

УДК 623.437

А.П. Кудрявцева, Т.П. Мухіна, О.М. Леоненко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛЯХІВ ВИДАЛЕННЯ НАКИПУ З СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНІВ ЗАСОБІВ НАЗЕМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

У статті наведені результати досліджень ефективності способів видалення накипу, що широко використовуються у приладах побутової техніки, як певних альтернативних шляхів забезпечення працездатності систем охолодження двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) автомобілів та спеціального обладнання засобів наземного забезпечення польотів літальних апаратів (ЗНЗП ЛА).

Ключові слова: система охолодження, двигун, охолоджувальна рідина, жорсткість води, накип, оцтова кислота, лимонна кислота, способи видалення накипу.

Вступ

Постановка проблеми. У сучасних умовах бойові можливості авіації Повітряних Сил значно залежать від якісного, своєчасного та повного наземного забезпечення дій авіації, основу якого складають ЗНЗП ЛА.

Досвід експлуатації автомобільної та електрогазової техніки у повсякденній діяльності та її використання під час бойових завдань в зоні АТО свідчить, що для підтримання бойової готовності частин та якісної підготовки ЛА до польотів дані засоби повинні бути здатними за короткий час забезпечити авіаційні підрозділи необхідними матеріальними засобами для виконання завдання за призначенням.

Огляд та аналіз сучасного стану парку ЗНЗП ЛА ПС ЗСУ показує, що при загальній задовільній укомплектованості, технічний стан більшості з них наблизився до критичного рівня, що викликано, в першу чергу, відпрацюванням нею більшої частини ресурсів: за марками та технічним станом – 100 % ЗНЗП ЛА мають строк служби понад 12 років, з них більша частина близько 20 та більше років.

За статистичними даними з усіх несправностей автомобілів, які виникають у процесі їхньої експлуатації, близько 70 % припадає на двигун, з них на систему охолодження – 5...17 % (залежно від умов та інтенсивності використання).

За експериментальними даними загальний знос двигуна при його розігріві від 25 до 62 °С з термостатом у 7-8 разів менший, ніж без нього. При роботі на зниженому тепловому режимі знос двигуна зростає в 1,6 рази, питома витрата палива зростає до 30 %, а потужність падає на 10 % [1, 2].

Підтримання технічного стану та моральний знос ЗНЗП ЛА, які знаходяться на озброєнні, постійно викликають потребу проведення своєчасного та повного обсягу технічного обслуговування (ТО) і ремонтних робіт.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Спираючись на основні принципи планово-попереджувальної системи ТО машин та враховуючи реальний стан автомобільної і спеціальної техніки, накази Міністра оборони України, методичні вказівки Командувача Повітряних Сил ЗСУ та інші керівні документи вимагають від особового складу автомобільних спеціальностей якісного та ретельного виконання заходів по підтриманню озброєння та військової техніки (ОВТ), і в тому числі систем охолодження двигунів, у належному технічному стані, як при використанні, так і під час зберігання машин [3-8].

Надійність роботи рідинної системи охолодження суттєво залежить від властивостей охолоджувальної рідини, що в ній застосовується.

Найпоширенішою рідиною, яка використовується для охолодження ДВЗ армійських автомобілів та ЗНЗП ЛА, залишається вода. Завдяки невеликій в'язкості ($\nu_{20} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$), високій теплопровідності та теплоті випаровування, вона має найбільшу охолоджувальну здатність. З відомих охолоджувальних рідин вода має найвищу питому теплоємність. Лише деякі рідини (етиловий спирт, етиленгліколь) наближаються до неї за цим показником. Крім того, вода є порівняно недефіцитною та дешевою, цілком нешкідливою, пожежно безпечною та зручною при використанні.

Проте істотним недоліком води як охолоджувальної рідини є здатність утворювати в системі накип і шлам (мулисті відкладення мінерального або органічного походження, що накопичуються в застійних порожнинах сорочки охолодження двигуна та нижньому бачку радіатора) [1, 2, 9].

