

Я.С. МІЩЕНКО, А.В. РУДИЙ, А.Ю. ВАСИЛЬЄВ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШТАТНИХ СИСТЕМ ПІДГРІВУ ДВИГУНА БОЙОВОЇ МАШИНИ ПІХОТИ

Проведено аналіз існуючих систем підігріву масла зразків бронетанкової техніки, обладнаних двигунами з сухим картером. Визначено переваги і недоліки існуючих систем підігріву масла зразків бронетанкової техніки обладнаних двигунами з сухим картером під час їх застосування на бойових броньованих машинах, на прикладі бойової машини піхоти БМП-2. Проаналізовано ефективність використання штатної системи передпускового підігріву двигуна бойової машини піхоти БМП-2. Надані пропозиції щодо модернізації існуючої системи передпускового підігріву масла двигуна бойової машини піхоти БМП-2, застосовуючи сучасні теплоізолюючі матеріали. Обґрунтовано необхідність збільшення часу охолодження масла в системі змащування двигуна з сухим картером, враховуючи основні фактори та сумарні сили опору в рухомих частинах та механізмах двигуна. Представлені результати експериментального дослідження швидкості охолодження масла МТ-16п отриманих за допомогою розробленого експериментального пристрою для визначення швидкості охолодження технічних рідин за різних значеннях температури зовнішнього повітря. Запропоновано спосіб визначення коефіцієнту охолодження на основі відомих законів теплопровідності з використанням отриманих експериментальних результатів швидкості охолодження масла МТ-16п за різних значеннях зовнішньої температури. Визначено середньодобові витрати пального одного механізованого батальйону, озброєного бойовими машинами піхоти необхідного для забезпечення існуючих вимог щодо їх експлуатації в умовах низьких температур. Обґрунтовано та запропоновано подальші кроки досліджень в напрямку впливу теплових характеристик різних типів теплоізолюючих матеріалів на зменшення швидкості охолодження масла в системі змащування двигуна з сухим картером пасивним способом, а також розроблення науково-методичного апарату який би, на відміну від існуючих, дозволяв здійснювати раціональний вибір типу та параметрів теплоізоляційних матеріалів для проведення модернізації існуючих систем підігріву бойових машин.

Ключові слова: бойова броньована машина; система передпускового підігріву; швидкість охолодження масла; теплоізолюючі матеріали; пасивна система підтримання температури масла

Я.С. МИЩЕНКО, А.В. РУДОЙ, А.Ю. ВАСИЛЬЕВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШТАТНЫХ СИСТЕМ ПОДОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ БОЕВОЙ МАШИНЫ ПЕХОТЫ

Проведен анализ существующих систем подогрева масла образцов бронетанковой техники, оборудованных двигателями с сухим картером. Определенные преимущества и недостатки существующих систем подогрева масла образцов бронетанковой техники оборудованных двигателями с сухим картером при их применении на боевых бронированных машинах, на примере боевой машины пехоты БМП-2. Проанализирована эффективность использования штатной системы предпускового подогрева масла двигателя боевой машины пехоты БМП-2. Представлены предложения по модернизации существующей системы предпускового подогрева масла двигателя боевой машины пехоты БМП-2, применяя современные теплоизолирующие материалы. Обоснована необходимость увеличения времени охлаждения масла в системе смазки двигателя с сухим картером, учитывая основные факторы и суммарные силы сопротивления в подвижных частях и механизмах двигателя. Представлены результаты экспериментального исследования темпа охлаждения масла МТ-16п полученных с помощью разработанного экспериментального устройства для определения темпа охлаждения технических жидкостей при различных значениях температуры наружного воздуха. Предложен способ определения коэффициента охлаждения на основе известных законов теплопроводности с использованием полученных экспериментальных результатов темпа охлаждения масла МТ-16п при различных значениях внешней температуры. Определены и выражены в количественном отражении среднесуточные расходы горючего одного механизированного батальона, вооруженного боевыми машинами пехоты необходимого для обеспечения существующих требований по их эксплуатации в условиях низких температур. Обоснованные и предложены дальнейшие шаги по проведению необходимых исследований в направлении влияния тепловых характеристик различных типов теплоизоляционных материалов на уменьшение темпа охлаждения масла в системе смазки двигателя с сухим картером пассивным способом, а также разработка научно-методического аппарата который бы в отличие от существующих позволял осуществлять рациональный выбор типа и параметров теплоизоляционных материалов для проведения модернизации систем подогрева боевых машин.

