

М. І. Наглюк¹
В. М. Павленко¹
В. П. Кужель²
П. В. Черненко³

ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ АНТИФРИЗУ ТА ЇХ КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ЗВ'ЯЗОК З ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЮ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІЖМІСЬКИХ АВТОБУСІВ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Вінницький національний технічний університет

³Національна академія Національної гвардії України

У статті розглянуті питання раціонального використання нафтопродуктів, спеціальних рідин та антифризів, які стають особливо актуальними в умовах неперервної зміни цін на них. Малі терміни експлуатації антифризу призводять до його необґрунтованої перевитрати, більші – до зниження експлуатаційної надійності та довговічності деталей системи охолодження двигуна. Оптимальним рішенням у цій ситуації є проведення періодичного контролю, який дасть змогу прогнозувати терміни експлуатації антифризу у двигуні, спираючись на його фактичний стан.

Мета роботи: встановити кореляційний зв'язок між стандартними показниками якості антифризу та електропровідністю, для використання останнього як експрес-показника якості охолоджувальної рідини автобуса.

Тема роботи розкривається шляхом вивчення питання періодичного контролю працюючих антифризів, який здебільшого не проводять, попри те, що антифриз контактує одночасно з безліччю поверхонь деталей двигуна, виготовлених із різних матеріалів і сплавів. У робочому стані антифриз у системі охолодження забезпечує номінальний тепловий режим роботи двигуна. Завдяки цьому раціонально використовується технічний ресурс двигуна, вкладений в його конструкцію під час проектування та виготовлення. З появою у двигуні певних несправностей антифриз може втратити працездатність протягом дуже короткого проміжку часу і стати однією з причин відмови.

У кінцевому підсумку в роботі розглянуто рекомендовані заводами-виробниками терміни зміни антифризів автобусів, які не завжди обґрунтовані через застосування двигунів різних моделей і модифікацій, що працюють в неоднакових умовах експлуатації. Проведено експериментальні дослідження показників якості відпрацьованих антифризів автобусів і розраховано коефіцієнти їх кореляції з величиною показника електропровідності.

Ключові слова: автобус, антифриз, експлуатація, показники якості, електропровідність, кореляційний зв'язок, охолоджувальна рідина, математична модель.

Постановка проблеми

Високі темпи технічного прогресу передбачають інтенсивний розвиток автомобільної техніки в напрямі збільшення випуску автотранспортних засобів, підвищення їхньої якості, надійності та довговічності.

Система охолодження двигуна та її відповідність сучасним вимогам, які постійно зростають, значною мірою зумовлюють працездатність, надійність і довговічність автобусних двигунів, що працюють при змінних навантаженнях і в дуже різних метеорологічних і кліматичних умовах. Тому охолоджувальна рідина є однією з головних функціональних рідин автомобіля (разом із моторною оливою, гальмівною рідиною та паливом). Проте у нас історично склалося недбале ставлення до охолоджувальної рідини, викликане недооцінкою або нерозумінням її значення. Згубні наслідки від застосування неякісної охолоджувальної рідини здебільшого виявляються не відразу, а через певний проміжок часу після початку її використання. Та й не всякий фахівець зможе зрозуміти, що причиною проблеми, яка виникла в автобусі, є охолоджувальна рідина.

Антифриз і сама система охолодження відіграють важливу роль для двигуна. Вони підтримують у ньому оптимальний тепловий режим, необхідний для одержання найбільш ефективних показників потужності і паливної економічності, забезпечення розрахункової довговічності і зносостійкості деталей. Водночас температура охолоджувальної рідини повинна втримуватися в певних межах незалежно від того, у важких чи легких умовах експлуатується двигун автобуса.

Високий ступінь стиску і напружені режими руху в сучасних містах змушують ДВС працювати за більш високих температур. Це приводить до того, що охолоджувальна рідина при постійній робочій температурі 90...100 °С повинна мати запас за температурою кипіння (хоча б 110...120 °С).

Крім того, при постійних змінах цін на нафтопродукти, а як наслідок – і на спеціальні рідини та антифризи – особливо актуальними стають питання щодо їх раціонального використання. Малі терміни експлуатації антифризу призводять до його необґрунтованої перевитрати, великі – до зниження експлуатаційної надійності та довговічності деталей системи охолодження двигуна.

Враховуючи зазначене, оптимальним рішенням буде проведення періодичного контролю основних показників якості антифризу, що дозволить прогнозувати термін його експлуатації у двигуні автобусу, спираючись на фактичний стан.

