

УДК 621.436

В.Ф. КЛИМОВ, А.П. МАРЧЕНКО, А.Ю. ФЕДОРОВ**ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ТА НАПРЯМКІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ
ТАНКА Т-72: СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ**

На основі аналізу літературних джерел в роботі описано і проаналізовано вирішення актуальної задачі модернізації вітчизняної бронетехніки на прикладі танка Т-72. Визначено втрати потужності дизеля силової установки в умовах об'єкту для танків потужністю 600 ± 25 кВт. Отримано параметри потужності силової турбіни дизеля 5ТДФМ в умовах відсутності протитиску у випускному колекторі. Отримано позитивні ефекти від модернізації танка Т-72 шляхом заміни штатного дизеля на дизель вітчизняного виробництва 5ТДФМ. Надано рекомендації щодо застосування для модернізації вітчизняної бронетехніки дизеля типу 5ТДФ.

Ключові слова: дизель, потужність, танк, система охолодження, питомий об'єм, теплота.

Актуальність

На часі актуальним питанням є модернізація та створення нової бойової техніки для задоволення потреб армії України та забезпечення експорту іншим країнам, де ця техніка має використання.

Забезпечення ефективності та підвищення технічного рівня танка Т-72, який є одним з розповсюджених в світі, суцільно пов'язано із модернізацією вузлів, систем, деталей. В першу чергу вона передбачає заміну силової установки, що забезпечує експлуатацію без обмеження за навантажувальними, швидкісними характеристиками та відведенням теплоти згоряння палива системою охолодження при найменших механічних втратах на забезпечення роботи систем та механізмів. Така модернізація повинна забезпечувати виконання відповідних вимог, що стосуються, наприклад, експлуатаційних показників танкової техніки, які визначають її тактико-технічні характеристики. В першу чергу – це запас ходу, стабільна робота дизеля в жорстких кліматичних умовах із зміною температур в діапазоні від мінус 50 до +50 °С [1], виключення людського фактору при керуванні роботою допоміжних систем дизеля.

Досягти відповідності сучасним показникам можливо шляхом вдосконалення основних систем і першочергово тих, що відповідають за надійну роботу силової установки. Тому наше дослідження присвячене системі охолодження дизеля (СОД). Підвищення потужності силової установки тягне за собою зростання кількості теплоти згоряння палива, яку необхідно відвести СОД. Тому при модернізації необхідним заходом є модифікація чи заміна елементів штатної СОД, якщо теплота, що відводиться системою охолодження після модернізації перевищує показники дизеля до модернізації.

Для бронетехніки, силовими установками якої є поршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) найчастіше застосовують два типи СОД: ежекційну та вентиляторну. При порівнянні двох різних типів систем охолодження необхідно спиратися на об'ємні, масові, ефективні показники у складі з технікою на якій застосовується кожна з систем: ежекційна – танк Т-64, вентиляторна – танк Т-72 [2].

На танк Т-64 та його модифікації встановлюють дизель типу 5ТДФ, який є двотактним із поршнями, що рухаються назустріч, наддувом та силовою

турбіною. Для танка Т-72 передбачено встановлення дизеля типу В-46, V-подібного, чотирьохтактного із наддувом. Заміна штатного дизеля В-46 танка Т-72 обумовлена необхідністю ремонту силової установки внаслідок поломки, пошкодження чи у випадку вичерпання ресурсу дизеля. Це в свою чергу вимагає придбання деталей для двигуна за кордоном, що суттєво ускладнює їх імпорт сьогодні. Негативно відображається на вітчизняному двигунобудуванні купівля двигунів та запасних частин за кордоном, яка створює конкуренцію підприємствам України. Вирішення проблеми підтримки вітчизняного виробника і постачанням дизелів та деталей є використання вітчизняного дизеля типу 5ТДФ.

Мета дослідження

Виконано аналіз впливу на конструктивні, технічні, тактичні показники при зміні штатного дизеля танка Т-72 типу В-46 на вітчизняну модифікацію дизеля типу 5ТДФ. Аналіз конструкції виконано з метою надання рекомендацій щодо напрямку модернізації силової установки вітчизняної бронетехніки.