Ключевые слова: боевая бронированная машина; система предпускового подогрева; темп охлаждения масла; теплоизолирующие материалы; пассивная система поддержания температуры масла

Y. MISHCHENKO, A. RUDYI, A. VASILIEV

IMPROVING THE EFFICIENCY OF STAFF HEATING SYSTEMS FOR THE ENGINE OF THE INFANTRY COMBAT MACHINE

The analysis of the existing oil heating systems of samples of armored vehicles equipped with engines with dry crankcase. Advantages and disadvantages of existing systems of oil heating of samples of armored vehicles equipped with engines with dry crankcase during their use on combat armored vehicles, on the example of a BMP-2 infantry fighting vehicle, are identified. The effectiveness of the use of the regular system of pre-starting oil heating of the engine of the infantry fighting vehicle BMP-2 is analyzed. Suggestions for modernization of the existing system of pre-starting oil heating of the engine of the infantry fighting vehicle BMP-2 were made, using modern insulating materials. The necessity of increasing the cooling time of the oil in the system of lubrication of the engine with a dry crankcase is substantiated, taking into account the main factors and the total resistance forces in the moving parts and mechanisms of the engine. The results of the experimental study of the cooling rate of MT-16p oil obtained with the help of the developed experimental device for determining the cooling rate of technical liquids at different values of ambient air temperature are presented. A method of determining the coefficient of cooling based on the known laws of thermal conductivity with the use of the obtained experimental results of the cooling rate of oil MT-16p at different values of the external temperature is proposed. The average daily fuel consumption of one mechanized battalion of infantry armed with combat vehicles, necessary to meet the existing requirements for their operation at low temperatures, are defined and expressed in quantitative terms. Subsequent steps to carry out the necessary researches in the direction of influence of thermal characteristics of different types of insulating materials on reduction of the cooling rate of oil in the system of lubrication of the engine with dry crankcase in a passive way, as well as, development of scientific and methodical apparatus which would unlike existing ones are substantiated and proposed choice of type and parameters of thermal insulation materials for modernization of existing systems of heating of combat vehicles.

Keywords: armored combat vehicle; preheat system; oil cooling rate; thermal insulation materials; passive oil temperature control system

Постановка проблеми. У другій половині двадцятого сторіччя питання застосування бойових броньованих машин (ББМ) розглядалося стосовно

глибоких наступальних фронтних та армійських

© Я.С. Міщенко, А.В. Рудий, А.Ю. Васильєв, 2020

операцій. Необхідність забезпечення однорідності усіх типів ББМ за рухомістю в широкому діапазоні географічних умов Європи, перш за все в умовах пересіченої місцевості та бездоріжжя, була передумовою пріоритетного застосування на ББМ гусеничного рушія та силових установок з сухим картером. Однак, з розвитком інноваційних технологій у галузі машинобудування [1–14], необхідністю вирішення бойових завдань з розширеними просторовими показниками виникає необхідність створення перспективних ББМ, рівень енергоефективності яких повинен відповідати змінним умовам їх бойового застосування, а витрати на закупівлю та експлуатацію – економічним можливостям держави [1].

Обмежені економічні можливості, недостатній рівень спеціалізованого виробництва двигунів та окремих зразків озброєння і техніки призводить до того, що доводиться здійснювати модернізацію існуючих зразків ББМ з врахуванням змінених умов їх бойового застосування. У результаті проведення модернізації основних зразків недостатня увага приділяється силовим установкам, зокрема системам змащування двигунів із сухим картером. Підтвердженням цього є той факт, що з моменту використання силових установок із сухим картером на ББМ з середини минулого століття і по теперішній час суттєвих змін у цих системах не відбулося.

Спосіб подачі масла у двигун з окремо розташованим масляним баком має достатньо переваг на відміну від інших, зокрема, надійно забезпечується стабільність роботи системи змащування у різних положеннях ББМ під час руху, в тому числі при різких маневрах на великих швидкостях та передбачена можливість подачі масла безпосередньо на рухомі елементи двигуна перед його пуском, що суттєво підвищує надійність цього процесу за рахунок мінімізації сил опору провертанню колінчастого валу під час його пуску. Значення опору провертанню колінчастого валу залежать від густини масла і відповідно від її температури [2, 10–14].