Основна частина

При експлуатації автобусів періодичний контроль працюючих антифризів майже не проводять, попри те, що антифриз контактує одночасно з багатьма поверхнями деталей двигуна, виготовлених із різних матеріалів і сплавів. У працездатному стані антифриз у системі охолодження забезпечує номінальний тепловий режим роботи двигуна. Завдяки цьому раціонально використовується технічний ресурс двигуна, закладений у його конструкцію під час проектування та виготовлення. З появою у двигуні несправностей антифриз може втратити працездатність протягом дуже короткого проміжку часу та стати однією з причин настання відмови в роботі системи охолодження та двигуна загалом, підвищеного зношування деталей та передчасного зменшення ресурсу [1, 2, 3].

Рекомендовані терміни зміни антифризів не завжди обґрунтовані через застосування двигунів різних моделей та модифікацій, що працюють у різних умовах експлуатації. Зазвичай на момент зміни антифризи не вичерпують запас своїх експлуатаційних властивостей і можуть працювати довше без зниження надійності роботи систем двигуна. При досягненні одним або кількома показниками якості охолоджувальної рідини граничних значень відбувається збільшення швидкості кавітаційно-корозійного зношування деталей, підвищення її схильності до піноутворення, утворення накипу та відкладень у системі охолодження двигуна, що з часом знижує надійність, економічність та екологічність автобуса.

Вимоги та рекомендації заводів-виробників суднових двигунів внутрішнього згоряння до охолоджувальних рідин встановлюють основні показники якості (вміст сульфат та хлорид-іонів не більше 200 мг/л, загальний солевміст, твердість води, водневий показник, поверхневий натяг, кінематична в'язкість) та гранично допустимі значення цих характеристик (табл. 1) [3].

Таблиця 1

Граничні значення показників експлуатаційних властивостей охолоджувальних рідин суднових дизелів [3]

Назва показника	Значення
Водневий показник, рН	8,5–9,0
Кінематична в'язкість, мм ² /с	1,2
Поверхневий натяг, Н·м	0,055

Виробники автобусів обов'язково вказують у карті сервісного обслуговування періодичність технічного обслуговування та зміну антифризу, моторних та трансмісійних оливок у силових агрегатах на період гарантійного обслуговування. Картою сервісного обслуговування автобусів ЗАЗ та «Богдан», наприклад, передбачено заміну антифризу через 60 тис. км або 24 місяці експлуатації.

У процесі експлуатації автобусів, при роботі двигуна, антифриз, виконуючи функції з відведення тепла, також виконує й мийочну функцію і накопичує в собі продукти корозійного зношування та забруднень, що призводить до зміни основних показників якості охолоджувальної рідини.

До основних видів забруднень охолоджувальних рідин у процесі їх експлуатації у двигуні можна віднести продукти хімічної та кавітаційної корозії, олівні та жирові відкладення, частинки піску, накипу, бруду, силіконових герметиків, продукти розкладання антифризів (гелі) та відпрацьовані присадки. Всі вони призводять до того, що охолоджувальна рідина починає втрачати експлуатаційні властивості і гірше виконує основну функцію – підтримування оптимального теплового режиму роботи двигуна.

Використання неякісного антифризу призводить до передчасних відмов у роботі системи охолодження двигуна: виходу з ладу радіатора внаслідок його корозійного зношування або закупорки

трубок; здуття та втрата еластичності гумових шлангів призводить до течій; сильне спінювання погіршує охолодження та призводить до перегріву теплонапружених деталей двигуна.

Ресурс двигунів насамперед визначається зносом деталей та вузлів систем двигуна. Для зниження відмов деталей, вузлів та систем двигуна під час експлуатації необхідно своєчасно виявляти зміни основних характеристик властивостей антифризів.

Для визначення фактичного стану охолоджувальної рідини та її заміни необхідно проводити періодичний контроль. Зазвичай періодом є величина, яка вимірюється в кілометрах пробігу або часі (місяць, рік).

Однак у такому разі не враховується те, що при простій автобуса з працюючим двигуном (прогрів, рух на підйом, простій на світлофорі тощо) охолоджувальна рідина продовжує працювати і виробляти свій ресурс. У роботах [4, 5, 6, 14, 15] розглядається вплив охолоджувальної рідини на зміну витрати палива.