Основна частина

Визначальним параметром для військової бронетехніки є потужність силової установки в умовах об'єкту ($N_{e\text{об}}$), що враховує реальні умови експлуатації двигуна із наявністю втрат на привід механізмів та систем, а також втрат внаслідок опору впускного та випускного тракту. Порівняння двигунів за потужнісними й питомими показниками здійснюється, орієнтуючись на стендову потужність, яку вимірюють у нормальних умовах ($N_{e\text{cm}}$):

- температура повітря на вході у двигун $t = 20$ °С;
- атмосферний тиск $p = 0,1$ МПа;
- опір повітря на вході у двигун $\Delta p = 0$;
- опір газів на виході з двигуна $\Delta p_0 = 0$.

Врахування роботи дизеля в умовах об'єкту передбачає врахування втрат потужності при [3]:

а) опорі повітря на вході в компресор, обумовленого наявністю повітроочисника ($\Delta N_{\text{пов.оч}}$) та конструктивними особливостями впускного тракту;

б) опорі газам на виході з дизеля що створюється від ежекторів системи охолодження або конструктивними особливостями випускного тракту ($\Delta N_{\text{вип.тр}}$);

с) відборі частки повітря після компресора на

потреби об'єкта ($\Delta N_{\text{потреб.об.}}$);

d) наявністю привода вентилятора системи охолодження дизеля та бортових коробок передач ($\Delta N_{\text{вент.}}$);

e) підігріві повітря у повітря очиснику ($\Delta N_{\text{пов.очис.}}$);

f) приводі трансмісії танка ($\Delta N_{\text{тр.}}$).

Стендова та об'єктова потужності пов'язані залежністю, що враховує отримані вище втрати потужності:

$$N_{\text{е.об.}} = N_{\text{е.ст.}} - \Delta N_{\text{пов.оч.}} - \Delta N_{\text{вип.тр.}} - \Delta N_{\text{потреб.об.}} - \Delta N_{\text{вент.}} \quad (1)$$

За наведеною вище залежністю (1) виконано порівняльну оцінку втрат потужності в умовах об'єкту для досліджуваних дизелів (таблиця 1) типу В-46 у складі танка Т-72 та типу 5ТДФ у складі танка Т-64 БМ «Булат» [4, 5, 6].

Таблиця 1. Характеристика втрат у силових установках дизелів

Танк	Т-64 БМ "Булат"	Т-72
Дизель	5ТДФМ	В-46-6
$N_{\text{е.об.}}$, кВт	479,36	386,62
$N_{\text{е.ст.}}$, кВт	625	574
$\Delta N_{\text{пов.оч.}}$, кВт	11,7	11,7
$\Delta N_{\text{потреб.об.}}$, кВт	6,6	6,6
$\Delta N_{\text{пов.очис.}}$, кВт	6	15
$\Delta N_{\text{тр.}}$, кВт	66,19	66,19
$\Delta N_{\text{вип.тр.}}$, кВт	55,15	7
$\Delta N_{\text{вент.}}$, кВт	0	80,88
$\Delta N_{\text{сум.}}$, кВт	145,64	187,38

Аналіз втрат потужності на номінальному режимі роботи в умовах об'єкту для танка Т-64 БМ «Булат» і Т-72 визначив, що для дизеля типу 5ТДФ із СОД ежекційного типу втрати потужності в умовах об'єкту складають 145,64 кВт, а для танка Т-72 із дизелем В-46-6 та СОД вентиляторного типу складає 187,38 кВт. Для оцінки та надання рекомендацій щодо застосованого типу дизеля необхідно звернутися до оцінки за допомогою відносних показників.

Модернізація танка Т-72 на базі дизеля 5ТДФМ з потужністю в умовах стенду 625 кВт замість дизеля В-46-6 із потужністю 574 кВт підвищує об'ємну потужність моторно-трансмісійного відділення на 22,9 %, що за нашими розрахунками складає 240,4 кВт/м³, а питому витрату палива в умовах об'єкту дозволяє скоротити на 10 %. Новий дизель 5ТДФМ займає менший об'єм у моторно-трансмісійному відділенні танка Т-72, що дозволяє

споряджати бойову машину додатковими системами і механізмами не змінюючи конструкції бойової машини. При більшій потужності дизеля типу 5ТДФ відносні втрати в умовах об'єкту будуть меншими на 22,2 % порівняно з базовим.

Виконано розрахунок робочого процесу дизеля із силовою турбіною на номінальному режимі роботи, метою розрахунку було визначення втрат потужності при наявності протитиску у випускному колекторі, який створюється ежекторами СОД.

Для дизеля типу 5ТДФ основними параметрами, що впливають на потужність турбіни є її адиабатичний коефіцієнт корисної дії (η_T), механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) зубчастої передачі (η_M), режим роботи дизеля, що визначає витрату (G_T), тиск (p_T) і температуру (T_T) відпрацьованих газів перед турбіною та тиск (p_r) і температуру (T_r) відпрацьованих газів за турбіною.