Процес попереднього розігріву масла або підтримання його у визначених температурних режимах у системі змащування двигуна за низьких температур навколишнього повітря протягом тривалого часу є високовартісним. Це обумовлено роботою штатного підігрівача бойової машини піхоти (БМП), під час роботи якого витрачається до 8 кг дизельного пального на одну годину роботи. Використання великої кількості пального з метою підтримання бойової готовності підрозділів, розташованих на позиціях взимку, обумовлює актуальність проблеми, яка полягає у пошуку альтернативних підходів, які б дозволили зменшити витрату пального під час підтримання БМП у постійній бойовій готовності. **Аналіз бойових досліджень і публікацій.** За результатами аналізу існуючих штатних та модернізованих систем підігріву масла двигунів [3, 4] встановлено, що будь-які намагання покращити традиційні системи підігріву зводяться до інтеграції додаткових елементів, які покращують роботу лише самої системи, при цьому витрати пального не зменшуються, а в окремих варіантах модернізації навіть

збільшуються. Встановлено [2], що використовуючи штатну систему передпускового розігріву двигуна, приблизно 48% тепла, яке утворює передпусковий підігрівач протягом однієї години, витрачається на нагрів блоків і картера двигуна; 21% йде на нагрів охолоджуючої рідини; втрати тепла поверхніми двигуна і радіатором під час розігріву складають близько 27%, і лише 4% тепла використовується для розігріву масла в масляному баку (рис. 1).



Рисунок 1 – Розподіл витрат енергії тепла під час роботи підігрівача двигуна

Метою статті є визначити доцільність застосування в існуючих системах підігріву БМП альтернативних підходів, які б дозволили зменшити кількість пального під час розігріву та підтримання температури масла в експлуатаційних температурних діапазонах за рахунок збільшення часу його вистигання в маслобаку без зниження рівня оперативної готовності зразка.

Виклад основного матеріалу. З метою утримання БМП у постійній бойовій готовності механіки-водії зобов'язані підтримувати силову установку у визначених температурних режимах способом прогріву з використанням передпускового підігрівача або, у випадку його несправності, використовувати роботу силової установки, що в результаті приводить до підвищеного зносу елементів кривошипно-шатунного механізму та механізму газорозподілу. Також зазначений спосіб демаскує місце розташування кожної БМП за рахунок видимих вихлопних газів під час пуску двигуна (рис. 2).



Рисунок 2 – Пуск двигуна БМП при температурі зовнішнього середовища -5°C

Варто зазначити, що силові установки більшості гусеничних ББМ обладнані системами холодного пуску, які призначені для пуску двигунів ББМ в екстрених випадках при низьких температурах навколишнього повітря до мінус 20°C , коли наявні обставини не дозволяють розігріти силову установку передпусковим підігрівачем. Основне завдання таких систем – підігріти повітря у впускному колекторі

силової установки БМ для полегшення холодного пуску двигуна. Підігрів повітря у впускних колекторах здійснюється з використанням спеціальних пристроїв з струменевою подачею палива без застосування форсунок і його займанням за допомогою трубчастого електронагрівального елемента. Однак, у такому випадку момент опору повертання колінчастого валу внаслідок великого значення в'язкості моторного масла зростає в 3–3,5 рази, в порівнянні з літнім періодом, до 240–250 кгс·м, що негативно впливає на строк служби елементів механізмів двигуна, а також на надійний пуск двигуна за умов недостатнього тиску повітря в балонах і розряджених акумуляторних батарей, по причині того, що опір повертання колінчастого валу визначає величину пускового стартового моменту $M_{ст}$, за рівнянням:

$$M_{ст} = M_j + M_{дв} + M_c + M_k,$$

де M_j – момент опору, обумовлений силами інерції обертючих мас, кгс·м;

M_k – момент опору, необхідний на подолання опору при стисканні повітря в циліндрах, кгс·м;

M_c – момент опору, обумовлений силами тертя в двигуні, кгс·м [2].

Моменти M_j і M_k не залежить від температури двигуна при пускових оборотах і знаходяться в межах 15–20 кгс·м. Момент M_c залежить від в'язкості моторного масла, зростаючи від 40 кгс·м при температурі зовнішнього повітря 5°C до 150 кгс·м при температурі -20°C.

