використання ресурсу охолоджуючих рідин на основі їх діагностування за енергетичними параметрами.

Для досягнення мети передбачено виконання таких завдань:

1) здійснити аналіз сучасних вітчизняних і зарубіжних досліджень щодо оцінювання властивостей і ресурсу охолоджуючих рідин;

2) розробити метод і методику контролю електропровідності антифризів у реальних умовах експлуатації;

3) сформувати систему діагностичних показників, що визначають граничний стан охолоджуючих рідин, та обґрунтувати методологію їх заміни за фактичним технічним станом.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. АНАЛІЗ АВТОМОБІЛЬНИХ ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН

## 1.1 Вимоги до охолоджуючих рідин.

У сучасних автомобілях з двигунами внутрішнього згоряння найширше застосування отримали рідинні системи охолодження. Залежно від умов експлуатації в таких системах використовуються два основних типи теплоносіїв: вода та охолоджуючі рідини з пониженою температурою замерзання (антифризи).

Вода як теплоносій має низку унікальних властивостей, що вигідно відрізняють її від більшості відомих рідин. Зокрема, її питома теплоємність становить 4200 Дж/(кг·К), що робить воду одним із найефективніших середовищ для відведення тепла.

У роботі [6] наведено результати дослідження альтернативних охолоджуючих рідин із порівнянням їх тепло-гідравлічної ефективності. До переліку випробуваних теплоносіїв входили натрій, розчин калію (75 %) і натрію (25 %), ртуть, вода, антифризи А-40 і А-65, фреон-12, дизельне паливо, масло М-10Г2 та метиловий спирт. Дослідження показали, що за теплогідравлічною ефективністю вода поступається лише натрію та калій-натрієвому розчину. Проте застосування цих речовин у системах охолодження ДВЗ є практично неможливим через складність експлуатації. Використання ртуті та фреону-12 взагалі не допускається з екологічних причин.

На даний час в Україні відсутні єдині державні стандарти, що регламентують якість води для систем охолодження автомобільних двигунів. Наявні лише окремі нормативи щодо технічної (котлової) води, а також галузеві вимоги [7] і рекомендації виробників автомобільної техніки.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У таблиці 1.1 наведено основні вимоги галузевих стандартів та технічних умов підприємств-виробників до якості води, яка може використовуватися в системах охолодження двигунів [7].

Таблиця 1.1 – Технічні вимоги до води в системі охолодження ДВЗ.

Показник	Вода охолоджувальна Правила технічної експлуатації на судах Мін-рибгоспу	Вода охолоджувальна Правила експлуатації суднових технічних засобів морського і річкового флоту	Двигуни ЯМЗ-8421, 8481.10, 8482.10 Технічний опис та інструкція з експлуатації
Водневий показник, рН	-	8 - 9	8 - 9
Жорсткість загальна, мг-екв/л, не більше	1,5	1,5 - 3,0	2,15
Залишок після випарювання, мг / л, не більше	-	-	250
Вміст хімічних речовин мг/л, не більше	сульфат-іонів	-	100
	хлорид-іонів	150	170

У сучасних автомобільних двигунах застосування води як основної охолоджуючої рідини практично втратило актуальність. Перевага надана антифризам як вітчизняного, так і закордонного виробництва. На українському ринку представлені такі бренди, як «ВАМП», «СТИРОЛ», «ХАДО» та інші. Серед іноземних виробників широко поширені Mobil, Esso, Shell, Mannol, Texaco, BP, LIQUI MOLY та ін. (рис. 1.1).

Якість та експлуатаційні характеристики антифризів повинні відповідати вимогам технічних умов і стандартів (ГОСТ, ТУ), що діють в Україні (рис. 1.2) [8]. Щодо продукції іноземного виробництва, то її

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

властивості регламентуються міжнародними стандартами ASTM (American Society for Testing and Materials) і SAE (Society of Automotive Engineers). Зазначені стандарти визначають вимоги до концентратів та готових антифризів залежно від основи (етиленгліколева чи пропіленгліколева) і умов використання.



Рисунок 1.1 – Представники виробників рідин охолоджувальних.

Зокрема, за стандартами ASTM [9]:

D 4656 і D 3306 — антифризи для легкових автомобілів і малотоннажних вантажівок;

D 5345 і D 4985 — охолоджуючі рідини для двигунів, що працюють у важких умовах експлуатації (тривала робота на високих навантаженнях, позашляхова техніка, великотоннажні автомобілі, стаціонарні силові установки тощо). Особливістю цих рідин є необхідність введення спеціальних присадок перед використанням.

Антифризи, що відповідають ASTM D 3306, дозволено застосовувати й у вітчизняних легкових автомобілях.

Окрім міжнародних стандартів, автовиробники часто мають власні специфікації, які можуть передбачати додаткові вимоги. Наприклад, норми General Motors (GM 1899 M, GM 6038-M) або концерну Volkswagen забороняють використання інгібіторів корозії на основі нітритів, нітратів, амінів, фосфатів і регламентують граничні концентрації силікатів, бури та хлоридів. Такі обмеження спрямовані на зменшення утворення накипу, подовження ресурсу ущільнень і покращення антикорозійного захисту.



Рисунок 1.2 – Стандарти для охолоджувальних рідин.

Практично всі провідні автомобільні компанії мають власні специфікації для охолоджуючих рідин: Ford WSS-M97B44-D; Hyundai-KIA MS 591-08; Volkswagen TL 774C (G11), F (G12+), G (G12++), H (G12+++); Renault 41-01-001/-S Type D; АВТОЗАЗ ТТМ 5.97.1172-2005 та ін. Вони містять перелік випробувань, які повинен пройти антифриз перед допуском до використання. Відповідність специфікації підтверджується офіційними

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

протоколами та сертифікатами, після чого охолоджуюча рідина вноситься до списку рекомендованих і зазначається в сервісній документації.

Такі випробування є комплексними і включають лабораторні, стендові та дорожні тести. Їх проведення є тривалим та дороговартісним процесом, що доступний лише великим виробникам. Наприклад, вимоги Ford WSS-M97B44-D передбачають дорожні випробування на 12 автомобілях із пробігом 160 тис. км. Після закінчення випробувань водяний насос, головка блока та радіатор повинні бути у справному стані, а вміст інгібіторів корозії в рідині — не нижче 85 %. Для порівняння, вимоги ЗАЗ є значно м'якшими: пробіг 35 тис. км на 5 автомобілях.

Крім того, кожна автомобільна компанія встановлює свої вимоги до типів антифризів. Наприклад:

Renault, Ford, PSA, GM, Opel, корейські та японські виробники застосовують переважно карбоксилатні рідини;

Chrysler та BMW використовують виключно гібридні антифризи;

Volkswagen, Mercedes, MAN, Deutz допускають як карбоксилатні, так і гібридні антифризи залежно від конкретної моделі автомобіля і типу двигуна.

Водночас слід зазначити, що частина українських виробників антифризів часто вказує на етикетках відповідність своїх продуктів вимогам різних автовиробників (Audi, Ford, BMW, VW, Nissan, Toyota тощо) або маркування «G11», «G12». Однак у більшості випадків це використовується як маркетинговий прийом, а не підтвержене випробуваннями твердження.

Коректним маркуванням вважається лише зазначення офіційних «допусків», підтверджених копіями сертифікатів, які мають бути доступні на сайті виробника антифризу. Їх достовірність можна перевірити також на веб-ресурсах відповідних автомобільних компаній.

Основні вимоги до охолоджуючих рідин [8].

Згідно з ГОСТ 28084-89 передбачено три основні марки охолоджуючих рідин: ОР-К (концентрат), ОР-45 та ОР-65, що відрізняються за

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температурою кристалізації. Варто підкреслити, що саме цей стандарт вважається базовим нормативним документом на тосол. У подальші роки з'явилися технічні умови (ТУ) нових редакцій, деякі з яких були орієнтовані не стільки на вдосконалення вимог ГОСТу, скільки на пристосування до продукції з нижчими експлуатаційними показниками.

До антифризів відомих зарубіжних компаній (Mobil, Esso, Shell та ін.), виготовлених на основі імпортованих пакетів присадок, безпосередньо застосовувати вимоги ГОСТ некоректно. Проте аналіз властивостей показує, що вимоги до їхньої якості часто суттєво жорсткіші, ніж ті, що регламентовані ГОСТ 28084-89.

У вітчизняних автомобільних журналах неодноразово публікувалися результати незалежних експертиз антифризів, придбаних у роздрібній торгівлі. Основним критерієм оцінки в більшості випадків є відповідність показників якості вимогам ГОСТ 28084-89 «Рідина охолоджувальна». Якщо охолоджуюча рідина відповідає стандарту, її вважають придатною для використання у будь-яких автомобілях; у протилежному випадку — не рекомендують до застосування.

ГОСТ 28084-89 визначає якість охолоджуючих рідин за десятьма ключовими показниками, для кожного з яких встановлені нормативні значення та методи випробувань. Також документ містить вимоги щодо правил безпеки, транспортування, приймання, зберігання та терміну експлуатації (табл. 1.2).

За своєю структурою цей стандарт у значній мірі ґрунтується на американському нормативі ASTM D 3306, однак із певними відмінностями у нормативних значеннях і без проведення стендових випробувань.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 - Основні вимоги та норми, яким повинні відповідати охолоджуючі рідини

Показник	Норма для рідини		
	ОР-К	ОР-65	ОР-40
Зовнішній вигляд	Прозора однорідна кольорова рідина без механічних домішок		
Щільність, гр/см <sup>3</sup>	1,1 – 1,15	1,085 – 1,1	1,065 – 1,085
Температура початку кристалізації, °С	-35 (при відношенні 1:1 з дистильованою водою)	-65	-40
Вагова доля рідини, що випаровується, при нагріванні до 150 °С, %	5	40	50
Корозійна дія на метали, гр/доба.м <sup>2</sup> , не більше	0,1 (мідь, латунь, сталь, чавун, алюміній) 0,2 (привій)	0,1 (мідь, латунь, сталь, чавун, алюміній) 0,2 (привій)	0,1 (мідь, латунь, сталь, чавун, алюміній) 0,2 (привій)
Піноутворення, см <sup>3</sup> , не більше	30 (1:1)	30	30
Стійкість піни, с, не більше	5 (1:1)	3	3
Водневий показник, рН	7,5 – 11,0 (1:1)	7,5 – 11,0	7,5 – 11,0

Основним недоліком ГОСТ 28084-89 є відсутність вимог до стендових та експлуатаційних випробувань безпосередньо на автомобілях, що знижує його практичну ефективність як критерію оцінки довговічності охолоджуючих рідин.

Антифриз «ТОСОЛ-АМ» та охолоджуючі рідини «ТОСОЛ-А40М», «ТОСОЛ-А65М».

Охолоджуючі рідини типу ТОСОЛ-А40М та ТОСОЛ-А65М являють собою водні розчини етиленгліколю або його гліколевих і водно-гліколевих фракцій з масовою часткою води до 44 %. До складу таких рідин входять антикорозійні та протипінні присадки, що забезпечують підвищену експлуатаційну надійність.

У процесі виробництва ТОСОЛ-А40М та ТОСОЛ-А65М (ТУ 6-02-751-86) застосовується дистильована вода, що сприяє стабільності фізико-хімічних властивостей охолоджувальної рідини. Технічні характеристики цих продуктів наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики

Показник	Тосол-А40М	Тосол-А65М
Зовнішній вигляд	Прозора однорідна рідина, без механічних домішок, блакитного або блакитно-зеленого кольору.	
Щільність, гр/см <sup>3</sup>	1075	1087
Температура початку кристалізації, °С	- 40	- 65
Водневий показник, рН	7,5 – 11,0	7,5 – 11,0
Лужність, см <sup>3</sup> , не більше	10	10

ТОСОЛ-А40М та ТОСОЛ-А65М відзначаються високою ефективністю захисту від корозії як чорних, так і кольорових металів, а також сумісністю з

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

гумовими ущільнювальними матеріалами. Крім того, вони характеризуються доброю стійкістю до утворення піни.

Основною сферою застосування зазначених охолоджувальних рідин є системи охолодження двигунів внутрішнього згорання всіх типів. Окрім цього, вони можуть використовуватися як робочі рідини в теплообмінних установках, що експлуатуються при низьких і помірних температурах.

## 1.2 Методи визначення властивостей і якості охолоджувальних рідин.

При аналізі складу охолоджувальних рідин їх розглядають як багатокomпонентні системи, де визначення властивостей базується на вмісті окремих складових. Методи контролю умовно поділяють на вибіркові (дають інформацію про конкретний компонент) та інтегральні (характеризують групу речовин) [10].

Найбільш поширеними є оптичні методи, що ґрунтуються на зміні показників заломлення, поляризації, інтенсивності забарвлення та люмінесценції в залежності від концентрації речовини. Стандартний оптичний аналізатор складається з випромінювача, кювети з пробєю та приймача. Розрізняють монохроматичні та немонохроматичні аналізатори: перші працюють з випромінюванням певної довжини хвилі, другі – з широким спектром.

До іншої групи відносять електрохімічні методи, засновані на залежності електропровідності, напруги, потенціалу, опору чи діелектричної проникності розчину від його складу.

1 Визначення зовнішнього вигляду. Зразок охолоджувальної рідини розглядають у прохідному світлі в пробірці з безбарвного скла згідно ГОСТ 25336. Рідина повинна бути прозорою, однорідною, без механічних домішок. Колір визначають відповідно до нормативно-технічної документації (НТД) для конкретного типу рідини.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Визначення температури початку кристалізації. Суть методу полягає у поступовому охолодженні зразка і фіксації температури, при якій з'являється помутніння. Для аналізу застосовують прилад Баумана-Фрома або аналогічну установку. Вимірювання проводять двічі, результатом вважають середнє значення, допустиме відхилення – не більше 2 °С. Абсолютна похибка становить  $\pm 1,2$  °С при  $P = 0,95$ .

3 Визначення фракційного складу. Метод передбачає перегонку зразка і визначення масової частки рідини, що переганяється до 150 °С. Розрахунок проводиться за формулою [10]:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_p}, \quad (1.1).$$

де  $m_1$  - вага склянки, г;  $m_2$  - вага склянки з конденсатом, г;  $m_p$  - вага навішення рідини випробуваної, г.

4 Визначення корозійного впливу. У випробувальну рідину занурюють зразки металів певних розмірів і витримують їх при заданій температурі. Корозійні втрати визначають за зміною маси зразка за формулою:

$$Y = \frac{24 \cdot 10^6 (m_1 - m_2)}{336 \cdot 2 (l_a \div l_b \div a \cdot b)}, \quad (1.2).$$

де  $m_1$  – початкова вага зразка металу, г;  $m_2$  - вага зразка після випробувань, г;  $l$  - довжина, мм;  $a$  - ширина, мм;  $b$  - товщина зразка, мм;  $10^6$  – коефіцієнт, що враховує перерахунок площі поверхні зразка в 3 мм в метри квадратні.

Допустиме відхилення між паралельними результатами – до 50 % середнього значення.

5 Визначення ціноутворення. Через зразок при певній температурі пропускають повітря із заданою витратою. Вимірюють об'єм піни та час її руйнування. Розрахунок проводять за формулою:

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = V_{pp} - V_p, \quad (1.3).$$

де  $V_p$  – початковий обсяг рідини,  $V_{pp}$  - обсяг рідини, що спінилась.