Діагностуючи антифриз, можна отримати об'єктивну інформацію про процес зміни основних показників якості антифризу, електропровідності та швидкості надходження продуктів корозійного зношування сполук та деталей системи охолодження двигуна під час експлуатації.

Швидкість надходження продуктів зносу в охолоджувальну рідину є узагальнюючим показником, що характеризує якість застосовуваного антифризу, вихідний технічний стан двигуна, його систем і механізмів, а також режими роботи та умови експлуатації [7].

Знаючи граничне значення концентрації продуктів корозійного зношування та вимірне значення, можна уточнювати залишковий ресурс антифризу за формулою:

$$L_p^{341} = (F_{д.к} - F_{вим}) \cdot V_o \cdot \rho_p \cdot V_a / 60I, \quad (1)$$

де $F_{д.к}$ – допустима концентрація продуктів корозійного зношування в антифризі, г/т; $F_{вим}$ – вимірня концентрація продуктів корозійного зношування в антифризі, г/т; V_o – об'єм системи охолодження, м³; ρ_p – щільність антифризу, т/м³; V_a – швидкість руху автобуса, км/год; I – швидкість потрапляння продуктів корозійного зношування в антифриз, г/хв.

Ще одним узагальнюючим показником якості охолоджуючої рідини може бути електропровідність антифризу. Питання, пов'язані з електропровідністю рідин, розглядаються науковою громадськістю досить давно. Вимірювання електропровідності вуглеводневих рідин (палив, олив, розчинів, розчинів присадок) широко використовується не тільки для оцінки цього показника, а й для дослідження міжмолекулярних взаємодій у зазначених рідинах. Електропровідність характеризує наявність у цих рідинах вільних заряджених частинок, здатних пересуватися під дією електричного поля (електронів, іонів, заряджених колоїдних частинок) [4, 9, 11]. Результати вимірювань електропровідності стандартних розчинів за різних температур наведено в літературі [8]. У роботах [9, 10, 11] описано дослідження та наведено результати зміни електропровідності різних вуглеводневих рідин, чистих та відпрацьованих зразків різних олив.

Найбільшого поширення набули три основні методи визначення електропровідності: вимірювання при постійній напрузі; вимірювання при перемінній напрузі; вимірювання методом розряду конденсатора. Залежно від методу вимірювання в рідині під дією прикладеного електричного поля можуть протікати побічні явища – поляризація та електроочищення. Під час використання змінної напруги на результат помітно впливають поляризаційні струми, що виникають внаслідок поляризації дипольних молекул і протікають протягом усього виміру. Під час застосування методу постійної напруги поляризація виникає тільки в моменти подачі та відключення напруги, тому її вплив на результати вимірювання можна ігнорувати [11]. Крім того, вимірювання при постійній напрузі здійснюється за допомогою приладів, що серійно випускаються та вимірюють малі струми або великі опори [12].

Для вимірювання об'ємного електричного опору охолоджуючих рідин використовувався цифровий прилад та методика викладена в ГОСТ 6581-75. За цією методикою для розрахунку електропровідності необхідно визначити електричний опір, що обчислюється за формулою [12]:

$$\rho_v = 0,113 \cdot C_o \cdot R_v \cdot 10^{12}, \quad (2)$$

де R_v – вимірне значення об'ємного електричного опору, Ом; C_o – ємність порожньої вимірювальної комірки, вимірня при температурах випробувань, Ф.

Електропровідність розраховувалася за формулою:

$$\chi = \frac{1}{\rho_v}, \quad (3)$$

де ρ_v – об’ємний електричний опір, Ом.

Для встановлення терміну служби антифризу за фактичним станом, індивідуально по конкретному автобусу, необхідно здійснювати постійне діагностування, тобто контроль якості антифризу шляхом проведення фізико-хімічного аналізу його проб. Однак слід зазначити, що такий контроль пов’язаний із значними труднощами, що зумовлено, зокрема, необхідністю в експлуатуючих організаціях мати спеціальні хімічні лабораторії, постійний штат працівників, відповідне обладнання, реактиви тощо. Тому інтегральним бракувальним параметром антифризу, який би характеризував його стан загалом і визначення якого б тривало небагато часу, може бути електропровідність антифризу.