Момент тертя в двигуні, зокрема в механізмах двигуна УТД-20 БМП, обумовлюється переміщенням рухомих деталей двигуна. Визначається цей сумарний опір рівнянням:

$$M_c = M_{ком} + M_{мтр} + M_{пнвт} + M_{пр} + M_{мп} + M_{трп} + M_{гз},$$

де $M_{ком}$ – момент опору тертя в рухомих елементах компресора, привід якого здійснюється від колінчастого валу;

$M_{трп}$ – момент опору тертя в рухомих елементах механізму газорозподілу;

$M_{пнвт}$ – момент опору тертя в рухомих елементах паливного насоса високого тиску;

$M_{пр}$ – момент опору тертя в рухомих елементах повітророзподільника;

$M_{мп}$ – момент опору тертя в рухомих елементах механізму передач;

$M_{трп}$ – момент опору тертя в підшипниках колінчастого валу;

$M_{гз}$ – момент опору тертя в гільзі.

Зниження температури повітря до мінус 25°C підвищує опір на тертя в рухомих елементах двигуна до 60 % від загальної величини моменту опору тертя в двигуні. В зимовий час з температурою зовнішнього середовища 0°C, продуктивність протікання масла МТ-16п, яка забезпечується маслозакачувальним насосом, складає 100 кг/год (1,7 кг/хв), що дорівнює продуктивності протікання малов'язкого масла МТЗ-10п – при температурі мінус 20 С. Застосування малов'язкого масла не тільки значно знижує момент M_c при пуску двигуна, а й дозволяє в 2,5–3 рази скоротити час на передпусковий розігрів двигуна і подальший

його прогрів. При цьому рух машини на низьких передачах можна починати при $t_m = 10^\circ\text{C}$, в той час, як при роботі двигуна на маслі МТ-16п рух можливий при $t_m = 30^\circ\text{C}$ [2, 6].

Відповідно до вимоги щодо особливостей експлуатації машин в умовах низьких температур, на прикладі БМП, вказаних в п.18.4.2.2 [5], з метою утримання машини в постійній бойовій готовності, механіку-водію передбачено періодично (через 4–6 год) в залежності від температури повітря навколишнього середовища перевіряти температуру охолоджуючої рідини (ОР) та масла і при зниженні температури ОР до 35–40 С необхідно вмикати підігрівач і підігрівати її до температури 80–90 С, а після кожних двох розігрівів підзаряджати акумуляторні батареї.

Отже, передбачені вимоги інструкцією з експлуатацією БМ щодо постачання теплого масла до рухомих елементів двигуна перед його пуском з метою зменшення моментів опору тертя $M_{ком}$, $M_{мтр}$, $M_{пнвт}$, $M_{пр}$, $M_{мп}$, $M_{трп}$ дозволяють значно зменшити опір повертання колінчастого валу та інших рухомих елементів двигуна і, як результат, підвищить надійність пуску двигуна та його ресурс. Крім цього, в окремих зразках БМ, вприск малов'язкого масла до гільз циліндрів дозволяє підвищити надійність пуску двигуна за рахунок потрапляння масла в зазори між поршнем і гільзою, що підвищує герметичність камери згоряння та збільшує ступінь стиснення в період пуску, оскільки температура займання масла ($t_{цз} = 250^\circ\text{C}$ – для МТ-16п і $t_{цз} = 300^\circ\text{C}$ – для МТЗ-10п) нижче, ніж у палива ($t_{см} = 350^\circ\text{C}$).

Однак, зі слів механіків водіїв зазначені вимоги щодо підтримання силової установк в період зимової експлуатації, в визначених температурних режимах, в більшості випадків не здійснюється по причинам несправності підігрівачів або з метою уникнення прямого ураження машини через демаскуючі ознаки, які виникають від відпрацьованих газів. Тому, в екстрених ситуаціях під час початку бойових дій, механікам-водіям доводиться застосовувати холодний пуск двигуна. Такі умови експлуатації в рази зменшують ресурс двигуна, що є економічно невиправданим. Проте, альтернативних підходів щодо виконання вимог з експлуатації БМП в умовах низьких температур, окрім використання спеціальних типів масел або здійснення його попереднього підігріву, на сьогоднішній день немає.

Проведені дослідження на експериментальному приладі щодо визначення швидкості охолодження експлуатаційних рідин (рис. 3), зокрема масла МТ-16п, при зовнішній температурі навколишнього середовища (t_3) мінус 2°C в умовах природнього розташування зразка на опорній поверхні без застосування будь яких сховищ, які б обмежили швидкість тепломасообміну масла, показали, що температура масла (t_m) з 90°C досягла позначки 30°C (мінімальна температура масла МТ-16п, при якій дозволяється рух на нижчих передачах) вже через 45 хвилин (τ) (табл. 1, рис. 4), що в 6 разів швидше від рекомендованих часових показників, зазначених в інструкції з експлуатації для більш щільної в порівнянні з маслом [6]

охолоджувальної рідини.