Сумарна похибка –  $\pm 5 \text{ см}^3$  для об'єму та  $\pm 1,1$  с для стійкості.

6 Визначення рН. Водневий показник визначають потенціометрично за ГОСТ 22567.5 із застосуванням скляного та хлорсрібного електродів.

7 Визначення лужності. Методика базується на титруванні розчину соляною кислотою до рН 5,5. Обчислення здійснюють за формулою

$$V_L = \frac{V_1 n}{B/100V}, \quad (1.4).$$

де  $n$  - обсяг рідини охолоджуючої ОР-К,  $\text{см}^3$ ;  $B/100$  - частка об'ємна титруємої рідини охолоджуючої (для ОР-65:  $B=65$ ; для ОР-К:  $B=100$ , ОР-40:  $B=56$ );  $V$ - об'єм рідини охолоджуючої, для подальшого розведення (до  $100 \text{ см}^3$ ) дистильованою водою і титрування, для ОР-К:  $V=10 \text{ см}^3$ , ОР-40 і ОР-65  $V=20 \text{ см}^3$ ,  $V_1$ - обсяг розчину кислоти соляної концентрації  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , що витрачається на титрування розчину випробуваного,  $\text{см}^3$ ;

Допустиме розходження між паралельними результатами – до  $0,5 \text{ см}^3$ .

8 Визначення стійкості у жорсткій воді. Зразок ОР-К змішують із жорсткою водою та витримують 24 години при різних температурах. Позитивним результатом є відсутність осаду або розшарування.

9 Метод лакмусового папірця. Дає орієнтовну оцінку рН за зміною кольору індикатора. Значення 6–9 вважаються нормою.

10 Визначення набухання гуми. Проводиться за ГОСТ 9.030 гідростатичним методом на зразках гуми при температурі  $100 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  протягом 70 годин.

					КВРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, комплекс наведених методів дозволяє всебічно оцінити експлуатаційні властивості охолоджувальних рідин, зокрема їх хімічну стабільність, захисні характеристики та сумісність з конструкційними матеріалами.

### 1.3 Вплив факторів на якість охолоджуючих рідин та технічний стан ДВЗ.

Серед основних методів оцінки ресурсу охолоджувальних рідин виділяють [11]:

1) Вимірювання рН. Дозволяє визначити кислотність і ступінь старіння рідини.

2) Контроль питомої електропровідності. Є інформативним методом діагностики, що характеризується високою чутливістю та невеликою похибкою.

3) Визначення концентрації інгібіторів. Проводиться хімічними методами для оцінки залишкового захисту.

4) Візуальний аналіз. Наявність осаду, помутніння, зміну кольору можна вважати ознакою непридатності рідини.

Сучасні дослідження доводять, що контроль питомої електропровідності є одним із найперспективніших методів оцінки ресурсу антифризів, оскільки він дозволяє об'єктивно відслідковувати зміни складу рідини в процесі експлуатації.

У двигунах внутрішнього згорання близько 30 % енергії палива поглинається системою охолодження, стінками циліндрів і моторним маслом. При справній роботі системи охолодження підтримується оптимальний тепловий режим 85–90 °С, що забезпечує нормальну роботу двигуна [12].

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час експлуатації можуть виникати несправності радіатора, водяного насоса, вентилятора, термостата, датчиків температури або порушення герметичності з'єднувальних шлангів, що призводить до погіршення технічного стану двигуна та автомобіля в цілому.

Недостатнє охолодження або перегрів двигуна.

Перегрівання двигуна зменшує наповнення циліндрів, сприяє детонації, підвищує угар мастила, спричинює спрацювання циліндрів і можливе заклинювання поршнів.

Переохолодження знижує економічність двигуна, призводить до обсмолювання системи вентиляції та підвищує зношення деталей через зміну властивостей мастильних матеріалів. Воно також сприяє збільшенню кількості сажі у відпрацьованих газах. Підтримання температури охолоджувальної рідини на рівні 80–90 °С зменшує викид сажі в 2–2,4 рази порівняно з температурою +40 °С (рис. 1.3).

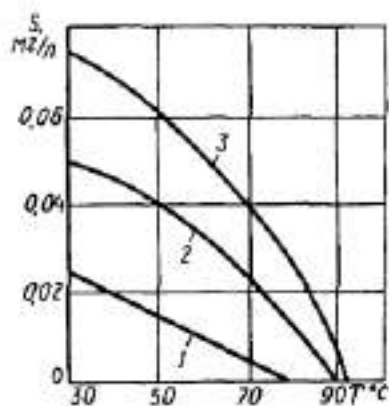


Рисунок 1.3 – Вплив температурного режиму системи охолодження двигуна на викид сажі з відпрацьованими газами:

1 – холостий хід ( $n = 1000$  об./хв); 2 – при розгоні без навантаження з холостим ходом від 1000 до 2500 об./хв і пробігу 35000 км; 3 – те саме, при пробігу 135000 км

Контроль системи охолодження включає:

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- вимір усталеної температури охолоджуваних поверхонь;
- перевірку продуктивності водяного насоса та теплообмінника;
- герметичність системи;
- перевірку натягу паса приводу водяного насоса та вентилятора;
- справність термостата та інших деталей.

Температура охолоджувальної рідини у відкритих системах підтримується 80–85 °С, у закритих – 100–105 °С.

Підтікання рідини, яке є причиною близько 30 % несправностей, усувають підтяганням хомутів, заміною шлангів або сальників водяного насоса. Тимчасове заглушування трубок чи використання герметика дозволяє продовжити експлуатацію без зниження ефективності системи.

Недостатнє охолодження часто пов'язане з неповним відкриттям термостата або засміченням радіатора (рис. 1.4). Антифризи низької якості можуть спричиняти випадання силікатних осадів, що погіршує теплообмін і призводить до перегріву, підвищеної витрати палива та зменшення потужності двигуна. Постійний перегрів зменшує ресурс двигуна в 2–3 рази [12].

Кавітаційна ерозія та корозія.

Деталі системи охолодження під час експлуатації піддаються спільному впливу кавітації та електрохімічної корозії [8]. Використання антифризів низької якості посилює ці процеси.

Фактори, що сприяють посиленню кавітаційно-корозійних руйнувань [13]:

- руйнування окисних шарів і видалення продуктів корозії;
- прискорене анодне розчинення;
- підвищена електрохімічна гетерогенність металу;
- локальні деформації металу та концентрація енергії кавітаційних бульбашок у корозійних западинах.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а



б

Рисунок 1.4 – Радіатор засмічений опадами (а) і чистий радіатор (б)

Особливості кавітаційно-корозійного впливу: високі температури, інтенсивні вібрації та швидкість циркуляції рідини. Результуюче руйнування може перевищувати сумарний ефект окремих факторів (рис. 1.5, 1.6).

Дослідження показують [14], що підвищення температури рідини зміщує максимум ерозії у бік більших теплових навантажень (рис. 1.7, 1.8).

Швидкість корозійних руйнувань збільшується зі зростанням швидкості циркуляції охолоджувальної рідини та інтенсивності вібрацій, що спричинює зняття окисних плівок.

Інтенсивність корозії чорних металів зростає в кислому середовищі (зниження рН), а алюмінієвих сплавів – при підвищенні рН [14].

Загальна схема впливу факторів на технічний стан двигуна та якість охолоджуючих рідин наведена на рисунку 1.9. Як зазначалось вище, основні фактори впливу наступні:

1) Тепловий режим системи охолодження:

- Перегрів - детонація, нагар, угар мастила, заклинювання поршнів.

- Переохолодження - зниження економічності, обсмолювання системи

вентиляції, підвищене зношення.



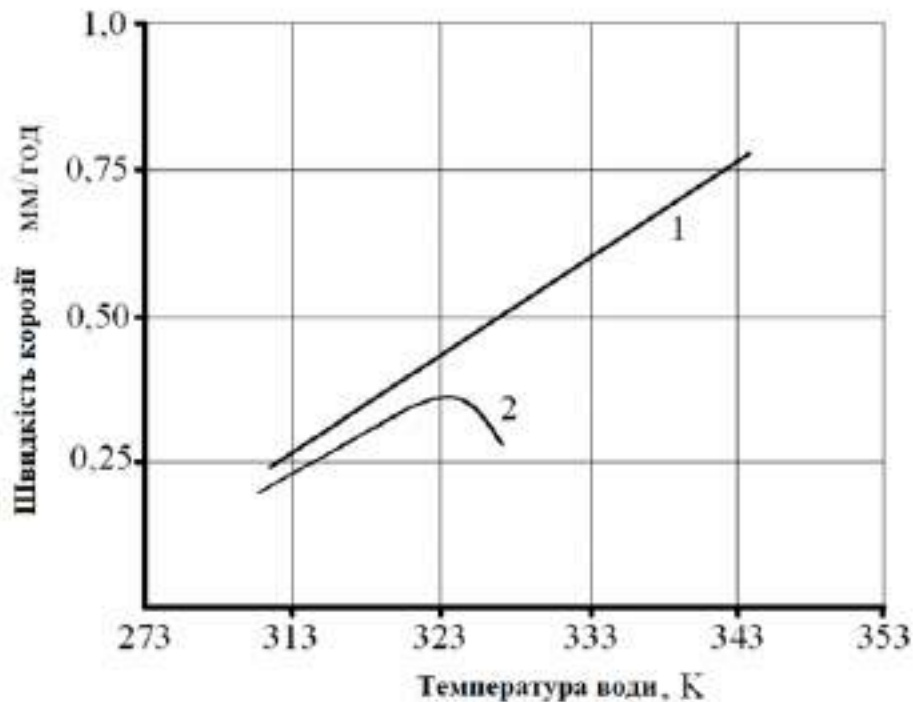


Рисунок 1.8 – Залежність швидкості корозії заліза від температури води:

1 - замкнута система; 2 - відкрита система

2) Якість охолоджуючої рідини (антифризу):

- Низька якість - осад силікатів, корозія, погіршення теплообміну.
- Висока якість - антикорозійний захист, стабільний тепловий режим.

3) Механічні фактори:

- Засмічення радіатора - зменшення теплообміну.
- Несправності термостата, насоса, вентилятора - порушення циркуляції.

4) Кавітаційні та корозійні процеси:

- Кавітація - ерозія металевих поверхонь.
- Електрохімічна корозія - руйнування металу, створення западин.
- Спільний ефект - кавітаційно-корозійне руйнування (підсилюють один одного).

## Аналіз факторів, що впливають на зміну технічного стану двигуна і якість охолоджуючих рідин



Рисунок 1.9 – Загальна схема аналізу факторів.

Взаємозв'язки:

- Поганий тепловий режим + низька якість рідини - підвищення кавітаційно-корозійних руйнувань.
- Зростання швидкості циркуляції рідини та вібрацій - збільшення зняття окисних плівок - прискорена корозія.
- Осад з рідини - погіршення теплообміну - перегрів - посилення корозії

Наслідки для двигуна:

- Підвищена витрата палива.
- Зниження потужності.
- Скорочення ресурсу двигуна 2–3 рази.
- Погіршення роботи інших систем.

#### 1.4 Ресурс охолоджувальних рідин.

Охолоджувальні рідини (антифризи) є невід’ємним елементом системи охолодження автомобільних та автобусних двигунів. Їх основне призначення полягає у відведенні надлишкового тепла від циліндро-поршневої групи та інших деталей, забезпеченні оптимального теплового режиму двигуна, а також захисті від корозії, кавітації та утворення накипу. Якість і стан охолоджувальної рідини безпосередньо впливають на надійність роботи двигуна, економічність витрати палива та загальний ресурс транспортного засобу.

Під ресурсом охолоджувальної рідини розуміють її здатність зберігати необхідні експлуатаційні властивості впродовж певного періоду роботи двигуна до моменту, коли подальша експлуатація стає небезпечною або економічно недоцільною. У більшості випадків виробники автомобілів і хімічних рідин регламентують інтервали заміни антифризів у межах 2–5 років або 40–100 тис. км пробігу. Проте фактичний ресурс може суттєво відрізнитися залежно від умов експлуатації, якості охолоджувальної рідини, технічного стану системи охолодження та індивідуальних особливостей двигуна.

Ресурс охолоджувальних рідин залежить від комплексу хімічних, фізико-хімічних і експлуатаційних факторів, серед яких найважливішими є [15]:

##### 1. Хімічний склад антифризу.

Сучасні охолоджувальні рідини виготовляються на основі етиленгліколю або пропіленгліколю з додаванням комплексу присадок. Від типу присадок (силікатні, карбоксилатні, гібридні, фосфатні тощо) залежить тривалість захисної дії рідини. Наприклад, традиційні силікатні антифризи мають строк служби до 2–3 років, тоді як карбоксилатні та лобридні (LOBRID) здатні ефективно працювати 5–7 років.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Температурний режим роботи двигуна.

Тривала експлуатація при підвищених температурах спричиняє інтенсивний розклад інгібіторів корозії, прискорює утворення органічних кислот та погіршує захисні властивості рідини. Перегрів системи охолодження значно скорочує ресурс антифризу.

## 3. Корозійні процеси.

Унаслідок контакту охолоджувальної рідини з металами системи (чавун, алюміній, сталь, мідь, латунь) відбуваються електрохімічні реакції, що призводять до утворення продуктів зношування. Їх накопичення змінює електропровідність та кислотність рідини, знижуючи її придатність.

## 4. Зовнішні умови експлуатації.

Висока вологість, пил, різкі перепади температури, тривалі простой автомобіля негативно впливають на стабільність властивостей антифризу. В умовах міського циклу з частими зупинками й запуском двигуна навантаження на систему охолодження зростає, що також зменшує ресурс рідини.

## 5. Технічний стан системи охолодження.

Наявність відкладень, корозійних пошкоджень або несправностей у системі (негерметичність, несправний термостат, зношений насос) викликають прискорене старіння антифризу. Особливо небезпечно потрапляння в систему сторонніх домішок (масла, пального, води).

## 6. Якість виготовлення та підробки.

Значну небезпеку становить використання низькоякісних або контрафактних рідин. Такі антифризи часто містять недостатню кількість інгібіторів, мають підвищений рівень хлоридів і сульфатів, що різко скорочує їхній ресурс і може призвести до серйозних ушкоджень двигуна.

Процеси старіння охолоджувальних рідин. У процесі тривалої експлуатації антифриз зазнає низки змін:

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Зменшення концентрації інгібіторів корозії. Вони поступово витрачаються на нейтралізацію продуктів окиснення металів.

- Зміна кислотності (рН). Зі зростанням кількості органічних кислот рідина втрачає стабільність і починає активно руйнувати метали та ущільнювальні матеріали.

- Зростання електропровідності. Це свідчить про накопичення солей, продуктів зношування та корозії. Надмірне збільшення електропровідності призводить до підвищення електрохімічної активності, що стимулює кавітаційні процеси.

- Утворення осадів та відкладень. Вони зменшують тепловідвід, погіршують циркуляцію рідини та сприяють локальному перегріву.

Ці процеси визначають момент, коли охолоджувальна рідина втрачає експлуатаційну придатність, навіть якщо вона візуально не змінила колір чи прозорість.

Традиційно заміну антифризу рекомендується проводити згідно з регламентом виробника автомобіля. Проте дослідження свідчать, що у 30–40% випадків рідина зберігає працездатність і після вказаного терміну, а близько 20% зразків потребують заміни раніше. Це обумовлює необхідність індивідуальної діагностики.