Зміна основних показників від пробігу, що характеризують якість антифризу, який застосовується в автобусах (пробіг автобусів з початку експлуатації понад 500 тис. км), представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати аналізу охолоджуючої рідини «ХТ Antifreeze»

Назва показника	ХТ Antifreeze (0 км)	Фактичний термін служби антифризу у двигуні міжміського автобуса			
		Neoplan 121 тис. км	VanHool 120 тис. км	Setra 120 тис. км	
- щільність за 20°C, г/см ³	1,145	1,062	1,085	1,065	
- температура застигання, °C	<-30	<-30	<-30	<-30	
- водневий показник, рН	6,5	6,61	7,08	7	
- лужність, см ³ , не менше	14,3	14	11,4	10,5	
- електропровідність, Ом ⁻¹ ·м ⁻¹	6,216·10 ⁻⁵	6,573·10 ⁻⁵	5,86·10 ⁻⁵	6,216·10 ⁻⁵	
- в’язкість кінематична, мм ² /с, за 80 °C	1,28	0,79	1,02	0,81	
- корозійний вплив на метали, г/м ² ·доб.:					
– мідь	0,0044	0,0075	0,0023	0,0111	
– латунь	0,0028	0,0049	0,002	0,0073	
– алюміній	0,0086	0,0104	0,0062	0,0086	
– сталь	0,0578	0,0994	0,1308	0,0547	
– чавун	0,1168	0,0628	0,1017	0,1035	
- концентрація продуктів корозійного зношування, г/т:					
Fe	–	236	338	326	
Al	–	216	410	92	
Cu	–	20	782	16	
Sn	–	172	147	115	
- швидкість надходження в антифриз: алюмінію	мг/км	-	0,12	0,24	0,05
	мг/л	-	0,44	0,96	0,22
заліза	мг/км	-	0,13	0,2	0,19
	мг/л	-	0,48	0,79	0,77
міді	мг/км	-	0,01	0,46	0,009
	мг/л	-	0,04	1,82	0,038

Аналізуючи зміну параметрів властивостей антифризу представлених у табл. 2, слід зазначити, що при пробігу 120 тис. км заміні підлягає антифриз в автобусі «VANHOLL».

Коефіцієнти кореляції між змінними величинами електропровідності та показниками, що характеризують властивості антифризу, були отримані за допомогою статистичного аналізу та обробки даних [13].

Формула для розрахунку коефіцієнта кореляції має такий вигляд:

$$|r| = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(n-1) \cdot S_x \cdot S_y}, \quad (4)$$

де x_i – величина показника якості, що визначається; y_i – величина параметра, що вимірюється; \bar{x} – середнє значення величини показника якості; \bar{y} – середнє значення параметра; S_x та S_y – вибіркові дисперсії.

У результаті досліджень коефіцієнти кореляції становили:

- для залежності величини параметра електропровідності від температури $r = 0,93...0,95$;
- для залежності величини параметра електропровідності від щільності $r = 0,29...0,35$;
- для залежності величини параметра електропровідності від водневого показника $r = 0,69...0,72$;
- для залежності величини параметра електропровідності від концентрації продуктів корозійного зношування $r = 0,96...0,97$;
- для залежності величини параметра електропровідності від величини корозійної дії на метали $r = 0,13...0,38$.

Отримані значення коефіцієнтів кореляції підтверджують кореляційний зв'язок з основними показниками, що характеризують властивості антифризів.

Висновки

Оцінюючи основні показники якості антифризів під час проведення чергового технічного обслуговування і при черговій заміні охолоджуючої рідини, можна точніше встановити доцільність експлуатації автобуса на антифризі конкретного виробника, терміни його зміни і прийняти рішення про заміну деталі або вузла системи охолодження, для уникнення настання відмови.