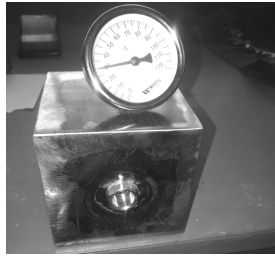


Рисунок 3 – Експериментальний прилад визначення швидкості охолодження експлуатаційних рідин

Таблиця 1 – Результати експериментального дослідження швидкості охолодження масла МТ-16п за $t_3 = -2$ С

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\tau, \text{хв}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $\tau, \text{хв}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $\tau, \text{хв}$ |
|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 90 | 0 | 65 | 12 | 40 | 32 |
| 85 | 2 | 60 | 15 | 35 | 37 |
| 80 | 4 | 55 | 18 | 30 | 45 |
| 75 | 6 | 50 | 22 | | |
| 70 | 9 | 45 | 27 | | |

Відомо [7, 9, 14], що теплопровідність – це перенесення тепла структурними частинками речовини (молекулами, атомами, електронами) у процесі їхнього теплового руху. Тепло поширюється від більш нагрітої частини речовини до менш нагрітої частини. Теплообмін може відбуватися в будь-яких тілах з неоднорідним розподілом температур, але механізм переносу теплоти буде залежати від агрегатного стану речовини. Це обумовлене прагненням системи зайняти стан більш близький до термодинамічної рівноваги, що виражається у вирівнюванні температури. Тобто, чим коефіцієнт теплопровідності буде меншим, тим тіло повільніше остигатиме.

Враховуючи припущення, що температура повітря в середині силового відділення БМП дорівнює температурі повітря зовнішнього середовища, за законом теплопровідності нестационарного режиму потоку теплової енергії рівнянням (1) було визначено коефіцієнт теплопровідності k (2) [8]:

$$\frac{t_m - t_3}{t_0 - t_3} = e^{-k\tau}; \quad (1)$$

$$k = -\frac{1}{\tau} \cdot \ln\left(\frac{t_m - t_3}{t_0 - t_3}\right), \quad (2)$$

де t_0 – температура тіла на початок процесу остигання;

t_m – температура тіла через час τ ;

t_3 – температура зовнішнього середовища;

k – коефіцієнт охолодження.

Використовуючи результати експериментальних досліджень швидкості охолодження масла МТ-16П за різних температур зовнішнього середовища (рис. 4), рекомендації, зазначені в [5], та умови експлуатації БМ в зимовий період без застосування спеціальних сховищ, за середньою мінімальною температурою зовнішнього середовища у східних областях України $-5...-7^\circ\text{C}$, були визначені середньодобові показники витрат палива для роботи підігрівача одним баталь-

йоном, який озброєний БМП (табл. 2).

Таблиця 2 – Середньодобова витрата палива на підігрів двигуна підігрівачем

| t_3, C | Кількість пусків підігрівача | |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| | 1 | 16 (кожні 1,5 години протягом доби) |
| | відділення | батальйон |
| | Витрата пального для підігріву двигуна до експлуатаційних температур, л | |
| +5 | 0,25 | 132 |
| 0 | 0,5 | 264 |
| -5 | 1,0 | 528 |
| -7 | 1,5 | 792 |
| -10 | 2,0 | 1056 |
| -20 | 4,0 | 2112 |

З урахуванням середньої тривалості зимового періоду, витрата палива для механізованого батальйону становитиме близько 71 тон дизельного палива за 90 діб.

Отримані результати свідчать про використання достатньо великої кількості пального для підтримання силової установки у постійній бойовій готовності до застосування.

Застосовуючи основні теоретичні положення теплообміну, час остигання масла можна збільшити шляхом зменшення коефіцієнта швидкості охолодження, тим самим – зменшити кількість запуску підігрівачів двигуна для його прогрівання і, відповідно, масла в системі змащення.

Таким чином, враховуючи необхідність збільшення часу остигання масла одним із способів, який би дозволив досягнути необхідних результатів, може бути застосування різних типів теплоізоляційних матеріалів у елементах системи змащування двигуна. Пропонується за рахунок проведення модернізації стінки корпусу масляного баку типу «сандвіч» за наступною схемою: металевий лист товщиною до 1мм – теплоізолюючий матеріал – металевий лист товщиною до 1 мм (рис. 4).