Ресурс охолоджувальних рідин визначається комплексом хімічних і експлуатаційних факторів, серед яких основними є склад і якість антифризу, температурний режим двигуна, наявність продуктів корозії та технічний стан системи охолодження. Зміни фізико-хімічних параметрів (рН, електропровідність, концентрація присадок) дозволяють оцінити фактичний стан рідини та прогнозувати залишковий ресурс. Індивідуальна діагностика дає змогу уникнути передчасної заміни або, навпаки, запобігти експлуатації непридатної рідини, що підвищує ефективність і надійність роботи автомобіля.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 МЕТОД КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ РІДИНИ З ВРАХУВАННЯМ ЇЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ

2.1 Аналіз методів визначення електропровідності охолоджувальних рідин.

Електропровідність – це фізична величина, обернена до електричного опору, яка залежить від сумарної концентрації катіонів та аніонів, їх валентності та рухливості, тобто швидкості (м/с), з якою вони переміщуються до електродів при градієнті потенціалу 1 В/м [16].

Провідність рідини визначається її молекулярною структурою. Для неполярних рідин вона зумовлюється головним чином наявністю дисоційованих домішок, тоді як у полярних рідинах суттєвий внесок роблять як сторонні домішки, так і процес дисоціації молекул самої рідини. Електричний струм у рідкому середовищі може переноситися як іонами, так і зарядженими колоїдними частинками.

Серед відомих підходів для визначення електропровідності найчастіше застосовують методику вимірювання питомого або об'ємного опору. Вимірювання об'ємного опору виконують трьома основними способами [17]:

1) за допомогою змінної напруги – використовують спеціальні мости, які дозволяють визначити тангенс кута діелектричних втрат, що характеризує співвідношення між активною та реактивною складовими струму;

2) при постійній напрузі – реалізується за допомогою серійних приладів для вимірювання малих струмів або великих опорів; у цьому випадку електропровідність обчислюють відповідно до закону Ома;

3) методом розряду конденсатора – базується на тому, що конденсатор, заповнений вуглеводневою рідиною, спочатку заряджають, а потім спостерігають зменшення заряду, яке відбувається за експоненціальним законом.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теоретичні основи методів вимірювання електропровідності.

Молекулу води можна уявити як тетраедр, у вершинах якого зосереджені електричні заряди. Два з них займають атоми Гідрогену з позитивним зарядом, інші два – вільні електронні пари атома Оксигену. Саме ці електронні пари беруть участь у формуванні водневих зв'язків з сусідніми молекулами. Унаслідок цього міжмолекулярні зв'язки у воді мають переважно електростатичний характер, а сама молекула виступає диполем, рисунок 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема взаємодії.

Потрапляння іонів у воду суттєво посилює електростатичну взаємодію: вона стає значно сильнішою, ніж зв'язки між самими молекулами. У результаті структура розчинника змінюється – молекули води, розташовані поблизу іонів, орієнтуються у певному напрямку. Саме тому вода з розчиненими домішками набуває електрофізичних властивостей, параметри яких залежать від концентрації іонів у розчині [11].

Визначення питомої електропровідності ґрунтується на подачі напруги на вимірювальну комірку, заповнену досліджуваною рідиною [17]. На точність результатів впливають як умови та тривалість вимірювань, так і конструкція вимірювального осередку. Для підвищення достовірності застосовують дво- або тризатискні комірки з охоронним електродом, які усувають крайовий ефект, що виникає поблизу меж вимірювальної камери. Якщо охоронний електрод занурений у рідину не менше ніж на 2 мм, вдається зменшити вплив об'єму розчину на точність вимірювання.

У залежності від методу, під дією прикладеного електричного поля в рідині можуть відбуватися побічні процеси – поляризація або електроочистка. Остання проявляється переважно при використанні постійної напруги та у випадку вимірювань методом розряду конденсатора [17].

При використанні змінної напруги результати вимірювань істотно залежать від поляризаційних струмів, що зумовлені орієнтацією дипольних молекул та зберігаються протягом усього процесу вимірювання. У випадку застосування постійної напруги поляризаційні явища проявляються лише в момент подачі або відключення струму, тому їх вплив на точність вимірювань практично не враховується. Вимірювання при постійному струмі виконуються за допомогою серійних приладів, призначених для фіксації малих струмів або високих опорів.

Аналіз існуючих методів визначення питомої електропровідності вуглеводневих рідин свідчить про необхідність дотримання спеціальних умов, що мінімізують вплив побічних ефектів. Найбільш ефективно цього можна досягти при використанні постійної напруги, що робить даний метод найбільш доцільним. Саме тому він набув широкого поширення як у вітчизняних, так і в зарубіжних дослідженнях.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Метод визначення електропровідності вимірюванням об'ємного опору при постійній напрузі.

Визначення питомої електропровідності за допомогою вимірювання об'ємного опору при постійному струмі здійснюється за допомогою серійних приладів, призначених для фіксації малих струмів. У цьому випадку розрахунок питомої електропровідності проводять на основі закону Ома:

$$\sigma = k \cdot \frac{I}{U}, \quad (2.1)$$

де  $U$  – напруга на вході (В);  $I$  – сила струму, що пропускають через комірку з рідиною (А);  $R$  – опір вуглеводневої рідини (Ом);  $k$  – стала комірки вимірювальної (1/м).

Цей метод дозволяє визначати практично будь-які значення електропровідності вуглеводневих рідин. Проте при проведенні вимірювань необхідно враховувати явище електроочистки, інтенсивність якої залежить від прикладеної напруги, часу її дії, сили струму та відстані між електродами. Для мінімізації впливу цього ефекту слід дотримуватися умови [17]:

$$l \cdot \mu \cdot \tau < 1, \quad (2.2)$$

де  $\mu$  – рухливість заряджених частинок у рідині,  $\text{м}^2/(\text{с} \cdot \text{В})$ ;  $l$  – відстань між робочими електродами (м);  $\tau$  – тривалість дії прикладеної напруги (с).

Згідно з цією залежністю, зменшення напруги та часу її впливу дозволяє знизити рівень електроочистки. Ефективним є також збільшення відстані між електродами, однак у цьому випадку виникає потреба у більших об'ємах рідини та використанні апаратури з підвищеною чутливістю до дуже малих струмів або значних опорів.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У практичних вимірюваннях, як у зарубіжних, так і у вітчизняних дослідженнях [15, 17, 18], вплив електроочистки зазвичай усувають шляхом фіксації значення опору або струму одразу після подачі напруги на комірку. При цьому враховується максимальне відхилення вимірювального приладу, тоді як початковий імпульсний кидок стрілки не береться до уваги.

Зовнішній вигляд комбінованого цифрового приладу «Щ300» та вимірювальної комірки наведено на рис. 2.2 і 2.3.

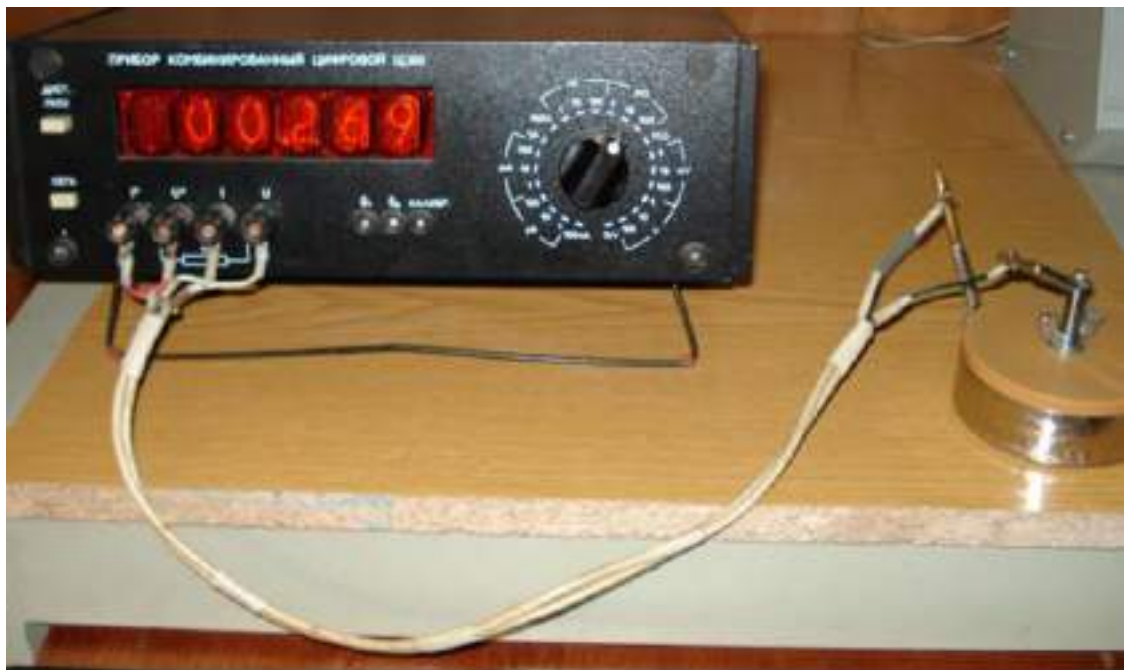


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд приладу «Щ300»

На передній панелі комбінованого цифрового вимірювача Щ300 розташовані такі елементи:

1. Кнопка вмикання живлення «МЕРЕЖА»;
2. Клеми для підключення вимірювального кабелю;
3. Регулювальні гвинти «01, 02, КАЛІБР»;
4. Шкала приладу (дійсні значення можуть відрізнятися від зазначених меж);
5. Перемикач для вибору шкали та діапазону вимірювань;

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Цифровий дисплей для відображення результатів;

7. Кнопка «ДИСТ. ПУСК».

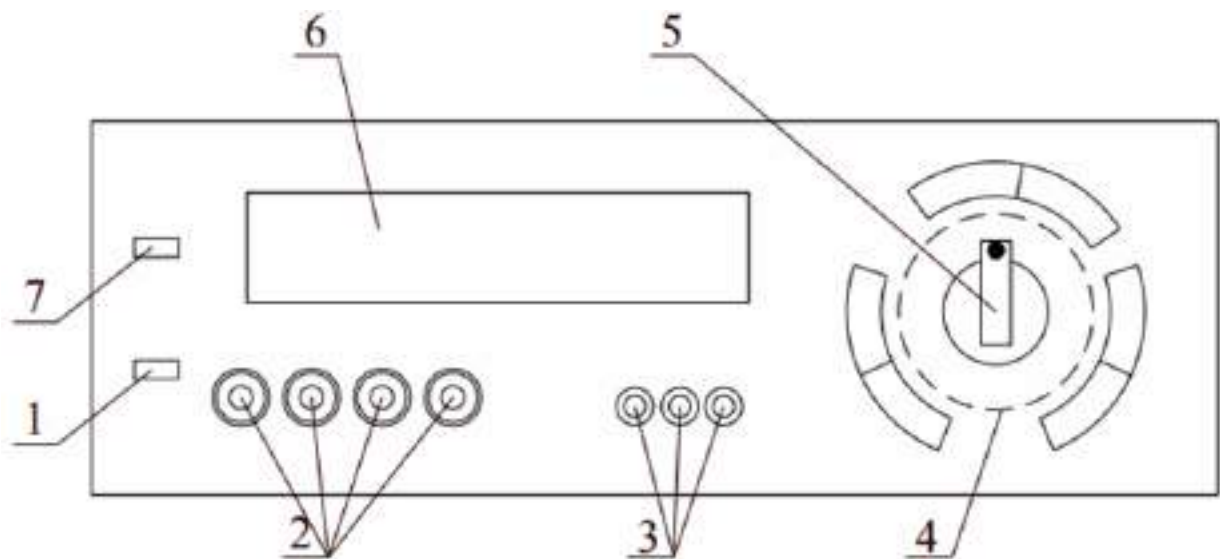


Рисунок 2.3 – Органи керування приладу «Щ300»

Інтегруючий високочутливий прилад Щ300 призначений для вимірювання постійного струму, напруги та опору. Діапазон вимірювань опору охоплює значення від 0,01 Ом до 1 ГОм.

Порядок підготовки та проведення вимірювань:

1. Перед підключенням до електромережі 220 В прилад необхідно заземлити через спеціальну клему на задній панелі.

2. Далі під'єднують вимірювальний кабель до клем (п.2).

3. Натисканням кнопки «МЕРЕЖА» (п.1) прилад вмикають і залишають прогріватися протягом 1 години.

4. Після прогріву перемикачем (п.5) встановлюють необхідний діапазон вимірювань.

Тепер прилад готовий до роботи.

Проведення вимірювання:

1. Пробу охолоджуючої рідини ретельно перемішують і наливають у вимірювальну комірку до контрольної мітки.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2. Осередок закривають кришкою, а до електродів під'єднують вимірювальний кабель.

3. Через 1 хвилину після початку подачі напруги знімають показання питомого опору з електронного табло.

Розрахунок параметрів.

1) Питомий об'ємний електричний опір визначають за формулою:

$$\rho_V = 0,113C_0R_V \cdot 10^{12}, \quad (2.3)$$

де  $R$  – виміряне значення опору, Ом;  $C$  – ємність комірки при відповідній температурі, Ф.

2) Електропровідність зразка розраховують як величину, обернену до опору:

$$\chi = \frac{1}{\rho_V}. \quad (2.4)$$

де  $\rho$  – питомий об'ємний опір рідини, Ом·м.

Особливості вимірювання. Отримання точних значень електропровідності може ускладнюватися підготовкою проб. На результати істотно впливають:

- чистота рідини (наявність механічних домішок спотворює дані);
- конструкція вимірювальної комірки;
- похибка самого методу.

Тому проби охолоджувальної рідини зберігають у герметично закритій тарі, щоб уникнути забруднення. Якщо ж рідина відбирається безпосередньо з системи охолодження автомобіля, попередня підготовка зразка зазвичай не потрібна.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3 Засоби діагностики антифризів за електрофізичними показниками.

Приладова частина пристрою, призначеного для діагностики антифризів, що використовуються в автомобільних системах охолодження, виконує функції вимірювання, контролю та реєстрації їх електропровідності. Це дозволяє здійснювати моніторинг стану охолоджувальної рідини та своєчасно визначати необхідність її заміни залежно від фактичних характеристик (рис. 2.4).

Конструктивно прилад являє собою електронний блок, на передній панелі якого розміщені: клавіатура для керування режимами роботи, рідкокристалічний графічний дисплей для відображення інформації, роз'єми для підключення вимірювальних осередків, а також світлодіодні індикатори, що сигналізують про поточний режим роботи [19].