Тиск відпрацьованих газів за турбіною визначається з врахуванням надлишкового тиску, що створюють ежектори СОД за залежністю (2):

$$p_r = p_0 + \Delta p_e \quad (2)$$

де, p_0 – атмосферний тиск, Па;

Δp_e – надлишковий тиск, що створюється ежекторам СОД, Па.

Ступінь пониження тиску в турбіні (3) безпосередньо впливає на показники потужності силової турбіни і залежить від параметрів газу до робочого колеса турбіни і за ним:

$$\pi_T = \frac{p_r}{p_T} \quad (3)$$

Потужність турбіни визначатиметься за [7]:

$$N_{\text{ет}} = \frac{k_T}{(k_T - 1)} \cdot R_T \cdot T_T \cdot \eta_T \cdot \eta_M \cdot G_T \cdot (1 - \pi_T^{\frac{1-k_T}{k_T}}), \quad (4)$$

де k_T – коефіцієнт адиабати для відпрацьованих газів;

R_T – універсальна газова стала, що дорівнює 287 Дж / кг · К.

За наведеними вище залежностями було визначено вплив зниження протитиску у випускному колекторі для дизеля типу 5ТДФ при роботі із системою охолодження вентиляторного типу, ефект від даних заходів дозволяє підвищити ефективну потужність турбіни на 6,5 %. При відмові від системи охолодження ежекційного типу на користь вентиляторної системи охолодження зниження протитиску у випускному колекторі, може забезпечити підвищення потужності силової установки на 12,7 кВт.

Ежекційна система проста у обслуговуванні, але практично не регулюється. Ефективність роботи ежекційної СОД напряму пов'язано із режимом роботи дизеля, і постійна геометрія перерізу сопел задає чітко визначений діапазон оптимальної

ефективності ежекційної СОД. Зміна режиму роботи дизеля є параметр, що регулює роботу системи охолодження ежекційного типу [8]. Така схема роботи є досить не ефективною, адже після накидання навантаження, необхідно щоб дизель забезпечував значну витрату повітря через сопла ежектора, для забезпечення сталого відведення теплоти від теплоносіїв у навколишнє середовище та попередження перегрівання силової установки танка.

З урахуванням недоліків та переваг ежекційних та вентиляторних СОД, нами було проаналізовано можливість об'єднати кращі характеристики танка Т-64 з ежекційною СОД та Т-72 з вентиляторною системою охолодження. Для цього в танк Т-72 запропоновано встановлення дизелю типу 5ТДФ і вентиляторну СОД.

Порівняння СОД за питомим об'ємом моторно-трансмійного відділу, для танка Т-72 із дизелем типу 5ТДФ виявило, що система охолодження матиме на 28,2 % менший питомий об'єм ніж із дизелем типу В-46. Оцінка теплоти виділеної на номінальному режимі роботи дизелем типу В-46 і відведена у охолоджуючу рідину складає 18 %, у масло 5 % [9] від теплоти підведеної при згорянні палива при температурі охолоджуючої рідини 80 °С. Так як для дизеля типу 5ТДФ застосовують високотемпературне охолодження із температурою охолоджуючої рідини 130 °С, то теплота відведена охолоджуючою рідиною є меншою порівняно із СОД традиційного типу, що застосована на дизелі типу В-46. Для дизеля типу 5ТДФ відведена теплота охолоджуючою рідиною складає 11 % і у масло 4 % від теплоти підведеної при згорянні палива [10], що у абсолютних одиницях для дизеля типу 5ТДФ теплота відведена у охолоджуючу рідину складатиме 175,8 кВт, для масла 63,9 кВт. Для дизеля типу В-46-6 теплота відведена у охолоджуючу рідину складатиме 297 кВт у масло 82,5 кВт. Відповідно до отриманих результатів, теплота, що відводиться із охолоджуючою рідиною є на 40 %, а із маслом на 22 % менша порівняно із базовим дизелем танка Т-72. А загальна теплота, що відведена у навколишнє середовище є меншою на 36 %. Менша кількість теплоти від згоряння палива, при незмінній продуктивності елементів системи охолодження дозволяє залишити без значних конструктивних модифікацій штатну СОД вентиляторного типу.