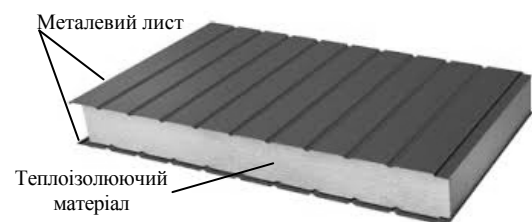


Рисунок 4 – Стінка масляного баку типу «сандвіч»

Завдяки застосування такого підходу очікується збільшення часу остигання масла в масляному баку на підставі основних теоретичних положень про теплообмін.

З метою підтвердження очікуваних результатів були проведені відповідні експериментальні дослідження з використання експериментального приладу визначення швидкості охолодження експлуатаційних рідин без його попереднього утеплення і застосовуючи теплоізоляційний матеріал. Як зразок теплоізолюючого матеріалу було обрано екструдований полістирол

товщиною 50мм, з відповідними фізичними характеристиками.

Враховуючи те, що в першому наближенні значення k будуть однакові за різних t_3 було визначено приблизну швидкість охолодження масла МТ-16п в баку за різних значень температури зовнішнього повітря з використанням обраного типу теплоізолюючого матеріалу, вкритим поверх нього фольгою товщиною 0,2 мм.

За результатами проведених замірів здійснено порівняльний аналіз часу остигання масла в масляному баку до мінімально допустимих експлуатаційних зна-

чень температури 30°C масла без додаткового утеплення та із застосуванням обраного зразка теплоізолюючого матеріалу. У результаті аналізу отриманих даних встановлено, що застосування запропонованого підходу щодо проведення модернізації масляного баку екструдованим полістиролом товщиною 50мм дозволить у 12 разів збільшити час його охолодження, тим самим скоротити загальний час роботи підігрівача БМП та зменшити кількість пального. Використовуючи (1), (2), був наданий прогноз швидкості охолодження масла за різних від'ємних значеннях навколишнього середовища (рис. 5, 6).

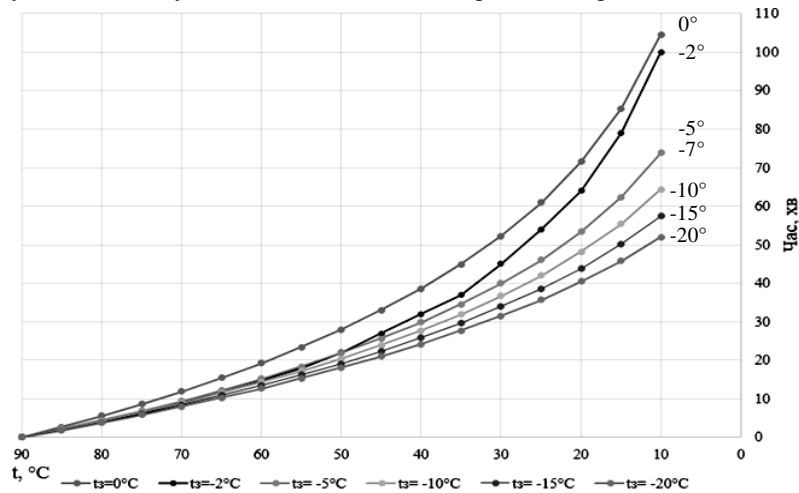


Рисунок 5 – Прогноз швидкості охолодження масла без використання теплоізолюючого матеріалу за різних t_3

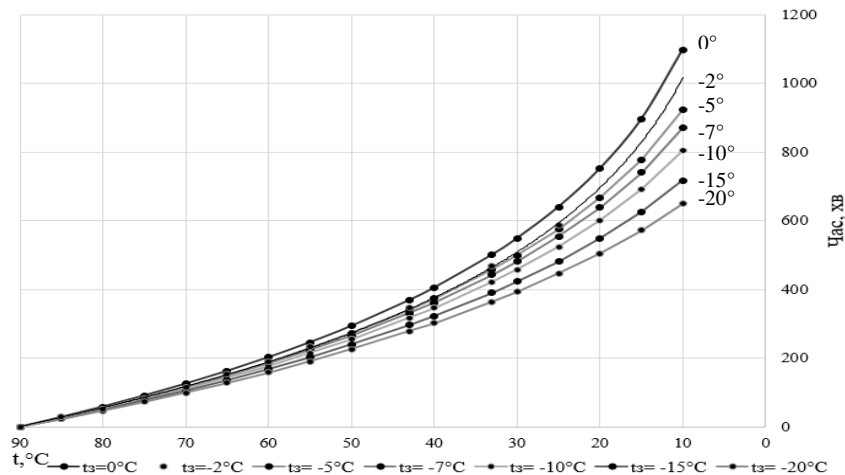


Рисунок 6 – Прогноз швидкості охолодження масла з використанням екструдованого полістиролу товщиною 50мм та фольги товщиною 0,2мм