Пристрій підтримує такі режими функціонування:

- запис результатів на карту пам'яті;
- відображення вимірювань у цифровому форматі на дисплеї;
- налаштування тривалості запису даних на карту пам'яті.
- відтворення збережених даних у графічному вигляді на дисплеї з можливістю одночасного порівняння поточних та номінальних значень;
- відображення архівованих результатів у цифровій формі;

Принципова електрична схема (рис. 2.5) та алгоритм її функціонування спроектовані таким чином, щоб:

- реалізувати удосконалений інверсний метод вимірювання електропровідності рідин.
- забезпечити взаємозамінність із описаною вище приладовою частиною за блоками обробки, перетворення та індикації сигналів;

Разом із цим у пристрої передбачена можливість роботи за традиційною методикою, яка ґрунтується на ефекті падіння напруги при протіканні електричного струму через досліджувану рідину. Для цього в

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

конструкції передбачено дві пари контактів для підключення еталонної та досліджуваної вимірювальних комірок. У такому режимі охолоджувальна рідина поводить себе подібно до електроліту, поступово заряджаючись до стану насичення під дією постійного струму.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд приладу для визначення електропровідності антифризів

Для здійснення вимірювань параметрів охолоджувальної рідини безпосередньо в автомобілі важливо мінімізувати вплив на досліджуване середовище, щоб уникнути накопичення заряду, який може знижувати ресурс елементів системи охолодження та негативно впливати на довговічність автомобіля загалом.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

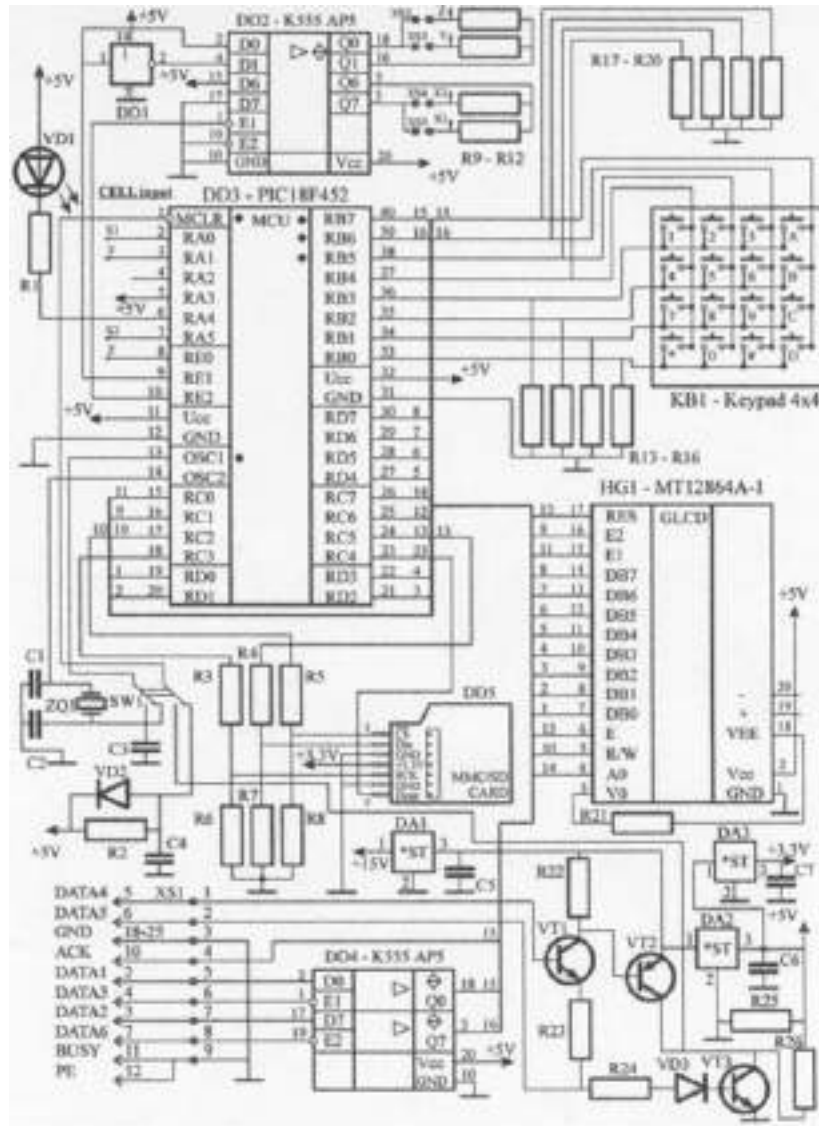


Рисунок 2.5 – Принципова електрична схема пристрою для контролю електропровідності рідин.

З цією метою в приладовій частині реалізовано удосконалений метод вимірювання, що базується на симетричній зміні полярності струму при короткочасному імпульсному впливі та подальшому усередненні результатів. Його принцип дії такий:

- на початковому етапі пристрій перебуває у високоімпедансному режимі, не впливаючи на рідину;
- далі на дуже короткий час подається струм, і фіксується падіння напруги на контактах вимірювальної комірки;

- після завершення аналого-цифрового перетворення прилад знову відключається, повертаючись у високоімпедансний стан;

- для компенсації заряду, який отримала рідина, змінюється полярність на електродах і пропускається імпульс струму у зворотному напрямку, що супроводжується повторним вимірюванням напруги;

- отримані два значення падіння напруги (у прямому та зворотному напрямках) усереднюються, що дозволяє визначити більш точне миттєве значення провідності.

Таким чином, на відміну від класичного методу вимірювань (наприклад, на приладі Щ300), цей спосіб практично не змінює властивостей охолоджувальної рідини. Він придатний для діагностики в процесі експлуатації автомобіля та дає можливість своєчасно виявити потребу у заміні робочої рідини, коли її характеристики наближаються до критичних значень. Це підвищує надійність і довговічність деталей системи охолодження двигуна та зменшує ризик відмов.

Отримані результати відображаються на графічному рідкокристалічному дисплеї.

Пристрій оснащений функцією запису результатів вимірювань на карту пам'яті SD/MMC з можливістю подальшого відтворення збережених даних на дисплеї як у цифровому, так і у графічному вигляді. За потреби ці дані можна перенести на комп'ютер для детального аналізу.

Серед переваг розробленого приладу, окрім високої точності вимірювань, варто відзначити можливість реєстрації параметрів рідини не лише у статичному режимі, а й відстеження їх змін у часі. Це дає змогу оцінювати динаміку характеристик охолоджувальної рідини, що є важливим для визначення її експлуатаційних властивостей [19].

Основою апаратної частини пристрою є мікроконтролер середнього класу серії PIC18F452, який має достатню кількість каналів аналого-

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цифрового перетворення. Вбудований АЦП забезпечує розрядність 10 біт, що дозволяє отримувати цифрові значення в діапазоні від 0 до 1023.

У даному дослідженні для визначення електропровідності охолоджувальних рідин застосовувався вимірювальний осередок двозатискного типу, принципова схема якого наведена на рис. 2.6.

Відповідно до вимог ГОСТ 6581-75 конструкція осередку забезпечує зручність її розбирання та очищення. При цьому взаємне положення електродів залишається незмінним, що гарантує відтворюваність власної ємності з похибкою не більше  $\pm 3\%$ .

Матеріали, використані у виготовленні осередку, зберігають стабільність своїх властивостей при робочих температурах і не спричиняють зміни відстані між електродами. Робочі поверхні електродів виготовлялися з корозійностійкої нержавіючої сталі, яка не чинить каталітичної дії на процеси окиснення охолоджувальної рідини. Шорсткість поверхонь відповідає нормам ГОСТ 2789-73 і не перевищує 0,20 мкм при базовій довжині 0,25 мм. Ключовим параметром конструкції є відстань між вимірювальним та високовольтним електродами, яка повинна становити  $(2 \pm 0,1)$  мм.

Як електроізоляційний матеріал використано фторопласт, що не адсорбує робочі рідини й миючі засоби, тому не впливає на точність результатів вимірювань.

Електроди обладнані контактними затискачами, які гарантують надійне підключення до електричної схеми. Зв'язок осередку з вимірювальним приладом здійснюється екранованим кабелем, при цьому екран високовольтної лінії під'єднується до нульової клеми приладу.

Перед початком вимірювань осередок необхідно розібрати, а його деталі очистити розчинником. Для цього допускається використання технічно чистого петролейного ефіру або толуолу, які зберігають у скляному посуді, захищеному від прямого сонячного світла.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

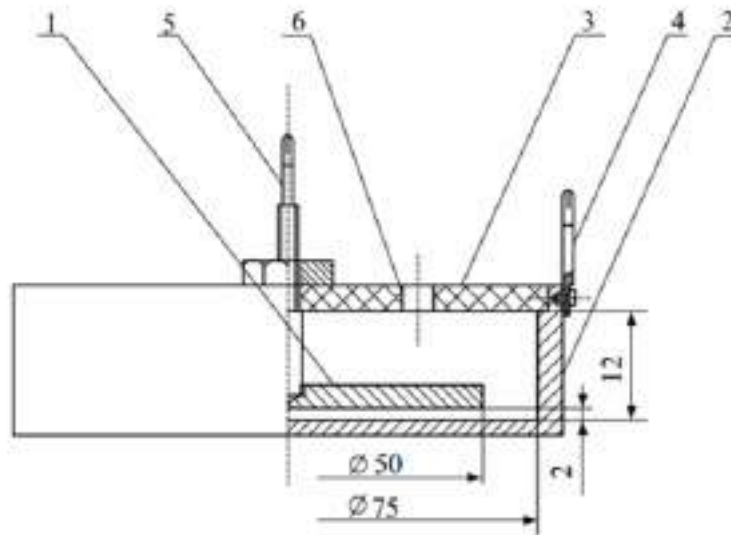


Рисунок 2.6 – Схема плоского вимірювального осередку двох затискного типу:

1 - вимірювальний електрод (внутрішній); 2 - високовольтний електрод (зовнішній); 3 - прокладка з твердого ізоляційного матеріалу з високим електричним опором; 4 - затискач вимірювального електрода для з'єднання з електричною схемою; 5 - затискач високовольтного електрода для з'єднання з електричною схемою; 6 - отвір для термометра

Після промивання деталей вимірювального осередку розчинниками їх додатково ополіскують ацетоном. Для повного видалення залишків ацетону та вологи елементи висушують у термошафі при температурі 105–110 °С протягом 1–1,5 години. Якщо після охолодження осередок не використовується негайно, його зберігають в ексикаторі з сухим повітрям.

Перед монтажем осередку всі деталі доводять до температури, що перевищує кімнатну на 5–7 °С. Монтаж слід виконувати, уникаючи дотику відкритими руками до робочих поверхонь електродів, тому операцію проводять у чистих бавовняних або капронових рукавичках.

Після складання осередок під'єднують до приладу й перевіряють чистоту прокладок, вимірюючи опір порожньої комірки. Цей показник

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

повинен щонайменше на один–два порядки перевищувати опір осередку, заповненого досліджуваною рідиною.

Очищену та правильно зібрану комірку заповнюють приблизно 30 см<sup>3</sup> попередньо перемішаної охолоджувальної рідини, після чого підключають до виміральної схеми. Вимірювання проводять при температурі 20–25 °С.

Еталонні рідини для калібрування повинні бути хімічно інертними, легко очищатися та характеризуватися стабільною електропровідністю. Крім того, їхні властивості мають бути оптимальними для роботи при кімнатній температурі. У даній роботі як еталон використовували дистильовану воду та розчин КСІ.

Відбір проб охолоджувальної рідини здійснювали з розширювального бачка системи охолодження двигуна. Об'єм проби мав становити не менше 100 мл. Для цього використовували спеціальний пристрій для відбору рідин (рис. 2.7), вводячи його через заливну горловину. Щоб уникнути забруднення, перед відбором проби відбірну трубку промивали дистильованою водою шляхом кількох попередніх прокачувань. Проби збирали у сухий чистий посуд із герметичною кришкою.



Рисунок 2.7 – Пристрій для відбору проб охолоджуючої рідини

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після заповнення посудини об'ємом 0,1 л кришку знімають, промивають і встановлюють на наступну ємність.

Під час відбору проби обов'язково зазначають:

- дату проведення відбору, марку автомобіля та тип охолоджувальної рідини;
- пробіг охолоджувальної рідини в кілометрах або кількість витраченого пального в літрах;
- загальний пробіг автомобіля чи напрацювання двигуна.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3 РЕЗУЛЬТАТИ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АНТИФРИЗУ НА ЙОГО ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ

### 3.1 Дослідні антифризи G11 та G12.

Антифриз — це спеціальна охолоджуюча рідина, призначена для відведення тепла від двигуна внутрішнього згорання, запобігання перегріву та захисту від замерзання у холодну пору року. Крім базового складу (вода + етиленгліколь / пропіленгліколь), у його формулу входять пакети присадок, що захищають систему від корозії, кавітації, утворення накипу та піни.

У світі найбільш поширена класифікація VW TL 774, яка поділяє антифризи на групи G11, G12, G12+, G12++, G13. Порівняльна характеристика антифризів G11 і G12 наведена в таблиці 3.1.

#### Антифриз G11:

- Клас за VW: TL 774-C
- Основа: етиленгліколь
- Тип присадок: силікатні (мінеральні)
- Колір: переважно зелений або синій (залежно від виробника)
- Призначення: для автомобілів з двигунами старих конструкцій (приблизно до кінця 1990-х років).

#### Характеристики G11:

- Створює на поверхні деталей товсту силікатну захисну плівку (~0,5–1 мкм).
- Добре захищає від корозії чавуну, сталі та міді.
- Має середній термін служби — до 2 років або 50–70 тис. км пробігу.
- Плівка, яку він утворює, знижує теплопровідність системи, що може погіршувати відведення тепла.
- При тривалій експлуатації можливе випадання осаду.

#### Переваги G11:

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Дешева вартість.
- Простота складу.
- Надійний захист від корозії в старих системах охолодження (чавун, мідь).

#### Недоліки G11:

- Невеликий термін служби.
- Товста силікатна плівка погіршує тепловідвід.
- Не підходить для сучасних алюмінієвих двигунів і радіаторів.
- Чутливий до змішування з іншими типами антифризів.

#### Антифриз G12:

- Клас за VW: TL 774-D / TL 774-F
- Основа: етиленгліколь
- Тип присадок: карбоксилатні (органічні)
- Колір: червоний, рожевий або фіолетовий (залежно від виробника)
- Призначення: для сучасних двигунів з алюмінієвими блоками і радіаторами (з 1996–1997 рр. і дотепер).

#### Характеристики G12:

- Не утворює суцільної плівки, а працює точково – захисний шар формується лише в місцях корозії.
- Має високі теплофізичні властивості – краще відводить тепло, ніж G11.
- Значно довший термін служби — до 5 років або 200–250 тис. км пробігу.
- Стійкіший до кавітації та утворення відкладень.

#### Переваги G12:

- Висока ефективність охолодження.
- Тривалий ресурс експлуатації.
- Сумісність із сучасними матеріалами (алюміній, сплави кольорових металів).

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Зменшена кількість відкладень у системі охолодження.

Недоліки G12:

- Дорожчий у виробництві.

- Не рекомендується заливати у старі двигуни з мідними та латунними радіаторами.

- При потраплянні бруду або при змішуванні з G11 може втратити властивості.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика антифризів [19].

Параметр	G11 (силікатний)	G12 (карбоксилатний)
Основа	Етиленгліколь	Етиленгліколь
Тип присадок	Силікатні, мінеральні	Органічні, карбоксилатні
Колір	Зелений, синій	Червоний, рожевий, фіолетовий
Захисна плівка	Суцільна, товста	Локальна, тонка
Теплопровідність	Нижча	Вища
Термін служби	2 роки / 50–70 тис. км	5 років / 200–250 тис. км
Сумісність	Старі двигуни (чавун, мідь)	Сучасні двигуни (алюміній)
Вартість	Низька	Вища

G11 підходить лише для автомобілів старих конструкцій, де важливий захист від корозії, але не критичне відведення тепла.