У зв'язку з тим, що ефективність роботи СОД збільшена на третину дизель буде переохолоджуватися, особливо на часткових режимах роботи. Це в свою чергу негативно впливатиме на температурний стан деталей. Зменшення температури стінок циліндрів призведе до зростання корозійної активності сірки, що міститься у маслі та паливі. А отже це призведе до прискорення зносу циліндрів і зменшенню ресурсу двигуна в цілому. Переохолодження деталей двигуна призводить до зниження індикаторного, механічного ККД та збільшення витрати палива дизелем.

Недоліком штатного приводу вентилятору СОД є жорсткий механічний зв'язок з дизелем через редуктор, що перемикає вентилятор між трьома

режимами роботи [11], в результаті нерівномірності обертання колінчастого валу, та швидких змін режимів роботи дизеля виникають навантаження на колесо ротора вентилятору, що компенсуються муфтою. Схема роботи приводу вентилятору з механічним зв'язком із колінчастим валом призвела до обмеження керування та неможливості ефективного регулювання системи охолодження.

Відомо приклади застосування гідроприводу із термостатичним керуванням на бронетехніці, та широко розповсюдженого у автомобілях електричного приводу вентилятору системи охолодження, що забезпечує значну економію потужності на часткових навантаженнях [6].

Застосування регулювання роботи системи охолодження забезпечить покращення ефективних параметрів дизеля, а відсутність механічного зв'язку із колінчастим валом дозволить позбутися муфти, яка є демпфером коливань. Застосування електронного керування вимагатиме забезпечення герметизації відсіку силової установки, що є позитивним заходом, котрий дозволить забезпечити стабільний перетин водних перешкод без перегрівання дизеля, як це відбувається при русі на танка із базовим дизелем та штатною СОД без модифікацій.

Отже, нами рекомендовано застосування системи охолодження вентиляторного типу. Серед головних переваг вона має можливість застосування автоматизованого регулювання температурного стану дизеля, виключаючи людський фактор при керуванні системою охолодження та зменшуючи навантаження на механіку водія при водінні бойової машини. Система охолодження вентиляторного типу забезпечуватиме стабільну роботу дизеля на рівні базового дизеля із можливістю до подальшого форсування. Застосування високотемпературної СОД внаслідок збільшення термічного перепаду між теплоносіями дозволить підвищити ефективність охолодження в умовах жаркого клімату.

Забезпечення технічного рівня модернізованої силової установки із дизелем типу 5ТДФ потребує впровадження системи автоматичного регулювання температурним станом дизеля. Рух бойової машини пов'язано із зміною режимів роботи дизеля, навантаження, робочих температур, параметрів навколишнього середовища. Для підвищення технічного рівня і виключення людського фактору при керуванні системою охолодження дизеля запропоновано впроваджувати для танка Т-72 вентиляторну систему охолодження із електричним проводом та системою регулювання. Забезпечення автоматизованого регулювання температурного стану дизеля, шляхом керування частотою обертання електродвигуна ротора вентилятору дозволить виключити людський фактор при роботі системи охолодження, механік-водій не відволікатиметься від керування бойовою машиною для зміни режиму роботи вентилятору системи охолодження подібно базової машини, буде зменшено механічні втрати на привід механізмів та систем танка, покращено паливну економічність на часткових режимах.

При використанні дизеля типу 5ТДФ більшої потужності сумісно із системою охолодження вентиляторного типу за нашими оцінками позитивні аспекти будуть збільшені.

Висновки

1. Модернізація техніки, що проектувалась за радянських часів необхідно виконувати шляхом заміни штатного дизеля В-46-6 на більш потужний вітчизняний дизель 5ТДФМ.

2. Забезпечення необхідного теплового стану дизеля на модифікованій бронетехніці можливе при застосуванні регулювання системи охолодження.

3. Визначено переваги застосування системи охолодження вентиляторного типу.

Список літератури: 1. Марченко А. П. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Том 1 : Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. / А. П. Марченко, А. Ф. Шеховцов – Х. : НТУ «ХПІ», 2004. – 491 с. 2. Безлюдько А. В. Устройство и эксплуатация бронетанкового вооружения: учебное пособие в 2 частях. Часть 1 : Устройство танка Т-72Б / А. В. Безлюдько [и др.] – Минск: БНТУ, 2014 – 375 с. 3. Марченко А. П. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Том 2 : Доводка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. / А. П. Марченко, А. Ф. Шеховцов – Х. : НТУ «ХПІ», 2004. – 365 с. 4. Двигатели В-46 и В-46-6. Техническое описание. / М:Воен. Издат., 1983. – 136 с. 5. Оборонно-промышленный комплекс Украины. Продукция и услуги. [Электронный ресурс] / Государственная компания «Укрспецэкспорт». – Режим доступа: http://catalog.use.kiev.ua/index.php?page=catalog&cat_id=37&view=product&id=373 6. Теория и конструкция танка. Том 4 : Вопросы проектирования танковых силовых установок. – М. : Машиностроение, 1984, – 348 с. 7. Байков Б. П. Турбокомпрессоры для наддува дизелей. Справочное пособие. / Б. П. Байков, В. Г. Бордуков, П. В. Иванов, Р. С. Дейч – Л., «Машиностроение»,