Висновки. Враховуючи необхідність тривалого прихованого розміщення БМП на бойових позиціях протягом року та складні економічні умови держави, отримані результати експериментального дослідження швидкості охолодження масла в системі змащування двигуна з сухим картером показали, що реалізація запропонованого способу дозволяє без особливих змін в конструкції системи змащування двигуна суттєво зменшити кількість пального на виконання вимог, зазначених у [2].

Невизначеними залишаються раціональні параметри цих теплоізолюючих матеріалів в залежності від їх фізичних властивостей та зміни значень зовнішньої температури навколишнього середовища.

Тому подальшим завданням дослідження є розробка алгоритму вибору раціональних параметрів теплоізоляційних матеріалів у системі змащування двигунів із сухим картером з урахуванням їх можливого застосування на машині.

Список літератури

1. Міщенко Я.С. Сучасний стан та проблеми вибору типу рушія бойових броньованих машин. *Військово-технічний збірник*. 2015. №12. С.34-38.
2. Безлюдько А.В. [и др.]. Эксплуатация бронетанкового вооружения и техники: учебное пособие. Минск: БНТУ, 2017. 358 с.
3. Пат. 2177071 Россия, F02M31/125. Система подогрева дизельного топлива, заявитель и правообладатель / Львов В.Е. № 99125873/06; заявл. 06.12.1999; опубл. 20.12.2001.
4. Пат. 200880515 Россия, F02N17/06. Автономная автоматическая система подогрева и поддержания температурных условий дизельных двигателей транспортных средств, заявитель и правообладатель / Андреев Е.В. № 80515; заявл. 12.08.2008; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 4. 2 с.
5. *Боевая машина пехоты БМП-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации*. М.: Воениздат, 1979. 624 с.
6. ГОСТ 6360-83. МАСЛІА МТ-16П и М-16ПЦ Технические условия. – Введ. 1985-01-01. М.: Издательство стандартов, 1985. 5 с.
7. Лабай В.Й. *Тепломасообмін*. Львів: Триада Плюс, 2004. 260 с.
8. Кондратьев Г.М. *Регулярный тепловой режим*. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. 408с.
9. Labay V., O. Dovbush, V. Yaroslav, Klymenko H. Mathematical modeling of a split-conditioner operation for evaluation of exergy efficiency of the R600A refrigerant application. *Mathematical Modeling and Computing*. 2018. Vol. 5, No. 2, pp. 169–177.
10. Shuai Mo., Z. Zhenxing, F. Zhiyou, D. Heyu, G. Hanjun, Xiaolin C. Research on lubrication characteristics of asymmetric helical gear based on CFD method. *Lubrication Science*, 2020. Vol. 32, issue 4. <https://doi.org/10.1002/ls.1504>
11. Jun Sun, Jianxiong Zhu, Hu Wang, Xiaoyong Zhao, Qin Teng, Yanping Ren, Guixiang Zhu, Xiao Zhang, Yaming Gao Research on the influence of the lubrication status at the inlet on the lubrication characteristics of engine piston ring. *Lubrication Science*, 2020. Vol. 32, issue 4. <https://doi.org/10.1002/ls.1505>
12. Cheng Liu, Yanjun Lu, Yongfang Zhang, Sha Li, Ang Chen, Jianxiong Kang, Norbert Müller Effect of surface texture on the improvement of tribological performance of ring-deformed liner conjunction under different oil supplies. *Lubrication Science*, 2020. Vol. 32, issue 2. <https://doi.org/10.1002/ls.1482>
13. Si Ren, Ying Zhang, Jialong Yang, Zongzheng Wang, Ling Dai, Wei Pu Lubrication mechanisms of rubbing interface in internal meshing teeth with small clearance. *Lubrication Science*, 2020. Vol. 32, issue 4. <https://doi.org/10.1002/ls.1493>
14. Hassan Nazirab, Mariah Batoolab, Francisco J., Bolivar Osorioc, Marlory Isaza, Ruizc Xinhai, Xud K. Vignaroobane Patrick Phelanf Inamuddingh, Arunachala M. Kannanai Recent developments in phase change materials for energy storage applications: A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol. 129, February 2019, pp. 491–523