G12 значно ефективніший для сучасних двигунів, має кращі теплофізичні властивості, довший термін служби та надійніше захищає систему від кавітації.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Змішувати G11 і G12 не можна – через хімічну несумісність можуть випадати осади, знижується ефективність охолодження і збільшується ризик поломок.

### 3.2 Вплив концентрації продуктів зношування корозійного.

Для експериментів було виготовлено серію зразків на основі охолоджувальної рідини класу G11 із додаванням оксидів алюмінію ( $Al_2O_3$ ), міді ( $CuO$ ) та заліза ( $FeO$ ) відповідно до методики, наведеної в підрозділі 3.1.

Дані щодо зміни електропровідності залежно від концентрації продуктів корозійного зношування для еталонних зразків наведені в таблиці 3.2.

На основі отриманих результатів побудовано графіки залежності електропровідності антифризу G11 від концентрації домішок продуктів корозійного зносу (рис. 3.1).

У результаті статистичної обробки експериментальних даних були отримані рівняння, що відображають залежність електропровідності антифризу G11 від концентрації продуктів корозійного зношування:

$$\text{для FeO } \chi = 3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-8} K_{Fe} - 1 \cdot 10^{-11} K_{Fe}^2, \quad R^2 = 0,97$$

$$\text{для Al}_2\text{O}_3 \chi = 3 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-9} K_{Al} - 5 \cdot 10^{-11} K_{Al}^2, \quad R^2 = 0,97$$

$$\text{для CuO } \chi = 3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-9} K_{Cu} - 3 \cdot 10^{-12} K_{Cu}^2, \quad R^2 = 0,93.$$

Аналіз побудованих графіків (рис. 3.1) показав, що найбільші зміни електропровідності спостерігаються при введенні оксидів заліза — до 156 %, дещо менший вплив мають оксиди міді — до 49 %, а найменший — оксиди алюмінію, де зростання становить до 39 %.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Результати зміни електропровідності від концентрації продуктів корозійного зношування в еталонних зразках

Еталонні зразки						
№	1	2	3	4	5	6
FeO	0	10	50	100	200	500
$\chi$	$2,732 \cdot 10^{-6}$	$3,416 \cdot 10^{-6}$	$4,09410^{-6}$	$4,597 \cdot 10^{-6}$	$5,157 \cdot 10^{-6}$	$6,996 \cdot 10^{-6}$
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	10	20	50	100	500
$\chi$	$2,732 \cdot 10^{-6}$	$2,980 \cdot 10^{-6}$	$3,071 \cdot 10^{-6}$	$3,112 \cdot 10^{-6}$	$3,218 \cdot 10^{-6}$	$3,786 \cdot 10^{-6}$
CuO	0	10	50	100	200	500
$\chi$	$2,732 \cdot 10^{-6}$	$2,915 \cdot 10^{-6}$	$3,094 \cdot 10^{-6}$	$3,284 \cdot 10^{-6}$	$3,416 \cdot 10^{-6}$	$4,063 \cdot 10^{-6}$

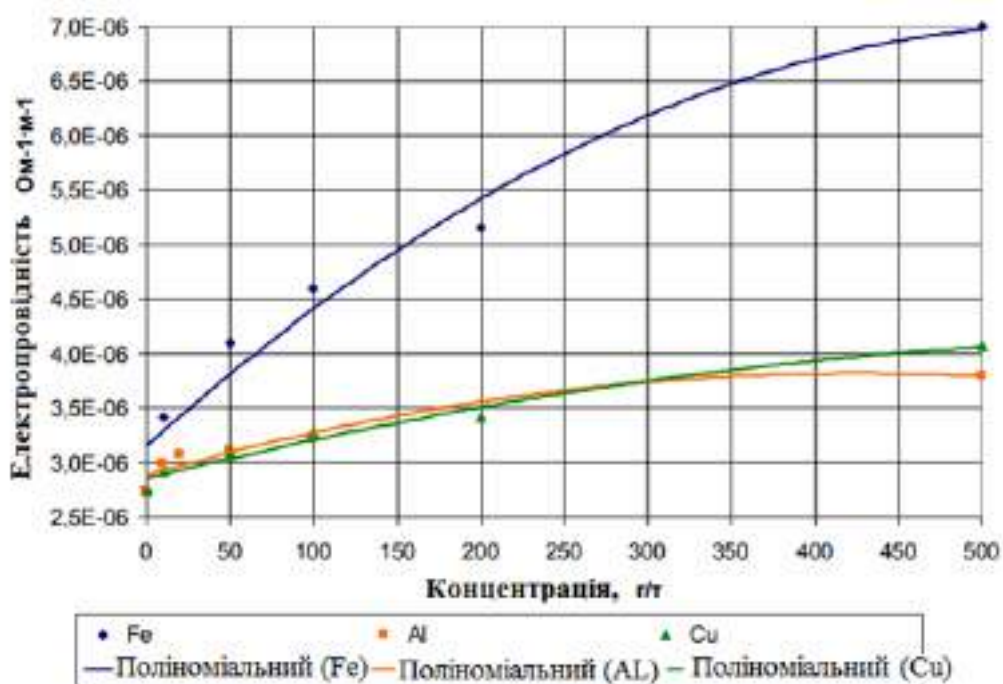


Рисунок 3.1 – Залежність зміни електропровідності антифризів від концентрації продуктів корозійного зношування

### 3.3 Вплив температури антифризу.

Під дією зовнішнього електричного поля (наприклад, у зазорі конденсатора) в рідкому середовищі формуються диполі, які орієнтуються

відповідно до напрямку цього поля. Тепловий рух молекул лише частково заважає їх упорядкуванню, тому для неполярних рідин діелектрична проникність практично не змінюється з підвищенням чи зниженням температури.

На відміну від них, полярні рідини характеризуються значно вищою електропровідністю. Збільшення їх діелектричної проникності безпосередньо веде до підвищення провідності. Для сильно полярних рідин цей показник настільки високий, що їх розглядають не як діелектрики, а як середовища з іонною провідністю.

Антифризи містять полярні компоненти, тому зі зростанням температури їх електропровідність підвищується, а зі зниженням — зменшується. Це пояснюється тим, що поляризація в таких рідинах складається з двох складових — орієнтаційної та деформаційної. При орієнтаційній поляризації прагнення диполів упорядкуватися у напрямку силових ліній стикається з опором теплового руху молекул. Чим вища температура, тим інтенсивніший цей рух і тим важче диполям утримувати впорядковану орієнтацію. У стані статичної рівноваги поляризація залежить від кількості та моментів диполів, а також від рівня теплового збудження частинок.

Питома провідність будь-якої рідини значною мірою визначається температурою. Підвищення температури зменшує в'язкість середовища, збільшує рухливість іонів та може посилювати процеси теплової дисоціації, що у комплексі призводить до зростання електропровідності [19].

Для перевірки викладених вище теоретичних положень було проведено експериментальне дослідження зміни електропровідності антифризів класу G11 та G12 за різних температур. Вимірювання здійснювали у діапазоні від 5 до 80 °С. У ході досліду зразки нагрівали в термостаті, після чого проводили вимірювання електропровідності (табл. 3.3).

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі отриманих даних побудовано графіки залежності електропровідності від температури, які чітко демонструють її зростання у межах 5–80 °С (рис. 3.2).

З аналізу побудованих кривих встановлено, що підвищення електропровідності з температурою відбувається за параболічною залежністю. При цьому відмінності між значеннями для антифризу G12 та G11 становлять близько 2,5 % при 5 °С і досягають приблизно 30 % при 80 °С.

Таблиця 3.3 – Результати зміни електропровідності антифризу класу G11 і G12 при різній температурі зразків

Температура зразка, °С	Електропровідність антифризу	
	G 11-10 <sup>-6</sup>	G 12-10 <sup>-7</sup>
5	0,8251	0,8135
10	0,7887	0,7228
15	0,9487	0,6509
20	1,110	0,8604
30	1,459	1,364
40	1,768	1,547
50	1,934	1,786
60	2,090	3,257
70	3,529	4,921
80	3,924	5,809

У результаті аналізу та обробки експериментальних даних було встановлено залежності зміни електропровідності антифризів G11 і G12 від температури, які описуються рівняннями другого порядку.

$$\chi(G12) = 1 \cdot 10^{-9} T^2 - 3 \cdot 10^{-8} T + 1 \cdot 10^{-6}; R^2 = 0,98;$$

$$\chi(G11) = 6 \cdot 10^{-10} T^2 - 1 \cdot 10^{-8} T + 9 \cdot 10^{-7}; R^2 = 0,96;$$

Таким чином, електропровідність охолоджувальних рідин безпосередньо визначається температурними умовами вимірювання. З цієї

причини контроль провідності як нових, так і відпрацьованих антифризів слід проводити при стабільній температурі в межах 20–25 °С.

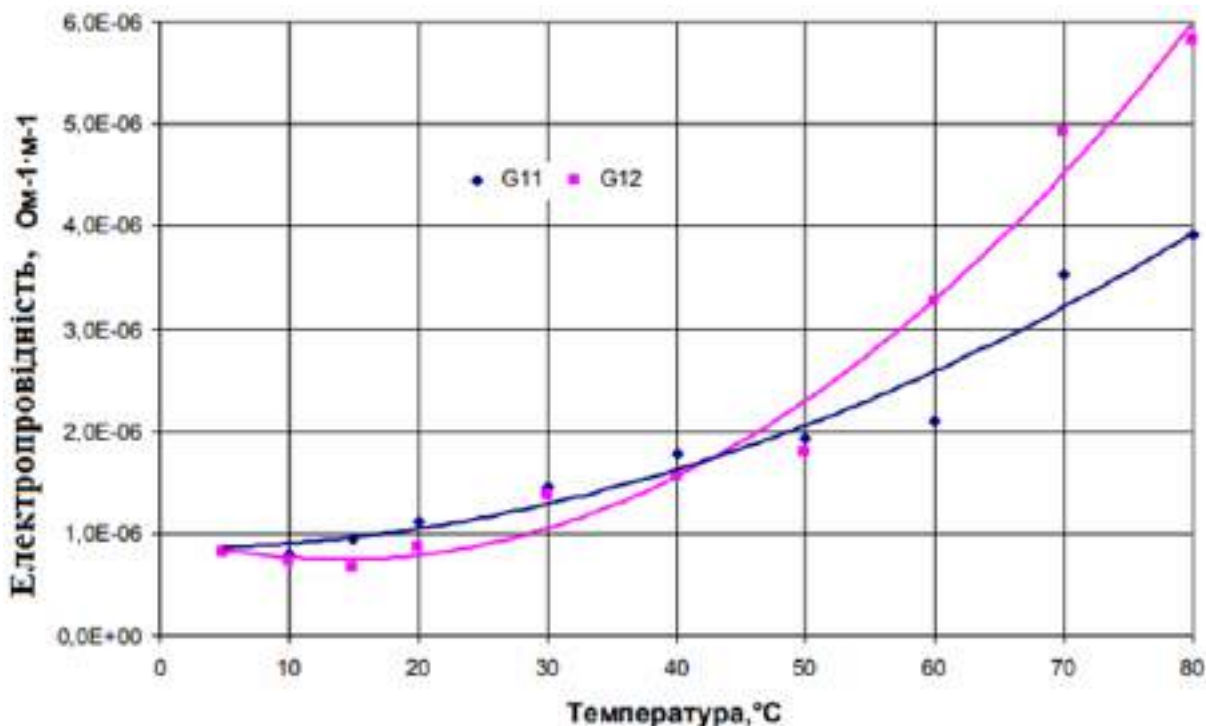


Рисунок 3.2 – Залежність зміни електропровідності антифризів від температури рідини

### 3.4 Вплив щільності антифризу.

У процесі експлуатації автомобіля часто виникає необхідність коригування температури кристалізації та кипіння охолоджувальної рідини для приведення її до нормативних значень.

Сьогодні для контролю фактичних параметрів антифризу застосовують гідрометр типу ГЕГ, який являє собою скляний поплавок із нанесеною аерометричною шкалою. Ця шкала проградуєвана у відсотках вмісту водних розчинів гліколю та відповідних їм температурах кристалізації (°C). Прилад обладнаний вантажем і термометром, а його калібрування здійснене на розчині при температурі +20 °C. Через це при інших температурах

отримані показники можуть бути неточними. Для визначення фактичної концентрації гліколю необхідно або попередньо довести температуру розчину до +20 °С, або ж визначити його щільність денсиметром і внести поправки за формулою [14]:

$$\rho^{20} = \rho' + \gamma [t - 20^{\circ}] \quad (2.5)$$

де  $\gamma$  – середнє значення температурної поправки щільності, визначене за таблицею;  $\rho^{20}$  – щільність антифризу, приведена до температури +20 °С, кг/м<sup>3</sup>;  $t$  – температура вимірювання, °С;  $\rho'$  – дійсна щільність антифризу при температурі вимірювання, кг/м<sup>3</sup>.

Вимірювання щільності антифризу виконуються відповідно до ГОСТ 18995.1-73.

Для оцінки впливу щільності на електропровідність було проведено експериментальні дослідження зразків антифризів G11 та G12. Концентрати змішували з дистильованою водою в межах 0–50 % і досліджували при температурі 20 °С. У ході експерименту для кожного зразка визначали щільність та електропровідність (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Величина електропровідності антифризу при різних щільності зразка

Щільність охолоджуючої рідини, кг/м <sup>3</sup>	Кількість концентрату антифризу в дист. воді, %	Електропровідність антифризу, Ом <sup>-1</sup> м <sup>-1</sup> (10 <sup>-6</sup> )	
		G11	G12
1000	0	7,343	7,343
1030	20	9,717	8,700
1050	30	9,187	8,427
1070	40	8,842	8,166
1080	50	8,202	7,958



Отже, електропровідність антифризів безпосередньо залежить від їхньої щільності під час проведення вимірювань. Тому при визначенні провідності як нових, так і відпрацьованих зразків необхідно обов'язково враховувати щільність досліджуваної проби. Це зумовлено тим, що в процесі експлуатації автомобіля щільність охолоджувальної рідини може змінюватися як у бік зменшення, так і зростання внаслідок циклічного нагрівання та охолодження в різних режимах роботи двигуна.

Для кількісної оцінки взаємозв'язку між електропровідністю та іншими характеристиками антифризів, наведеними в таблицях розділу 3, було виконано розрахунок коефіцієнтів кореляції. Обчислення проводили за допомогою демонстраційної версії програмного пакета STATISTICA, що є універсальною інтегрованою системою для статистичного аналізу й обробки експериментальних даних.

Коефіцієнт кореляції визначимо за виразом [20]:

$$|r| = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y}, \quad (3.1)$$

Де:  $y_i$  - вимірюване значення параметра;  $x_i$  - обумовлене значення показника якості;  $\bar{x}$  - середнє значення показника якості;  $\bar{y}$  - середнє значення відносно параметра;  $S_x$  і  $S_y$  - дисперсії вибірок.

На основі даних, наведених у таблицях 3.2, 3.3 та 3.4, були визначені коефіцієнти кореляції:

- для залежності електропровідності (%) від температури:  $r = 0,93 - 0,95$ ;
- для залежності електропровідності (%) від щільності:  $r = 0,29 - 0,35$ ;
- для залежності електропровідності (%) від значення рН:  $r = 0,69 - 0,72$ ;

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для залежності електропровідності (%) від показника корозійної взаємодії з металами:  $r = 0,13 - 0,38$ .