1975, – 200 с. 8. Соколов Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер – 3-е изд., [перераб.] – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с. 9. Ефимов С. И. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для ВУЗов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С. И. Ефимов, Н. А. Ивашенко, В. И. Ивин [и др]; Под общ. Ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: 1985. – 456 с., ил. 10. Отчет ХКБД по определению параметров теплоотдачи двигателя 457МА-1 № 244. 11. Tank T-72A. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Кн.2 ч.1 М.: Воен. Издат. 1989. – 509 с.

Bibliography (transliterated): 1. Marchenko A. P. Dvyhuny vnutrishn'oho z'horyannya: Seriya pidruchnykiv u 6 tomakh. Vol.1 : Rozrobka konstruktсий forsovanykh dvyhunyv nazemnykh transportnykh mashyn. / A. P. Marchenko, A. F. Shekhovtsov – Kharkiv: NTU «KhPI», 2004. – 491 p. 2. Bezljud'ko A. V. Ustrojstvo i jekspluatacija bronetankovogo vooruzhenija: uchebnoe posobie v 2 chastjah. Chast' 1 : Ustrojstvo tanka T-72B / A. V. Bezljud'ko [i dr.] – Minsk: BNTU, 2014 – 375 p. 3. Marchenko A. P. Dvyhuny vnutrishn'oho z'horyannya: Seriya pidruchnykiv u 6 tomakh. Vol. 2 : Dovodka konstruktсий forsovanykh dvyhunyv nazemnykh transportnykh mashyn. / A. P. Marchenko, A. F. Shekhovtsov – Kh.: NTU «KhPI», 2004. – 365 p. 4. Dvigateli V-46 i V-46-6. Tehnicheskoe opisanie. / Moscow:Voen. Izdat., 1983. – 136 p. 5. Oboronno-promyshlennyj kompleks Ukrainy. Produkcija i uslugi. Gosudarstvennaja kompanija «Ukrspetsjeksport», Web. 31 August 2015 <http://catalog.use.kiev.ua/index.php?page=catalog&cat_id=37&view=product&id=373> 6. Teorija i konstrukcija tanka. Vol. 4 : Voprosy proektirovanija tankovyh silovyh ustanovok. – Moscow : Mashinostroenie, 1984, – 348 p. 7. Bajkov B. P. Turbokompressory dlja nadduva dizelej. Spravochnoe posobie. / B. P. Bajkov, V. G. Bordukov, P. V. Ivanov, R. S. Dejch – L., «Mashinostroenie», 1975, – 200 p. 8. Sokolov E. Ja. Strujnye apparaty / E. Ja. Sokolov, N. M. Zinger – 3-e izd., [pererab.] – Moscow: Jenergoatomizdat, 1989. – 352 p. 9. Efimov S. I. Dvigateli vnutrennego sgoranja: Sistemy porshnevyyh i kombinirovannyh dvigatelej. Uchebnik dlja VUZov po special'nosti «Dvigateli vnutrennego sgoranja» / S. I. Efimov, N. A. Ivashhenko, V. I. Ivin [i dr]; Pod obshh. Red. A.S. Orlina, M.G. Kruglova. – 3-e izd., pererab. I dop. – Moscow: 1985. – 456 p., il. 10. Otchet KhKBD po opredeleniju parametrov teplotdachi dvigatelja 457MA-1 №244. 11. Tank T-72A. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluatácii. Kn.2nd part 1 Moscow: Voen. Izdat. 1989. – 509 p.

Надійшла (received) 04.08.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Клімов Віталій Федорович – професор кафедри колісні та гусеничні машини Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

Марченко Андрій Петрович – доктор техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, тел. : (057)700-40-34, e-mail : marchenko@kpi.kharkov.ua

Федоров Андрій Юрійович – аспірант, кафедра двигуни внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, тел. : 066-246-38-83, e-mail : smax.kh@gmail.com.