Утворення накипу в системі охолодження пов'язане з випадінням з водного розчину солей кальцію та магнію. Накип має дуже малу теплопровідність (приблизно у 100 разів меншу, ніж сталь). При відкладенні накипу порушується тепловий режим, одночасно зменшується перетин трубок радіа-

тора, що веде до перегріву ДВЗ і, як наслідок, до збільшення витрати палива (рис. 1) та оливи. Відкладення накипу в сорочці блоку циліндрів та головках блоку часто веде до появи тріщин: через погіршення охолодження стінки нерівномірно розширюються, у металі виникають значні внутрішні напруження.

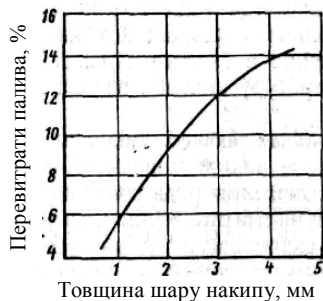


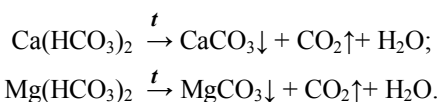
Рис. 1. Залежність перевитрати палива від товщини шару накипу

Формулювання мети статті: визначення обґрунтованих пропозицій щодо заходів ТО для підвищення працездатності систем охолодження двигунів ЗНЗП ЛА на підставі аналізу ефективності існуючих способів видалення (очищення) накипу в системах і приладах різного, в тому числі побутового, призначення.

Виклад основного матеріалу

Загально відомо, що показник вмісту у воді солей Ca та Mg називають жорсткістю, яка визначається тільки лабораторним шляхом. Розрізняють тимчасову, постійну та загальну жорсткість.

Тимчасова жорсткість характеризує вміст у воді гідрокарбонатів кальцію $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ та магнію $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Ці солі можуть перебувати у воді в розчиненому стані тільки в присутності деякої кількості вільної вуглекислоти. При температурі вище 85°C вони розкладаються:



Практично нерозчинні у воді карбонати кальцію й магнію випадають в осад, утворюючи накип на внутрішніх поверхнях деталей системи охолодження, а вуглекислий газ виділяється в атмосферу. Таким чином, при кип'ятінні гідрокарбонати вилучаються з води.

Постійна жорсткість визначається присутністю у воді більш стійких сульфатів (CaSO_4 , MgSO_4) та хлоридів (CaCl_2 , MgCl_2). При кип'ятінні води вони не випадають в осад, а залишаються у розчині. Однак при сильному випаровуванні води концентрація солей підвищується, і вони частково випадають в осад, беручи участь у накипоутворенні. Особливо велику шкоду спричиняють гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, що дає винят-

ково твердий накип, та MgCl_2 , який гідролізується при підвищених температурах з утворенням HCl .

Найпростішим способом часткового пом'якшення води є кип'ятіння протягом 20-30 хв, при якому гідрокарбонати перетворюються на карбонати, що випадають з води у вигляді осаду. Після фільтрації воду можна використовувати для систем охолодження. Залишкова тимчасова жорсткість становить, як правило, не більше 1-2 мг-екв/л (вуглекислий магній тільки частково випадає в осад). Даний спосіб найбільш придатний для індивідуального користування.

Досить поширені хімічні способи пом'якшення: додавання до води речовин, що утворюють із солями кальцію та магнію нерозчинні сполуки, які випадають в осад. До таких способів відноситься вапняно-содове пом'якшення: до води додають соду (Na_2CO_3) і розчин вапна – гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Усі накипоутворюючі речовини випадають у вигляді нерозчинних речовин CaCO_3 , MgCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Цей спосіб ефективніший за кип'ятіння.

В умовах експлуатації для попередження утворення накипу інструкціями з ТО автомобілів та ЗНЗП ЛА рекомендується як можна рідше змінювати воду у двигуні, а видалення з системи охолодження ДВЗ накипу, продуктів корозії і шламу здійснювати шляхом роздільного промивання радіатора і сорочки охолодження блоку двигуна в напрямку, протилежному циркуляції рідини в системі [1, 2, 9].