Отримані результати свідчать про наявність кореляційного зв'язку між електропровідністю та основними параметрами, що визначають властивості антифризів.

### 3.5 Аналіз похибки вимірювання електропровідності.

З метою перевірки точності основної функції розробленого приладу – вимірювання електропровідності охолоджувальних рідин – було проведено експериментальне дослідження.

Вимірювання питомої електропровідності здійснювали трьома різними приладами за сталої температури відповідно до вимог ГОСТ 6581-75. Для оцінки надійності методики необхідно виконати серію випробувань із багаторазовим повторенням аналізу однієї проби за незмінних умов. Проте такий підхід вимагає значних часових витрат, упродовж яких середнє значення результатів може змінитися неконтрольовано. Тому доцільно визначати похибку відтворюваності (тобто похибку вимірювань) на основі безпосередньо отриманих даних.

Для прикладу було проведено обчислення похибки вимірювань для трьох середовищ: дистильованої води, розчину хлориду калію та антифризу. Розрахунки виконувалися із застосуванням рівнянь, що використовуються під час статистичної обробки експериментальних даних. Формула для визначення вибіркової дисперсії (середньоквадратичного відхилення) результатів вимірювань має такий вигляд [21]:

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \left[ \sum_{u=1}^{n_i} y_u^2 - \frac{\left( \sum_{u=1}^{n_i} y_u \right)^2}{n_i} \right], \quad (3.2)$$

де  $y_u$  - величина вимірної електропровідності  $i$ -ї проби;  $n_i$  - кількість загальних вимірювань  $i$ -ї проби.

Помилка відтворюваності (похибка вимірювання) визначається:

$$S_{VOSPR} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 S_i^2 f_i}{f_{VOSPR}}}, \quad (3.3)$$

де  $f_{VOSPR}$  - кількість ступенів волі дисперсії відтворюваності,  $f_i$  - кількість ступенів волі дисперсії вибіркової.

На рисунку 3.4 наведено діаграми відносної похибки вимірювань, виконаних запропонованим методом, а також приладами Щ300 і мультиметром ВР-11 для дистильованої води, розчину хлориду калію та антифризу G11.

Отримані результати свідчать, що розроблена вимірювальна система з використанням елементів штучного інтелекту за точністю не поступається сучасним високоточним засобам вимірювання. Більше того, середня похибка у порівнянні з вказаними аналогами зменшується у 3–15 разів.

Дослідження електропровідності антифризів в умовах експлуатації автомобілів.

Для вивчення впливу експлуатаційних факторів на електропровідність охолоджувальних рідин було проведено аналіз проб антифризів, відібраних із легкових автомобілів, що працюють на різних марках і типах охолоджувачів як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Всі автомобілі

					КВРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатувалися в однакових дорожніх і кліматичних умовах м. Хмельницький.



Рисунок 3.4 – Діаграми відносної похибки вимірювань електропровідності різними приладами

Відбір проб здійснювався з певною періодичністю протягом експлуатації транспортних засобів. Паралельно проводився аналіз додаткових параметрів, що характеризують якість антифризу: лужність, корозійний вплив на метали, густина, температура замерзання та рівень рН.

На основі отриманих експериментальних даних побудовано графіки залежності електропровідності антифризів від кількості спожитого палива (рис. 3.5).

Аналіз отриманих графіків показує, що електропровідність нових антифризів змінюється в межах від  $5,58 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$  (автомобіль ЗАЗ-1103)

до  $8,7 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$  (автомобіль ЗАЗ FORZA). Подальша динаміка цього показника залежить від марки автомобіля та умов його експлуатації.

Зокрема, у випадку автомобілів Daewoo Lanos, Hyundai i30 і ЗАЗ-1103 простежується поступове зростання електропровідності з напрацюванням та збільшенням витрати палива. Для автомобілів ЗАЗ Таврія і VW Golf спостерігається інша тенденція: спочатку відмічається незначне зниження, після чого електропровідність знову підвищується.

Такі відмінності свідчать про те, що оптимальний термін заміни охолоджувальної рідини повинен визначатися індивідуально для кожного автомобіля з урахуванням його конструктивних особливостей, якості застосованого антифризу та фактичних експлуатаційних навантажень.

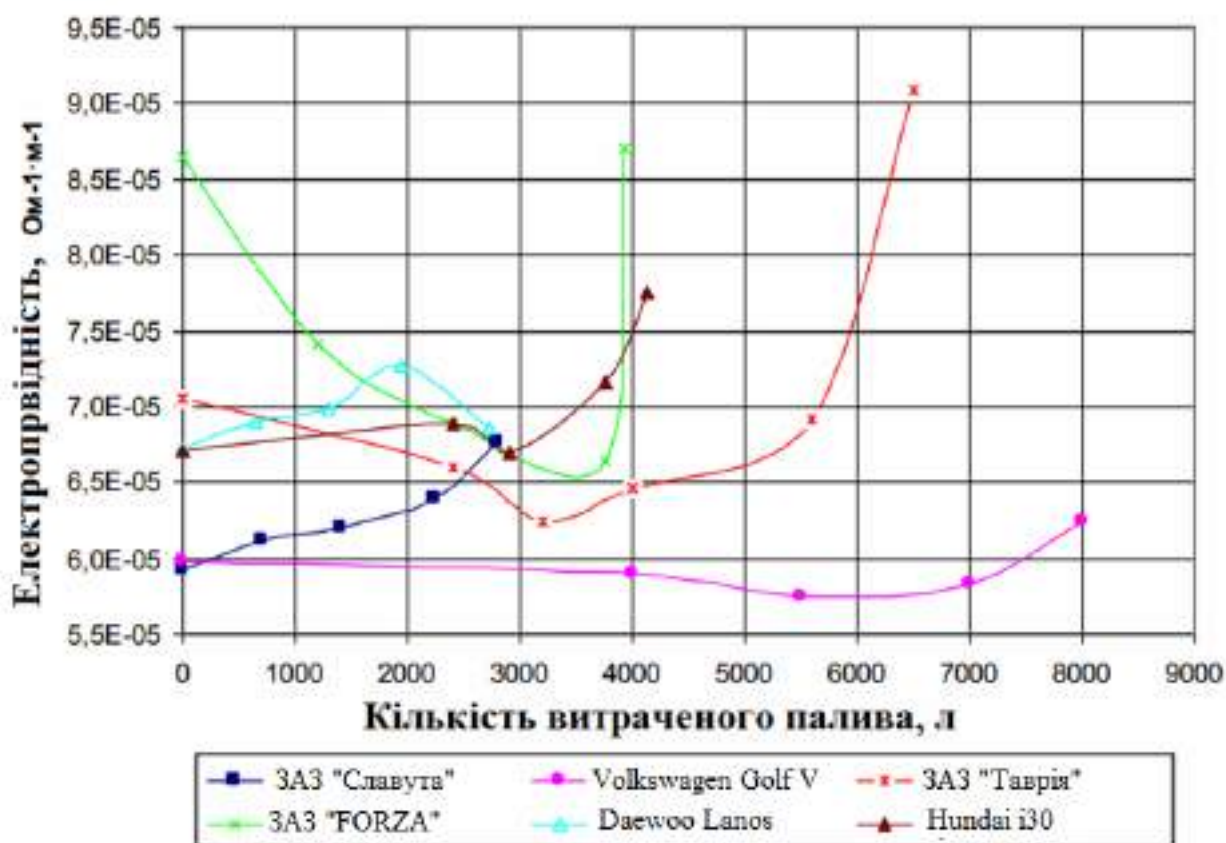


Рисунок 3.5 – Графік залежності зміни електропровідності антифризів від кількості витраченого палива

Для забезпечення надійної роботи системи охолодження доцільно проводити регулярний контроль стану антифризу, зокрема оцінювати його електропровідність. Відомо, що значення електропровідності свіжих, ще не експлуатованих охолоджувальних рідин визначається як складом базової основи, так і набором присадок. У процесі використання можливі зміни цього параметра до 46 %.

Графічна залежність зміни електропровідності антифризів від пробігу автомобіля наведена на рис. 3.6.

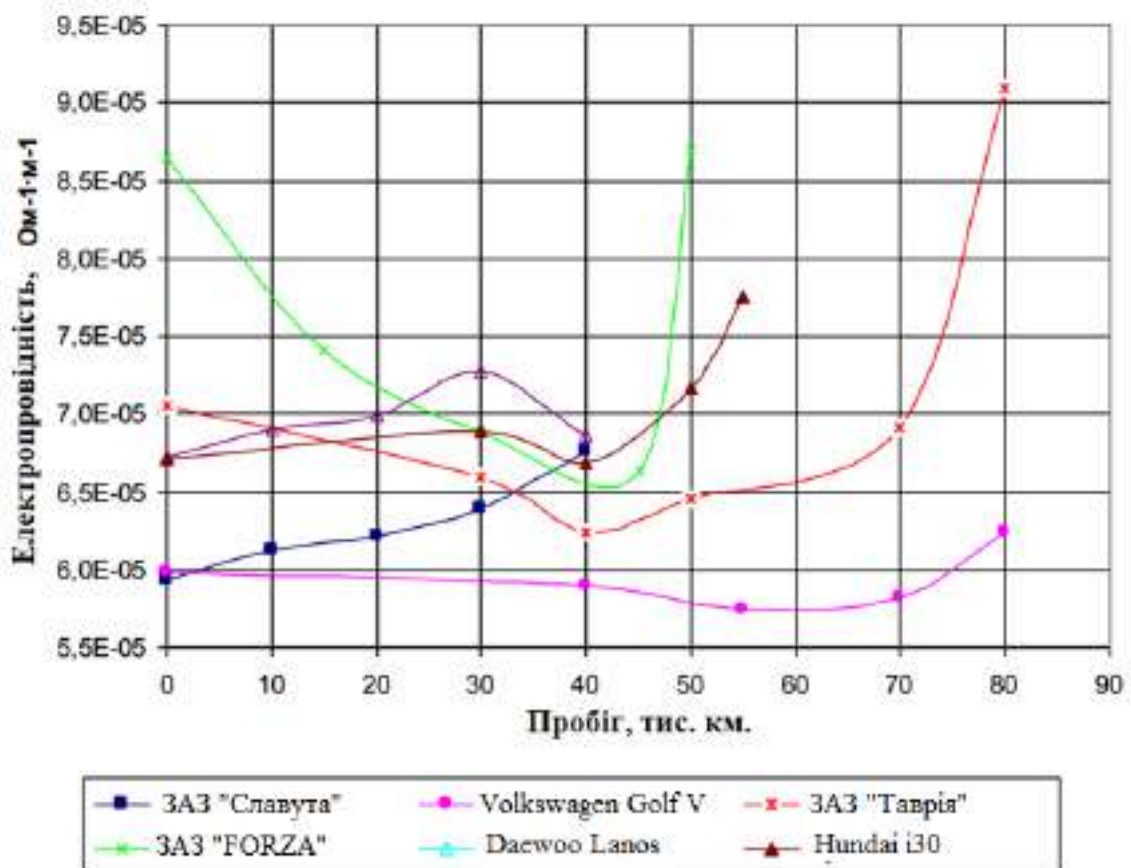


Рисунок 3.6 – Графік залежності зміни електропровідності антифризів від пробігу автомобілів

#### 4. СИСТЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ТО ТА РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ФАКТИЧНИМ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ

4.1 Удосконалення системи технічного обслуговування автомобільного транспорту.

Забезпечення економії ресурсів при експлуатації автомобільного транспорту та підвищення його надійності в конкретних умовах використання можливе завдяки науково обґрунтованому визначенню оптимальних режимів технічного обслуговування. Йдеться про встановлення раціональних інтервалів між обслуговуваннями та формування необхідного переліку робіт. Такий підхід дозволяє своєчасно запобігати виникненню несправностей, підтримувати вузли й агрегати транспортних засобів у справному стані, підвищувати їхню надійність та знижувати експлуатаційні витрати.

Сучасний автомобільний транспорт потребує нових підходів, спрямованих на підвищення ефективності транспортного процесу. Одним із таких напрямів є вдосконалення системи управління технічним станом транспортних засобів із застосуванням сучасного діагностичного обладнання та високопродуктивних засобів для проведення технічного обслуговування. Швидкі темпи розвитку автомобілебудування, підвищення якості, надійності й довговічності машин вимагають також використання сучасних експлуатаційних матеріалів, зокрема охолоджуючих рідин, із заміною їх відповідно до фактичного технічного стану.

У чинному в Україні «Положенні про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту» [22] практично відсутні конкретні рекомендації щодо організації технологічних процесів технічного обслуговування і ремонту рухомого складу. Тому важливим завданням є впровадження системи профілактичного

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Ефективність профілактичного обслуговування, діагностики та ремонту безпосередньо залежить від конструктивних особливостей транспортного засобу, умов його експлуатації та тісно пов'язана з такими факторами, як безпека руху, економія пального й рівень викидів шкідливих речовин [22]. Існує залежність між пробігом автомобіля до чергового технічного втручання чи капітального ремонту і витратою палива, що визначається, головним чином, потужністю двигуна та витратою енергії.

Система технічного обслуговування й ремонту, що базується на фактичному стані автомобіля, є більш гнучкою, оскільки у ній відсутнє жорстке розмежування між ТО та ТР. Перелік робіт формується здебільшого на основі діагностичних даних щодо стану агрегатів, вузлів і систем.

Як зазначено в [12], традиційна планово-попереджувальна система обслуговування та ремонту не забезпечує необхідного рівня надійності й екологічної безпеки транспорту, адже значна частина машин (60...70%) перебуває у незадовільному технічному стані. Найбільш ефективною вважається стратегія профілактичного обслуговування на основі контролю фактичного стану, яка широко застосовується за кордоном. Її ще називають «щоденним контролем». Досвід показує, що використання такої методики дозволяє двигунам автомобілів працювати до 1 млн км пробігу без проведення капітального ремонту.

Запровадження оперативного управління технічним станом автомобілів на основі такої стратегії дає можливість знизити темпи зношування деталей та забезпечити роботу двигуна до моменту морального старіння без необхідності капітального ремонту. Крім того, кількість аварійних випадків зменшується у кілька разів, оскільки своєчасна діагностика дозволяє виявити прискорене корозійне зношування деталей, спричинене використанням неякісних або відпрацьованих охолоджувальних рідин. Це дозволяє вчасно вилучати з експлуатації непридатні охолоджувачі та визначати причини втрати ними необхідних властивостей.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для максимального використання ресурсу двигуна в умовах експлуатації слід розробити методологію впровадження простих, швидких та надійних методів контролю стану охолоджувальних рідин. Доцільним є застосування експрес-методів і портативних приладів, які дають змогу отримувати достатній обсяг інформації для оперативного управління технічним станом і продовження ресурсу агрегатів автомобілів шляхом моніторингу показників якості охолоджувальних рідин.

Практичні дослідження з експлуатації автобусів БАЗ-А081 і Богдан-А091 із заміною антифризів та моторних оливо за фактичним станом проводилися в автобусному парку м. Хмельницького. До експерименту було залучено дві групи автобусів по 30 машин у кожній, що працювали в однакових умовах перевезення пасажирів із сумарним пробігом 500 тис. км. За результатами цих досліджень зібрано, систематизовано та проаналізовано відмови основних агрегатів і систем випробуваних транспортних засобів (рис. 4.2).