Отримані значення коефіцієнтів кореляції підтверджують кореляційний зв'язок електропровідності з основними показниками, що характеризують якість антифризу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Драгомиров С. Г., Шкапцова М., Глинкін А. Фільтри для очищення охолоджувальної рідини в автомобільних двигунах. *Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: Транспортні системи і технології*. Донецьк: ДонНТУ, 2010. Вип. 18(7). С. 52–55.
- [2] Гаврилов О. К. Фільтрація охолоджуючої рідини в системі дизеля. *Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «Автомобільна техніка і технології»*. Харків: ХНАДУ, 2003. С. 162–165.
- [3] Безюков О. К. Моделювання процесів старіння охолоджуючих рідин ДВС. *Наукові праці Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. Черкаси: ЧДТУ, 2011. Вип. 27(2). С. 84–89.
- [4] Окоча А. І., Антипенко А. М. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали. Київ: Урожай, 1996. 336 с.
- [5] Екологічно безпечні антифризи для транспорту / Є. В. Іщенко та ін. *Транспортні системи і технології*. 2021. № 1(49). С. 96–107.
- [6] Кравець В. Ю. Профілактика корозії в системах охолодження двигунів транспортних засобів. *Автомобільна та транспортна техніка*. 2015. № 40. С. 36–39.
- [7] Наглюк М. І., Волков В. П., Наглюк І. С. Уточнення термінів зміни антифризів під час експлуатації. *Наукові нотатки: міжвузівський зб.* Луцьк, 2012. Вип. 37. С. 246–256.
- [8] Хімія: підручник / за ред. К. Лимаренко. Харків: Фоліо, 2014. 960 с.
- [9] Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / упор. В. Я. Чабанний. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. 353 с.
- [10] Solymar L. *Electrical Properties of Materials*. Oxford University Press; 10-th edition (November 27, 2018). 512 p.
- [11] Experimental Study of the Electrical Conductivity of Hydrocarbon Liquids at High Temperatures and Pressures / by S. Xu, S. Li, Y. Li and X. Li, *Energy & Fuels*, vol. 29, issue 5, pp. 3209–3215, 2015.
- [12] ГОСТ 6581-75. Матеріали електроізоляційні рідини. Методи електричних випробувань. Зі змінами № 1, № 2, № 3. Чинний від 2002–07–12 / розробник Міністерство електротехнічної промисловості СРСР.
- [13] Joaquim Sá. *Applied Statistics Using Spss, Statistica, Matlab and R* (англ.). Berlin: Springer, 2007.
- [14] Поліпшення паливної економічності і екологічних показників транспортних засобів з системою теплової підготовки: монографія / І. В. Грицук та ін. Харків–Херсон–Вінниця: Едельвейс і К, 2022. 178 с. ISBN 978-617-7237-99-9.
- [15] Оперативний контроль технічного стану транспортних засобів: монографія / І. В. Грицук та ін. Харків–Херсон–Вінниця: Едельвейс і К, 2022.–197 с. ISBN 978-617-7417-00-1.

Наглюк Михайло Іванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: golkiper86@ukr.net

Павленко В'ячеслав Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: vp.khadi@gmail.com

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Кужель Володимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Черненко Павло Володимирович – викладач кафедри автомобільної бронетанкової техніки, e-mail: pav.chernenko@ukr.net

Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

M. Nahliuk¹
V. Pavlenko¹
V. Kuzhel²
P. Chernenko³

Quality indicators of antifreeze and their correlation with electrical conductivity during the intercity buses operation

¹Kharkiv National Automobile and Highway University

²Vinnitsia National Technical University

³National Academy of the National Guard of Ukraine

The article deals with the issues of rational use of petroleum products, special liquids and antifreezes, which become especially relevant in the context of continuously changing prices for them. Short service life of antifreeze leads to its unreasonable overspending, long - to a decrease in operational reliability and durability of parts of the engine cooling system. The best solution in this situation is to carry out periodic monitoring, which will allow you to predict the life of the antifreeze in the engine, referring to its actual state.

The purpose of the work: to establish a correlation between standard indicators of antifreeze quality and electrical conductivity, in order to use the latter as an express indicator of the quality of a bus coolant.

The topic of the work is revealed by studying the issue of periodic monitoring of working antifreezes, which in most cases is not carried out, losing sight of the fact that antifreeze contacts simultaneously with many surfaces of engine parts made of various materials and alloys. In working condition, the antifreeze in the cooling system ensures the nominal thermal regime of the engine. Thanks to this, the technical resource of the engine, incorporated in its design during design and manufacture, is rationally used. With the appearance of certain malfunctions in the engine, antifreeze can lose its performance within a very short period of time and become one of the causes of failure.

Ultimately, the paper considers the replacement periods for bus antifreezes recommended by manufacturers, which are not always justified due to the use of engines of various models and modifications operating under different operating conditions. Experimental studies of the quality indicators of spent antifreezes of buses were carried out and the coefficients of their correlation with the value of the electrical conductivity index were calculated.

Key words: bus, antifreeze, operation, quality indicators, electrical conductivity, correlation, coolant, mathematical model.

Nahliuk Mykhailo – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Technical operation and service of cars department, e-mail: golkiper86@ukr.net

Pavlenko Viacheslav – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Technical operation and service of cars department, e-mail: vp.khadi@gmail.com

Kuzhel Volodymyr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Chernenko Pavlo – Lecturer, Department of Automotive Armored Equipment, e-mail: pav.chernenko@ukr.net