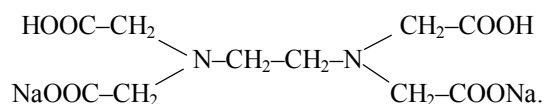
Періодично при сезонному ТО накип, що утворився, видаляють водними розчинами таких речовин як молочна кислота, кальцинована сода, хромовий ангідрид, трилон Б, суміш тринатрійфосфату та кальцинованої соди тощо. Як антинакипін використовують також хромпик $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Однак багато засобів для пом'якшення води є токсичними, тому при їхньому використанні потрібно дотримуватися необхідних заходів безпеки. Крім того, складові для приготування цих розчинів у 99 % випадків при повсякденному використанні автомобільної техніки, а тим більше в польових та бойових умовах, у підрозділах відсутні.

Враховуючи такий стан справ, цікавою для досліджень стала ідея використання народних споживчих "рецептів" видалення накипу з систем охолодження ДВЗ, заснованих на способах усунення накипу в побутових приладах, оскільки природа відповідних процесів є аналогічною.

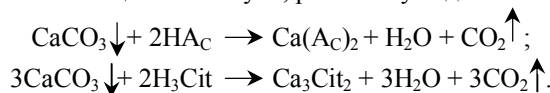
Найбільш "популярними" з них є видалення накипу за допомогою лимонної та оцтової кислот, харчової соди, а також комбіноване використання цих речовин для особливо важких випадків [10].

Для дослідження у роботі як еталон для порівняння був узятий трилон Б (динатрій етилендіамінтетрацетат) – нетоксичний, легко розчинний у воді порошок білого кольору, не схильний до піноутворення при нагріванні та кип'ятінні:



Як альтернативи трилону Б були досліджені більш дешеві й доступні оцтова кислота у формі 9 % розчину у воді та кристалічна лимонна кислота. У рівняннях реакцій формула оцтової кислоти скорочено позначена HA_c , а лимонної – H_3Cit .

Рівняння реакцій перетворення нерозчинних карбонатів кальцію на сполуки, розчинні у воді:



Розчинення карбонату магнію відбувається за аналогічними реакціями.

У табл. 1 та 2 наведені дані, що були використані для розрахунків та здійснення реакцій.

Таблиця 1

Значення молярних мас реагентів (М)

Реагенти	CaCO_3	MgCO_3	HA_c	H_3Cit	трилон Б
М, г/моль	100	84	60	192	356

Таблиця 2

Маси реагентів, потрібні для розчинення 1 г осаду, обчислені за рівняннями реакцій

осад	м, г	оцтова кислота (HA_c)	лимонна кислота (H_3Cit)	трилон Б
карбонат кальцію (CaCO_3)		1,20	1,28	1,78
карбонат магнію (MgCO_3)		1,43	1,52	2,12

Розчинення 1 г осадів карбонатів кальцію CaCO_3 і магнію MgCO_3 потребують відповідно 13,19 мл та 15,72 мл 9 % розчину оцтової кислоти, густина якого дорівнює 1,011 г/мл.

Для лабораторних дослідів були використані мідний термостат, чавунна кришка коробки термостату та фрагменти радіаторів двигуна ЗИЛ-131 і опалювача салону ГАЗ-3102 (рис. 2).

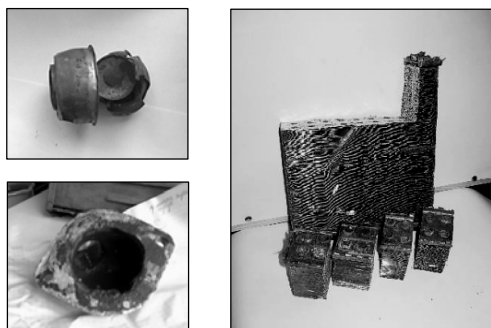


Рис. 2. Зразки деталей, які були використані в досліді

Розчин реагенту у водопровідній воді протягом 10-15 хв підігрівали у термостаті до температури 80-95 °С, потім у цей розчин занурювали зважену (рис. 3, а) досліджувану деталь, вкриту накипом, та витримували її

при вказаній температурі 30 хв, відтворюючи реальні умови роботи деталі на автомобілі (рис. 3, б). Оброблену деталь ретельно висушували при кімнатній температурі після чого зважували (як правило, не раніше наступного дня) (рис. 3, в), визначаючи абсолютне та відносне зменшення маси кожного зразка.