Аналіз відмов у працездатності вузлів і систем автобусів Богдан-А091 показав, що найбільшу частку займають несправності ходової частини підвіски — близько 34 %. На гальмівну систему припадає 18 %, тоді як на коробку передач, електрообладнання та рульове керування — від 10 до 15 %. Відмови системи охолодження складають приблизно 5 %, а двигуна і редуктора заднього моста — близько 1,3 %.

Для автобусів БАЗ-А081 ситуація дещо інша: кількість відмов підвіски утрічі менша, ніж у Богдан-А091, і становить лише 12 %. Найбільш проблемними є коробка передач (23 %) та електрообладнання (30 %). Несправності гальмівної системи виявляються у 11 % випадків, проте у системі охолодження двигуна кількість відмов у три рази більша, ніж у Богдан-А091, і досягає 16 %. Частка несправностей двигуна та редуктора заднього моста залишається на рівні 1...3%, як і у попередній моделі.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

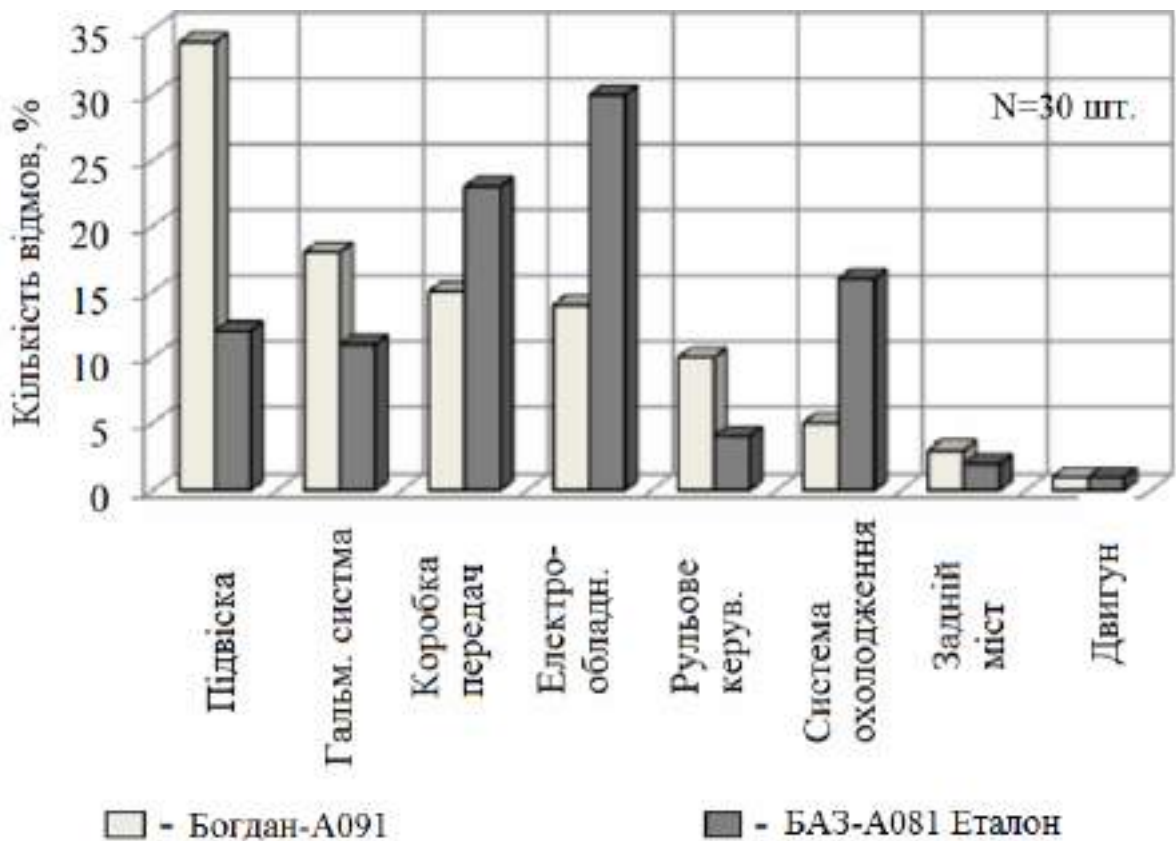


Рисунок 4.2 – гістограма розподілу відмов

Регулярний контроль ключових показників якості антифризів дозволяє своєчасно виявляти погіршення їх властивостей і вживати заходів для запобігання зниженню ефективності охолодження та надійності роботи двигуна.

У керівництвах з експлуатації автомобілів і автобусів встановлюються нормативні строки заміни антифризу, що визначаються або пробігом, або календарним терміном. Як правило, для двигунів легкових і вантажних автомобілів цей інтервал становить 45...250 тис. км пробігу або 2...5 років експлуатації.

Проте наведені рекомендації є справедливими лише для нормальних умов експлуатації та за умови справного технічного стану транспортного засобу. У сприятливих умовах роботи двигуна та використанні якісного палива старіння охолоджуючої рідини відбувається повільніше, що дозволяє

збільшити термін її служби. Водночас при інтенсивній експлуатації, роботі в тяжких умовах та застосуванні палива низької якості процеси деградації антифризу значно прискорюються, скорочуючи рекомендований інтервал заміни.

Крім того, значна частина автомобілів, які сьогодні експлуатуються транспортними організаціями, мають високий ступінь зносу, що також прискорює старіння охолоджувальних рідин. Тому орієнтуватися лише на пробіг чи календарний термін заміни недоцільно — рішення слід приймати, виходячи з якості антифризу та фактичного стану. Це дозволяє не лише підвищити надійність роботи двигунів, а й скоротити витрати на технічне обслуговування та більш раціонально використовувати дорогі охолоджувальні рідини.

#### 4.2 Показники працездатності антифризів у системах охолодження транспортних засобів.

На сьогоднішній день відсутні єдині стандартизовані критерії, що дозволяють точно визначити момент, коли антифриз втрачає свої експлуатаційні властивості та підлягає заміні. Замість цього існують лише орієнтовні рекомендації виробників транспортних засобів та охолоджувальних рідин щодо строків їх використання.

У таблиці 4.1 наведено граничні (бракувальні) значення основних показників якості охолоджувальних рідин, що застосовуються в суднових дизелях. Досягнення хоча б одного з цих параметрів свідчить про необхідність обов'язкової заміни антифризу.

Для заміни антифризів за їх фактичним станом, на основі проведених досліджень і аналізу були визначені бракувальні показники якості охолоджуючих рідин, при досягненні яких подальша експлуатація транспортного засобу стає небажаною.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 - Граничні значення показників експлуатаційних властивостей охолоджуючих рідин судових дизелів

Показник	Значення
Водневий показник, рН	8,5 - 9,0
Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с	1,2
Поверхневий натяг, Н • м	0,055

Визначення реального терміну служби антифризу можливе лише за умови регулярного контролю його властивостей шляхом фізико-хімічного аналізу проб. Проте такий підхід має певні труднощі, оскільки потребує наявності у підприємств, що експлуатують техніку, спеціалізованих лабораторій, кваліфікованого персоналу, необхідного обладнання та реагентів. У зв'язку з цим виникає потреба в інтегральному показнику, який би узагальнено характеризував технічний стан антифризу, визначався швидко і не вимагав складних досліджень. Одним із таких параметрів може виступати електропровідність охолоджувальної рідини [18].

Результати проведених експериментів дозволили сформувавши методику оцінки якості та визначення строків заміни антифризу з урахуванням умов експлуатації, особливостей конкретного транспортного засобу, його технічного стану та виробника. Запропонована методологія поширюється на автомобілі й автобуси, що працюють на бензині, дизельному, газовому та біопаливі, і застосовується як для нових, так і для капітально відремонтованих двигунів.

За нормальних умов роботи рухомого складу технічне обслуговування системи охолодження і заміна робочої рідини проводяться відповідно до вимог нормативного документа «Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту» або ж згідно з рекомендаціями заводу-виробника. Далі розглянуто методику

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67



нормативними документами залежно від модифікації транспортного засобу і заносяться в електронну базу.

До змінної (поточної) інформації, характерної для конкретного автомобіля, відносяться: середня швидкість руху  $V_a, V_{an}$ , значення електропровідності антифризу, концентрація алюмінію, міді та заліза в рідині  $F_{ZM}$ , пробіг після останньої заміни охолоджувача  $L_n$ , маса перевезеного вантажу  $G_{gr}$ , а також витрата палива (у літрах на 100 км) за попередній та запланований періоди експлуатації  $Q_n, Q$ . Дані за минулий цикл беруться із фактичних вимірювань  $V_{an}, Q_n$ , а прогнозні величини визначаються для майбутнього періоду роботи автомобіля  $V_a, G_{gr}, Q$ .

Інтенсивність накопичення продуктів корозійного зношування в антифризі системи охолодження може визначатися двома шляхами:

- використанням попередніх значень швидкості корозійного забруднення з коригуванням на майбутні експлуатаційні умови.

- аналізом даних про швидкість надходження продуктів зношування під час першої заміни охолоджувальної рідини з урахуванням умов експлуатації та діагностичних показників (концентрація алюмінію, міді, заліза) для кожного транспортного засобу;

Діагностику стану антифризу для прогнозування його ресурсу проводять після того, як двигун витратить певну кількість пального.

Регулярне оновлення інформації про працездатність і якість охолоджуючих рідин дозволяє вирішити дві ключові задачі: отримати прогноз стану системи охолодження та антифризу до наступного діагностування, а також розрахувати пробіг чи обсяг пального, після якого необхідна заміна антифризу або виконання інших технічних операцій.

При черговій перевірці стану антифризу першочерговим завданням є визначення, чи зможе він зберегти свою ефективність до наступного етапу поглибленого контролю без ризику зниження надійності роботи двигуна та його систем.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З цією метою із системи охолодження (див. рис. 4.3) відбирається зразок охолоджувальної рідини. Далі проводиться вимірювання електропровідності та спектральний аналіз проби. Експрес-методами визначаються такі показники, як рН, лужність, густина та температура кристалізації. Отримані дані зіставляються з допустимими концентраціями контрольних елементів та бракувальними параметрами, враховуючи умови експлуатації транспортного засобу, технічний стан двигуна, його особливості, а також тип і якість використаного антифризу.

Якщо результати вимірювань щільності, електропровідності та вмісту алюмінію, заліза і міді не перевищують встановлених меж, додаткові дослідження за іншими параметрами не проводяться, а подальший прогноз ресурсу антифризу визначається математичною моделлю. У випадках, коли швидкість накопичення металів у рідині перевищує значення, зафіксовані після першої заміни, проводиться розширена оцінка корозійних властивостей, в'язкості, впливу на метали, рівня рН і лужності. Якщо хоч один із бракувальних показників (табл. 4.1) виходить за норму — антифриз підлягає заміні.

Коли критичні параметри залишаються в допустимих межах, але концентрація алюмінію, заліза або міді становить 5...10 г/т, виконують позачергове очищення охолоджувальної рідини від механічних домішок. Після цього антифриз знову заливається в систему охолодження, і проводиться повторний прогноз його подальшого використання.

Знаючи фактичні значення електропровідності, можна уточнити залишковий ресурс антифризу та скорегувати строки його заміни, використовуючи спеціальну розрахункову формулу, наведено нижче.

$$T = \frac{(\Delta\chi_{gran} - \Delta\chi)L}{\Delta\chi}, \quad (4.1)$$

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де:  $\Delta\chi$  - значення різниці електропровідності виміряної (та що працювала) і чистої охолоджуючої рідини;  $\Delta\chi_{гран}$  - допустиме значення (бракувальне) різниці електропровідності чистої та тої, що працювала певний час охолоджуючих рідин;  $L$  - загальний пробіг автомобіля у кілометрах або кількість літрів витраченого палива.

Алгоритм визначення оптимального строку заміни охолоджувальної рідини під час експлуатації транспортних засобів наведено на рис. 4.4.

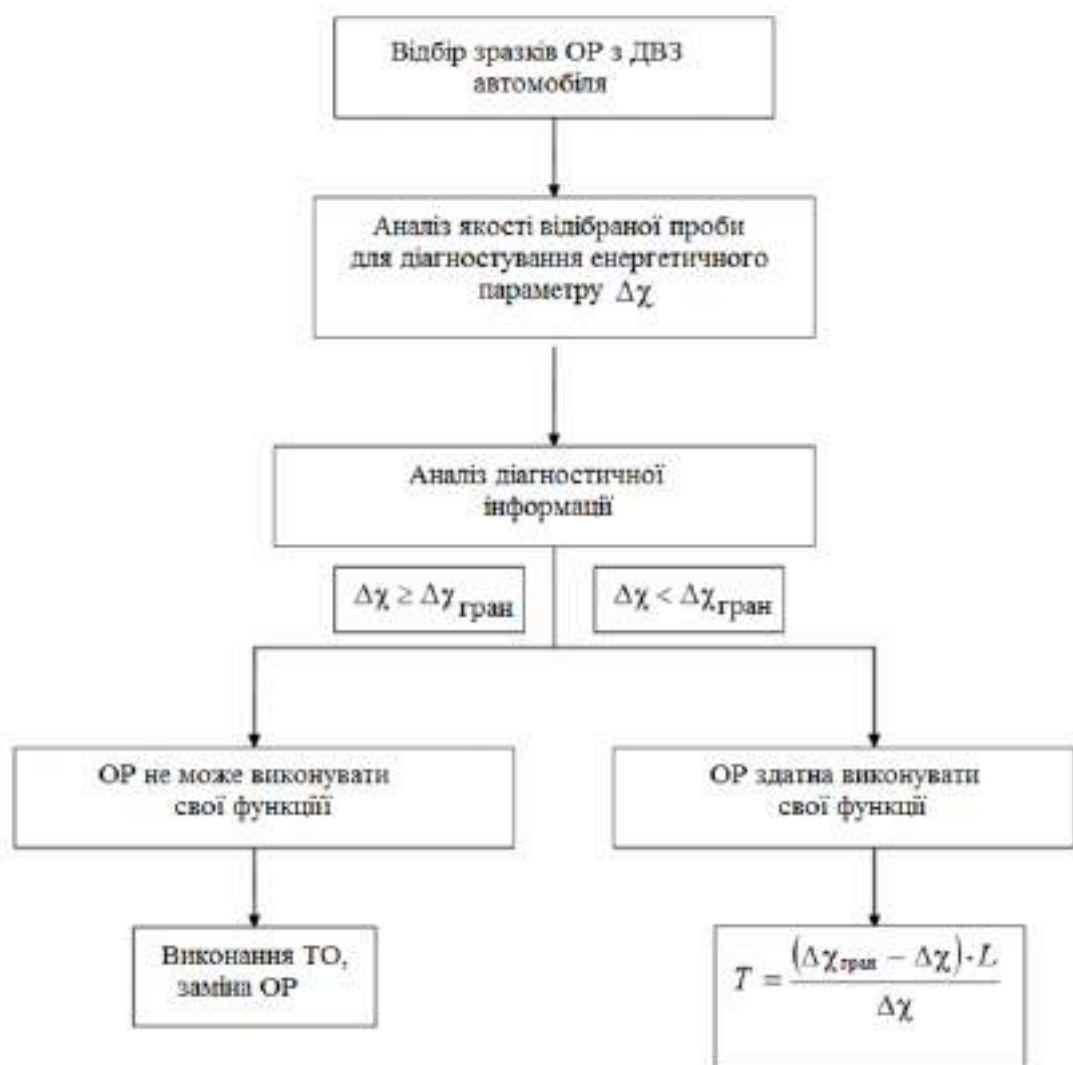


Рисунок 4.4 – Послідовність дій для встановлення моменту заміни охолоджуючої рідини у системі охолодження транспортних засобів.