Reference

1. Mishenko Ya.S. An Accidental Problem and a Vibor Type of Destruction of Combat Armored Vehicles. *Viyskovo-tehnichny zbimik*. 2015, no. 12, pp. 34–38.
2. Bezlyudko A.V. [et al.]. *The operation of armored weapons and equipment: a training manual*. Minsk: BNTU, 2017. 358 p.
3. Pat. 2177071 Russia, F02M31 / 125. Diesel fuel heating system, applicant and copyright holder / Lvov V.E. No. 99125873/06; declared 12/06/1999; publ. 12/20/2001.
4. Pat. 200880515 Russia, F02N17 / 06. Autonomous automatic system for heating and maintaining the temperature conditions of diesel engines of vehicles, applicant and copyright holder / Andreev E.V. - No. 80515; declared 08/12/2008; publ. 02/10/2009, bull. No. 4. - 2 p.
5. *BMP-1 infantry fighting vehicle. Technical description and instruction manual*. M.: Military Publishing, 1979. 624 p.
6. GOST 6360-83. OIL MT-16P and M-16PTs Technical conditions. Enter. 1985-01-01. M.: Publishing house of standards, 1985. 5 p.
7. Labay V.Y. *Teplomasobmin*. Lviv: Triada Plus, 2004. 260 p.
8. Kondratiev G.M. *Regular thermal regime*. M.: State Publishing House of technical and theoretical literature, 1954. 408 p.
9. Labay V., O. Dovbush, V. Yaroslav, Klymenko H. Mathematical modeling of a split-conditioner operation for evaluation of exergy efficiency of the R600A refrigerant application. *Mathematical Modeling and Computing*. 2018. Vol. 5, No. 2, pp. 169–177.
10. Shuai Mo., Z. Zhenxing, F. Zhiyou, D. Heyu, G. Hanjun, Xiaolin C. Research on lubrication characteristics of asymmetric helical gear based on CFD method. *Lubrication Science*, 2020. Vol. 32, issue 4.
11. Jun Sun, Jianxiong Zhu, Hu Wang, Xiaoyong Zhao, Qin Teng, Yanping Ren, Guixiang Zhu, Xiao Zhang, Yaming Gao Research on the influence of the lubrication status at the inlet on the lubrication characteristics of engine piston ring. *Lubrication Science*, 2020. Vol. 32, issue 4. <https://doi.org/10.1002/ls.1505>
12. Cheng Liu, Yanjun Lu, Yongfang Zhang, Sha Li, Ang Chen, Jianxiong Kang, Norbert Müller Effect of surface texture on the improvement of tribological performance of ring-deformed liner conjunction under different oil supplies. *Lubrication Science*, 2020. Vol. 32, issue 2. <https://doi.org/10.1002/ls.1482>
13. Si Ren, Ying Zhang, Jialong Yang, Zongzheng Wang, Ling Dai, Wei Pu Lubrication mechanisms of rubbing interface in internal meshing teeth with small clearance. *Lubrication Science*, 2020. Vol. 32, issue 4. <https://doi.org/10.1002/ls.1493>
14. Hassan Nazirab, Mariah Batoolab, Francisco J., Bolivar Osorioc, Marlory Isaza, Ruizc Xinhai, Xud K. Vignaroobane Patrick Phelanf Inamuddingh, Arunachala M. Kannanai Recent developments in phase change materials for energy storage applications: A review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol. 129, February 2019, pp. 491–523

Надійшла (received) 25.07.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Міщенко Ярослав Сергійович (Мищенко Ярослав Сергеевич, Mishchenko Yaroslav) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри бронетанкової техніки, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна; тел. 0937208266, <http://orcid.org/0000-0002-0231-2361>.

Рудий Андрій Володимирович (Рудой Андрей Владимирович, Rudyi Andriy) – кандидат технічних наук, викладач кафедри бронетанкової техніки, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна; <http://orcid.org/0000-0002-0231-2361>

Васильєв Антон Юрійович (Васильев Антон Юрьевич, Vasiliev Anton) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин», м Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8106-0950>; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.