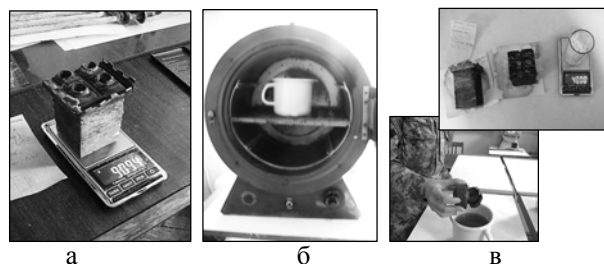


Рис. 3. Основні етапи проведення дослідів: а) зважування зразка деталі до обробки у реагенті; б) відтворення реальних умов роботи деталі у термостаті; в) зважування зразка деталі після обробки у реагенті та висушування

Кількість зразків для кожної деталі була не менше чотирьох. Кожен зразок послідовно досліджувався при 3-х значеннях концентрації реагентів. Оскільки друге значення концентрації перевищувало перше в 1,5, а третє – у 2 рази, умовно у розрахунках перша концентрація позначена як 100 %, друга та третя відповідно 150 та 200 %. Початкова (100 %) концентрація для кожного реагенту обиралась на підставі аналізу статистичної інформації [10]. Час витримки зразків деталей з реагентом у термостаті для всіх дослідів – 30 хв.

Отримані результати досліджень графічно представлені на рис. 4.

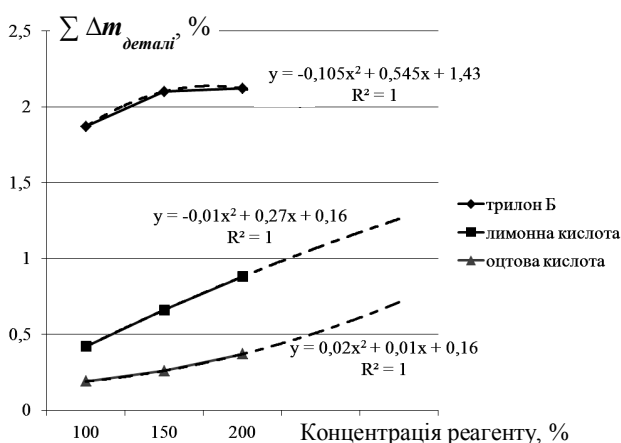


Рис. 4. Ефективність видалення накипу залежно від виду та концентрації реагенту

Характер графіків можна пояснити таким чином:

1) рекомендований у технічній літературі для видалення накипу з системи охолодження ДВЗ вміст трилону Б, а саме 20 г технічного трилону на 1 л води, дає цілком пристойні кількісні та якісні результати, що відповідають прогнозованому ефекту від його застосування. Збільшення вмісту реагенту в

розчині більш значимо цей ефект не покращують. Тому на практиці збільшувати вміст трилону Б в розчині для даної операції ТО не має особливого сенсу;

2) лимонна та оцтова кислоти порівняно з еталонним розчином дають менший кількісний та якісний ефект при рівнозначних вихідних даних дослідів. Однак лимонна кислота дає кращі результати, ніж оцтова, а характер кривої її графіка дозволяє очікувати ефект застосування, який за певних умов можливо порівнювати з ефектом видалення накипу еталонним розчином.

Промивання системи охолодження ДВЗ розчином трилону Б (20 г на 1 л води) рекомендується виконувати таким чином: розчин заливають у систему охолодження двигуна автомобіля на один день роботи (6-7 год), потім відпрацьований розчин зливають і заливають свіжий; промивання триває протягом 4-5 днів. Після цього систему промивають чистою водою.

Застосування розчину лимонної кислоти (17,0...25,5 г на 1 л води) для порівняно подібного ефекту очищення системи при її ТО в польових (бойових) умовах можна пропонувати за аналогічною методикою. Однак враховуючи можливість взаємодії розчину лимонної кислоти з очищеними від накипу поверхнями деталей з різних матеріалів, буде доцільним промивання системи чистою водою після кожного дня роботи на даному розчині.