Для контролю технічного стану елементів системи охолодження застосовуються спеціальні технічні ендоскопи. Використання сучасних ендоскопічних приладів у процесі діагностики дає можливість оцінити стан двигуна внутрішнього згоряння, здійснити контроль зубчастих передач трансмісійних агрегатів, а також провести огляд внутрішніх поверхонь трубопроводів і порожнин без їх демонтажу. Це дозволяє своєчасно виявляти тріщини, відкладення, ознаки корозії чи інші дефекти, зокрема й під час перевірки системи випуску відпрацьованих газів.

Завдяки ендоскопу можна обстежити приховані порожнини кузова, радіатор чи інші вузли, що у звичайних умовах є недоступними для огляду, та виявити невидимі зовні пошкодження. Під час технічного обслуговування, пов'язаного із заміною антифризу А-40 на автомобілі ЗАЗ-FORZA, за допомогою ендоскопічного обладнання було проведено перевірку стану деталей системи охолодження (рис. 4.5).

Аналіз внутрішніх поверхонь трубок радіатора показав відсутність значних відкладень, проте було виявлено локальні осередки корозії (рис. 3.5 з правого боку).



Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд поверхні трубок для нового радіатора (зліва) і радіатора, після заміни антифризу автомобіля ЗАЗ-FORZA.

Проведення діагностики та прогнозування змін властивостей антифризу дає можливість:

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- раціонально визначати потребу у запасних частинах та кількість експлуатаційних матеріалів для подальших робіт;
- оперативно керувати ресурсом двигуна, враховуючи інтенсивність надходження алюмінію, міді та заліза в охолоджувальну рідину на одиницю витраченого палива при використанні антифризів різних виробників;
- оцінювати стан елементів системи охолодження, спираючись на показники швидкості накопичення продуктів корозійного зношування у рідині після її першої заміни, що знижує ризик аварійних відмов та забезпечує своєчасне виявлення початкових ознак корозії;
- визначати фактичний рівень працездатності охолоджувальної рідини та прогнозувати момент досягнення граничного стану, що дозволяє завчасно планувати терміни та обсяги технічного обслуговування.

Запропоновану методику діагностики, прогнозування та заміни антифризів за їх фактичним станом доцільно застосовувати перед виконанням обов'язкових регламентних операцій.

Її можна без значних витрат інтегрувати у роботу автотранспортних підприємств і виробничих цехів, які мають лабораторії з контролю якості експлуатаційних матеріалів. Для СТО, гаражів і майстерень, що виконують обслуговування власними силами, доцільніше використовувати експрес-методи та портативні прилади для перевірки властивостей охолоджувальних рідин і нафтопродуктів. На основі цієї методики ведуться дослідження щодо уточнення строків заміни охолоджувальних рідин різних виробників з урахуванням умов експлуатації та специфіки конкретного автомобіля.

#### 4.3 Присадки до охолоджуючих рідин.

Сучасні автовиробники висувають до охолоджувальних рідин (антифризів) низку жорстких вимог, серед яких:

- збереження еластичності гумових та пластикових елементів системи;

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- надійний захист деталей двигуна від корозії та кавітації, особливо тих, що виготовлені з алюмінію та його сплавів;
- попередження утворення накипу й відкладень;
- відсутність у складі амінів, боратів, нітритів, нітратів, силікатів і фосфатів;
- мінімальне пінення.

Аміни у поєднанні з нітритами при високих температурах утворюють нітрозаміни, що проявляють мутагенні властивості та належать до канцерогенів. Саме тому виробництво антифризів із такими речовинами нині заборонене.

Борати, які застосовувалися для стабілізації складу і захисту чорних металів, в умовах нагрівання провокують прискорену корозію алюмінію.

Нітритно-нітратні сполуки негативно впливають на довкілля та можуть викликати утворення метгемоглобіну в крові людини.

Фосфати, взаємодіючи з кальцієвими солями у гарячій воді, формують нерозчинні опади, що не лише знижує корозійний захист, а й перешкоджає нормальній циркуляції охолоджувальної рідини.

Силікати, хоч і здатні стримувати корозію алюмінію, мають обмежений термін дії. При високих температурах вони переходять у неактивні форми, утворюючи нерозчинні солі кальцію, магнію та алюмінію, що посилює утворення накипу. Крім того, силікатні антифризи зберігають свої властивості не більше 18 місяців. Навіть додавання стабілізаторів не вирішує повністю проблему їхньої ефективності.

Кожна компанія-виробник застосовує власні формули пакету присадок, проте більшість відмовилися від традиційних сполук і перейшли до використання солей органічних кислот, які відзначаються низькою токсичністю.

Інгібітори нового покоління діють вибірково — тільки у місцях появи корозії. Завдяки цьому зменшується їх витрата і подовжується строк служби:

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для легкових автомобілів — до 250 тис. км або 5 років експлуатації, для вантажних — до 650 тис. км. Рівень захисту від корозії при цьому значно перевищує можливості традиційних антифризів (рис. 4.6) [23].

Антифризи на основі карбонових кислот без проблем проходять усі регламентовані випробування та демонструють підвищені експлуатаційні характеристики завдяки використанню оптимально підібраних комбінацій карбоксилатів.

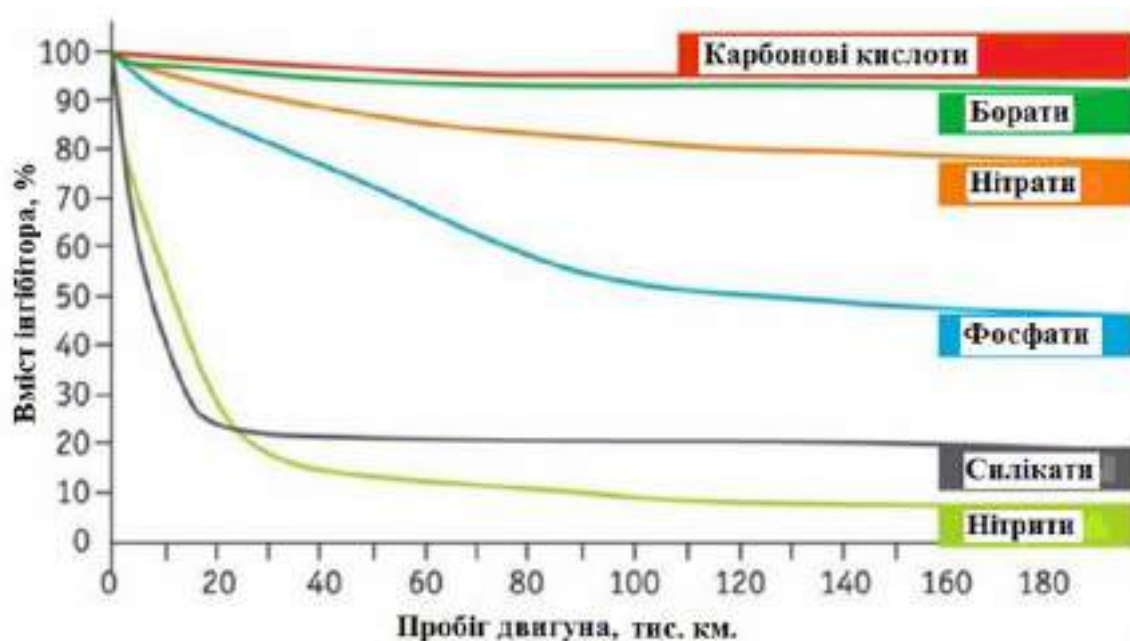


Рисунок 4.6 – Тенденції зміни рівня захисних присадок антифризу під час експлуатації автомобіля з урахуванням його пробігу.

Завдяки цьому механізму вдається зменшити кількість присадок і покращити теплофізичні характеристики охолоджуючої рідини. Це пояснюється тим, що надтонка органічна захисна плівка завтовшки приблизно 60 Å значно краще проводить тепло, ніж силікатний шар товщиною близько 1000 Å [23].

У традиційних антифризах протикорозійний захист забезпечується шляхом утворення на поверхні металу масивної силікатної плівки, яка досить крихка та легко руйнується. Під час детонаційного згоряння паливно-

повітряної суміші в циліндрах виникають високочастотні коливання, що передаються охолоджуючій рідині. У результаті під стінками сорочки охолодження з'являються та розриваються численні мікропухирці, що провокує кавітаційне руйнування металу.

На відміну від цього, у сучасних антифризах використовуються карбоксилатні інгібітори корозії. Вони не утворюють суцільних осадів на поверхнях системи охолодження, а реагують безпосередньо з металом лише у зонах корозійного ураження. Там формується тонкий захисний шар завтовшки всього кілька мікронів, який значно стійкіший до кавітаційних навантажень у порівнянні з товстими відкладеннями, характерними для традиційних присадок.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі запропоновано новий підхід до вирішення науково-прикладної задачі підвищення ефективності експлуатації автомобільного транспорту шляхом збільшення ресурсу двигунів та елементів системи охолодження. Це стало можливим завдяки впровадженню удосконалених методів діагностики та оцінки характеристик охолоджуючих рідин із використанням енергетичного параметра.

Основні результати дослідження:

1. Проведено аналіз вітчизняних і зарубіжних робіт, присвячених вивченню властивостей та довговічності охолоджуючих рідин у двигунах автомобілів. Встановлено, що під час планової заміни антифризу лише у 30...35 % випадків рідина дійсно потребує оновлення, у 10...20 % – необхідна дострокова заміна, тоді як у 40...50 % випадків охолоджуюча рідина зберігає працездатність і може використовуватися далі.

2. Доведено, що індивідуальна діагностика стану охолоджуючої рідини є ключовим фактором у прогнозуванні її залишкового ресурсу та визначенні оптимального строку заміни за фактичним станом. Це дозволяє підвищити ефективність експлуатації техніки та скоротити витрати на обслуговування. Точність прогнозування визначається якістю діагностичних методик, надійністю вимірювальних засобів і коректністю математичних моделей, причому похибка не перевищує 20 %.

3. Розроблено підхід до прогнозування зміни ресурсу антифризу в залежності від концентрації продуктів корозійного зношування, швидкісного режиму руху, витрат палива, а також з урахуванням індивідуальних характеристик конкретного автомобіля і типу використовуваної охолоджуючої рідини.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Експериментально підтверджено, що метод оцінювання питомої об'ємної електропровідності відзначається високою чутливістю та об'єктивністю, а похибка вимірювань не перевищує 5 %.

5. Запропоновано систему організації профілактичного технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів за фактичним технічним станом. В її основу покладено діагностику якості охолоджуючих рідин у двигунах з урахуванням умов експлуатації та індивідуальних особливостей автомобіля.

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lin W, Sundén B. Vehicle cooling systems for reducing fuel consumption and carbon dioxide: literature survey. SAE Technical Paper 2010-01-1509. 2010, URL: <https://doi.org/10.4271/2010-01-1509>
2. Prudhvi G, Vinay G, Babu GS. Cooling systems in automob-iles & cars. International Journal of Engineering and Ad-vanced Technology (IJEAT). 2013;2(4):688-696.
3. Vijay T. A short article on engine cooling systems. 2017. <https://www.linkedin.com/pulse/short-article-engine-cooling-systems-vijay-tharad/>
4. Schneider S, Stehlig J, Eilemann A. Cascaded charge air cooling for PC diesel engines. MTZ Worldwide 2014;75(6):4-9. <https://doi.org/10.1007/s38313-014-0155-3>
5. Pastor JV, García-Oliver JM, Pastor JM, Ramírez-Hernández JG. Ignition and combustion development for high speed direct injection diesel engines under low temper-ature cold start conditions. Fuel. 2011;90(4):1556-1566. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.01.008>
6. Alves LOFT, Henríquez JR, da Costa JAP, Abramchuk V. Comparative performance analy-sis of internal combustion engine water jacket coolant using a mix of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CuO-based nanofluid and ethylene glycol. Energy. 2022: 250:123832. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123832>
7. Наглюк М.І. Оцінка якості охолодної рідини при експлуатації ДВЗ / М.І. Наглюк // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. - 2008. - Вип. 42. - С.39-42.
8. ГОСТ 28084-89 Рідини охолоджуючі низькозамерзаючі. Загальні технічні умови.
9. ASME D3306-19 Standard specification for glycol base engine coolant for automobile and light-duty service. <https://standards.globalspec.com/std/13302102/ASTM%20D3306-19>

					КВРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Fritz P. Learning coolant basics. Machinery Lubrication (Noria Publication) 2006;1:841.

11. Taofeek Y. A study on the factors influencing preferred use of water over the branded engine coolant among automobile users. International Journal of Trend in Research and Development. 2017;4(6):68-70.

12. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

13. ChemTreat. Cooling water corrosion inhibitors. <https://www.chemtreat.com/cooling-systems-corrosion-inhibition/>

14. Farooq MS, Farid EMM, Ali U, Mukhtar T. Comparative analysis of nanofluid coolant in a car radiator using CFD. The International Journal of Thermal & Environmental Engineering (IJTEE). 2021;18(1):1-8.

15. Ł Stajuda, D Levchenko, P Kubiak, K Siczek, G Bogusławski, M Kuchar, M Woźniak (2024). Composition, features, problems, and treatment related to cooling fluid – a review. *Combustion Engines*, P. 1-20, URL: <https://doi.org/10.19206/CE-169185>

16. Cooper M.G. Growth of diffusion controlled vapour bubbles at a wall in a known temperature gradient / M.G. Cooper, T.T. Chandratilleke // Int. J. Heat and Mass Transfer. - 1981. - 24, № 9. - P. 1475-1492.

17. Наглюк М. І. Прилад для вивчення, вимірювання, контролю та реєстрації електропровідності рідин, що застосовуються в автомобілі / М. І. Наглюк, В. В. Федченко // Автошляховик України. - 2013. - № 1. - С. 20 - 22

18. Пат. 103732 Україна, МПК G01R 27/22. Інтелектуалізована діагностична система для визначення експлуатаційних властивостей рідини / Федченко В.В., Тернюк М.Е., Наглюк М.І., Наглюк І.С., Дмитрук І.А.; Заявник та патентоутримувач Харківській національний автомобільно-

					КВРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дорожній університет. - № а 2012 13539; заявл. 26.11.2012; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.

19. ASHRAE Handbook 2009 Fundamentals, physical properties of secondary coolants. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta 2009.

20. Основи теорії планування експерименту: Розділ дисципліни «Методика та організація наукових досліджень» [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» / А.М.Волокита, В.Л.Селіванов О. А; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,58 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 41 с.

21. Планування та обробка результатів експерименту у сфері цивільного захисту: підручник / В. В. Тютюник, М. В. Кустов, О. О. Тютюник. – Х.: НУЦЗУ, 2023. – 308 с.

22. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. - К.: Мінтранс України, 1998. -16 с.

23. Huang KD, Tzeng SC, Ma WP. Effects of anti-freeze concentration in the engine coolant on the cavitation temperature of a water pump. Appl Energ. 2004;79(3):261-273. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.01.004>

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КвРМТВА. 24358.01.38.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82