Висновки

Спираючись на основні принципи планово-попереджувальної системи ТО машин і враховуючи реальний стан автомобільної та спеціальної техніки, у керівних документах МО України надається чимале значення та вимагається виконання заходів з підтримання ОВТ у належному технічному стані, в тому числі й систем охолодження двигунів, як при використанні, так і під час зберігання машин.

Найчастіше у системах охолодження ДВЗ армійських автомобілів та ЗНЗП ЛА використовується вода. З часом вона утворює накіп, який порушує тепловий режим роботи ДВЗ і призводить до його перегріву, виникнення в корпусних деталях значних

внутрішніх напружень та появи тріщин в них, збільшення витрати палива та оливи.

Результати проведених дослідів дозволяють пропонувати для очищення системи охолодження від накипу при її ТО в польових (бойових) умовах побутові "рецепти" – застосування розчину лимонної кислоти (17,0...25,5 г на 1 л води) за стандартною методикою з обов'язковим промиванням системи після кожного дня роботи на зазначеному розчині чистою водою та візуальним оглядом деталей і відпрацьованої рідини.

Список літератури

1. Полосков В.П. *Устройство и эксплуатация автомобилей. Учебн. / В.П. Полосков, П.М. Лецев, В.Н. Хартанович*. – М.: ДОСААФ, 1987. – 320 с.
2. Смирнов А.Т. *Эксплуатация армейских машин. Учебн. / А.Т. Смирнов*. – М.: Воениздат, 1978. – 432 с.
3. *Керівництво з експлуатації автомобільної техніки в ЗС України (Затверджено наказом МО України від 01.07.2002 р. № 219)*.
4. *Наказ Міністра оборони України від 19.11.2009 р. № 581 "Про затвердження Інструкції з перевірки та оцінки стану озброєння та військової техніки у ЗС України"*.
5. *Методичні вказівки з організації і проведення сезонного технічного обслуговування озброєння та військової техніки у військових частинах Повітряних Сил ЗС України (затв. Командувачем ПС ЗСУ від 02.04.2013 р.)*.
6. *Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта*. – М.: Транспорт, 1988. – 78 с.
7. *Руководство по А и ЭГС авиации ВС*. – М.: Воениздат, 1983. – 130 с.
8. *Леоненко О.М. Эксплуатация автомобилей та ЗАТЗП. Навч. пос. / О.М. Леоненко, В.В. Кав'юк, О.А. Бузилко*. – Х.: ХУПС, 2015. – 304 с.
9. *Леоненко О.М. Палива, мастильні матеріали та спеціальні рідини. Навч. пос. / О.М. Леоненко, Т.П. Мухіна, О.М. Березан*. – Х.: ХУПС, 2011. – 284 с.
10. *Інформація з мережі Internet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://1000sekretov.net/udalenie-nakipi-iz-chajnika-domashnimi-sredstvami/>; <http://kitchenmag.ru/posts/kak-ochistit-chaynik-ot-nakipi-7-sposobov/>; http://www.investtocar.ru/index.php?page=stat&id=promivka_radiatora*.

Надійшла до редколегії 15.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.О. Українець, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПУТЕЙ УДАЛЕНИЯ НАКИПИ ИЗ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ СРЕДСТВ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЁТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.П. Кудрявцева, Т.П. Мухина, А.Н. Леоненко

Приведены результаты исследований эффективности способов удаления накипи, которые широко применяются в приборах бытовой техники, для систем охлаждения двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: система охлаждения, двигатель, охлаждающая жидкость, жесткость воды, накипь, уксусная кислота, лимонная кислота, способы удаления накипи.

RESEARCH THE EFFICIENCY OF DESCALING FROM THE ENGINE COOLING SYSTEMS OF THE MEANS OF AVIATION FLIGHTS TERRESTRSAL ENSURING

A.P. Kudryavtseva, T.P. Mukhina, O.M. Leonenko

The results of research the efficiency of widely used in household appliances descaling methods for the cooling systems of internal combustion engines.

Keywords: cooling system, engine, cooling liquid, inflexibility of water, scum, vinegar acid, lemon acid, methods of delete of scum.